

# *e - Prosiding*



- 1. Bidang Teknik Sipil**  
Rekayasa Infrastruktur Berbasis Manajemen Resiko Bencana
- 2. Bidang Teknik Mesin**  
Rekayasa Desain Energi Baru Terbarukan Berbasis Teknologi Material dan Manufaktur di Era Revolusi Industri 4.0
- 3. Bidang Arsitektur**  
Konsep Arsitektur Hijau Dalam Konteks Urban dan Rural
- 4. Bidang Teknik Industri :**  
Teknologi dan Rekayasa Sistem Industri, Ergonomi serta Distribusi di Era Disrupsi Revolusi Industri
- 5. Bidang Teknik Elektro :**  
Teknologi Internet of Thing (IOT) dan Robotika pada Era Industri 4.0



Nomor 1 November 2020

**SUSUNAN DEWAN REDAKSI**  
**PROSIDING SiSTEK (Seminar Nasional Teknologi)**  
**Fakultas Teknik – Universitas Merdeka Malang**  
**Tahun 2020**  
**ISSN cetak : 2775-1449 – ISSN online : 2775-1430**

**PENASEHAT**

Prof. Ir. H. Agus Suprpto, M.Sc., Ph.D.

**PENANGGUNG JAWAB**

DR. Eng. Dani Yuniawan, ST., MMT.

**PENGARAH**

Darto, ST., MT.

**TIM EDITOR**

Irfan Mujahidin, ST., M.Sc., MT.  
Fuad Kautsar, ST., MT.  
Razqyan Masbimatyugra Jati, ST., M.Ars.  
Dewi Izzatus Tsamroh, S.Pd., MT.  
Zaid Dzulkarnain Zubizaretta, ST., MT.

**Mitra Bestari**

Ir. Herdin Prihantono, M.Sc., Ph.D	Dr. Rudi Hariyanto, ST., MT.
Ir. Suriptono, M.Sc., Ph.D	Prof. Ir. Respati Wikantiyoso, MSA., Ph.D
Ir. Fredy Andreas Guntoro, M.Sc., Ph.D.	Dr. Ir. Nurhamdoko Boni, MT.
Dr. Ir. Laksni Sedyowati, M.Sc.	Pindo Tetuko, ST., MT., Ph.D
Prof. Ir. H. Agus Suprpto, M.Sc., Ph.D.	Dr. Ir. Erna Winansih, MT.
Dr. Ir. R. Djoko Andrijono, MT.	Dr. Eng. Dani Yuniawan, ST., MT.
Dr. Ir. H. Sudjatmiko, MT.	Dr. Eng. Dwi Arman, ST., MT.

**Penerbit**

Unmer Press

**Alamat Redaksi**

Panitia Seminar Nasional Teknologi (SISTEK)  
Ruang Dekanat – Fakultas Teknik  
Jl. Taman Agung No. 1 – Malang - 65146  
Telp. 0341 568395 – psw. 658  
Website : <https://sistek.unmer.ac.id/>  
Email : [sistek@unmer.ac.id](mailto:sistek@unmer.ac.id)

**SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS MERDEKA MALANG  
SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI SiSTEK 2020  
MALANG - SELASA, 10 NOVEMBER 2020**

Assalammu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yang saya hormati,

Bapak Dekan Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang beserta jajarannya;

Bapak Narasumber Webinar SiSTEK 2020

1. Prof. Moses Laksono Singgih – ITS Surabaya
2. Prof. Effendi Mohamad – UTeM Malaysia
3. Dr. Ali Masykur Musa – PT. Pelindo

Bapak/Ibu dosen serta tamu undangan;

Para peserta seminar dan hadirin sekalian yang saya banggakan.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Penyayang, karena atas izin-Nya, pada hari ini kita dapat berkumpul di sini untuk bersama-sama mengikuti acara Seminar Nasional Teknologi 2020 yang diadakan oleh Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang. Tema dengan mengambil tema : **“Inovasi Riset Engineering Berkelanjutan Menuju Kemandirian Pembangunan Bangsa”**. Latar belakang pemilihan tema tersebut terkait dengan semakin pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Abad 21 yang turut melahirkan perubahan ataupun pembaharuan di berbagai bidang kehidupan, tidak terkecuali bidang teknologi.

Para hadirin yang saya hormati,

Seminar nasional yang dilaksanakan pada hari ini akan membahas tentang isu global yang saat ini merupakan tantangan sekaligus peluang bagi Indonesia dalam berkompetisi dengan negara-negara lain. Perubahan paradigma yang sangat cepat membutuhkan keseriusan semua kita untuk memahami dengan baik peluang dan tantangan di era teknologi canggih ini. Perubahan teknologi memberi dampak mendalam pada kehidupan manusia. Era Revolusi Industri 4.0 membuktikan bahwa perjalanan teknologi hingga hari ini telah sampai pada era digital, di mana seluruh aktivitas industri yang dikembangkan menggunakan inovasi digital yang bercirikan otomasi dan ekonomi digital. Teknologi digital telah mengubah manusia baik dari cara komunikasi, cara belajar, cara bekerja, dan bahkan cara berbelanja. Secara cepat, era ini juga telah mengubah geografi dari aktivitas ekonomi melalui dampaknya pada strategi perusahaan, perilaku investasi dan alur perdagangan. Di sisi lain, teknologi digital ini juga mampu menciptakan sektor baru, segmen pasar baru, serta mendorong munculnya inovasi, serta menghasilkan keuntungan produktifitas. Perkembangan teknologi dan Revolusi Industri 4.0 memberikan kesempatan dan tantangan kepada pemerintah dalam meningkatkan perekonomian, salah satunya dengan membuka ide inovasi industri kreatif dan mengembangkannya. Kita semua kemudian dihadapkan pada keyakinan bahwa masa depan ekonomi Indonesia akan sangat dipengaruhi oleh industri kreatif. Hal ini juga dikuatkan oleh ungkapan para ekonom dunia, yang memprediksi bahwa ke depan, ekonomi global akan semakin bergantung pada sektor industri kreatif.

Para hadirin yang saya hormati,



Ketergantungan masyarakat global terhadap teknologi informasi dalam aktivitas sehari-hari mereka, telah menyebabkan pertumbuhan eksponensial ke industri kreatif. Secara nasional, industri kreatif telah mengalami pertumbuhan eksponensial dalam tiga tahun terakhir. Industri kreatif diciptakan berdasar pada kreativitas, keterampilan, serta bakat individu yang diharapkan mampu menciptakan kesejahteraan serta lapangan kerja melalui daya kreasi dan daya cipta individu. Berbagai industri kreatif yang mampu dikembangkan dapat berupa industri perangkat lunak komputer, advertising, desain, kuliner, film, video, fotografi, musik, penerbitan dan percetakan, publikasi, riset dan pengembangan, seni rupa, hiburan, dan fashion.

Seminar nasional yang diadakan pada hari ini, merupakan kesempatan sangat berharga untuk menggali dan memahami lebih jauh lagi, semua kemungkinan, semua tantangan, dan semua peluang untuk berinovasi dan berkreasi di era ini. Terakhir, kami ingin memberikan apresiasi yang sangat tinggi kepada pemateri utama pada hari ini.

Selamat berseminar, semoga Allah selalu memberi kita petunjuk agar selalu berada dalam ridha-Nya, amiin.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Malang, 10 November 2020

Rektor Universitas Merdeka Malang

Prof. DR. Anwar Sanusi, SE., Msi.

**KATA PENGANTAR**  
**PROSIDING**  
**SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI SiSTEK 2020**  
**MALANG - SELASA, 10 NOVEMBER 2020**

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Penyayang, karena atas izin-Nya maka Prosiding Seminar Nasional Teknologi 2020 Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang. Tema dengan mengambil tema : “**Inovasi Riset Engineering Berkelanjutan Menuju Kemandirian Pembangunan Bangsa**” bisa diselesaikan. Latar belakang pemilihan tema tersebut terkait dengan semakin pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Abad 21 yang turut melahirkan perubahan ataupun pembaharuan di berbagai bidang kehidupan, tidak terkecuali bidang teknologi.

Di samping itu, perlu untuk diketahui pada Prosiding Seminar Nasional Teknologi 2020 Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang ini juga terdapat 35 pemakalah dari berbagai institusi pendidikan tinggi yang berasal dari Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta serta Jawa Timur yang terbagi dalam 5 bidang keilmuan yaitu bidang teknik sipil, teknik mesin, arsitektur, teknik industri dan teknik elektro.

Prosiding Seminar Nasional Teknologi 2020 Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang bisa diselesaikan berkat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini izinkan kami mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Merdeka Malang beserta jajarannya, Dekan Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang beserta jajarannya, para dosen di lingkungan Program Studi Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang serta pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Penghargaan yang setinggi-tingginya juga kami sampaikan kepada segenap panitia yang telah bekerja keras demi suksesnya kegiatan ini.

Kami menyadari bahwa penyelenggaraan seminar ini masih banyak kekurangan , untuk itu, kami mohon maaf yang sebesar-besarnya. Akhir kata semoga buku prosiding ini mempunyai manfaat yang besar bagi kita semua. Amin.

Malang, 10 November 2020

Ketua Panitia,

**Daftar Isi**

Dewan Redaksi Prosiding SiSTEK 2020	i
Sambutan Rektor Universitas Merdeka Malang	ii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v

**Bidang Teknik Industri**

**Tema : Teknologi dan Rekayasa Sistem Industri, Ergonomi serta Distribusi di Era Disrupsi Revolusi Industri**

1	Proses Verifikasi Berdasarkan Performance Standard Untuk Sistem Tambat (Mooring System) Pada Jangkar Harun Indra Kusuma, Andi Rahadiyan Wijaya	1
2	Desain Booth untuk Usaha Kecil dan Mikro (UKM) Sebagai Sarana Branding Kampung Wisata Kuliner Mochammad Rofieq, Roos Widjajani, Nanny Roedjinandari	18
3	Analisis Keamanan Pangan dengan Menggunakan Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) pada Proses Pembuatan Bawang Hitam Tunggul Oke Oktavianty, Endra Yuafanedi Arifianto, Nasir Widha Setyanto, Arif Rahman, Ilma Visi Rahmani	25
4	Identifikasi Potensi dan Risiko Bahaya K3 Berdasarkan pada Dampak Korban di UMKM Silver 999 Ika Anggraeni Khusnul Khotimah, Dedi Rizaldi Chaniago	37
5	Pengukuran Metode Beban Kerja Mental Modified Cooper Harper (MCH) dan Manfaatnya Muchammad Riza Fauzy	48
6	Apakah Disiplin Mampu Memediasi Lingkungan Kerja Fisik dan Non Fisik untuk Mencapai Kinerja Karyawan yang Lebih Baik? Digitha Oktaviani Putri	54
7	Perencanaan Kebutuhan Material Emergency Slide Raft Untuk Memenuhi Tingkat Safety Stock di PT.X Primahasmi Dalulia	62
8	Pendekatan Periodic Review System Suku Cadang Mesin PLTU Vetty Kartikasari	71

**Bidang Teknik Mesin**

**Tema : Rekayasa Desain Energi Baru Terbarukan Berbasis Teknologi Material dan Manufaktur di Era Revolusi Industri 4.0**

1	Analisis Pewarnaan dari Limbah Sayur dan Buah pada Material Aluminium 6061 Hasil Anodizing Pungky Eka Setyawan; Elta Sonalitha; Dewi Izzatus Tsamroh	81
2	Austenitic Stainlees Steel dengan Penambahan Unsur Ni dan Mn Sebagai Penstabil Fasa Austenit Setelah Las MIG Semi Otomatis terhadap Sifat Daerah Lasan Model Butt Joint Single V Djoko Andrijono; Pungky Eka Setyawan; Dewi Izzatus Tsamroh	91
3	Analisis Nilai Kekerasan Pada Baja ST37 Pasca Proses Pack Carburizing Sebagai Material Dasar Sprocket Ilham Pangestu, Agus Suprpto, Ike Widyastuti	102
4	Optimasi Parameter Anodizing pada Aluminium 6061 dengan Metode Taguchi Dewi Izzatus Tsamroh, Agus Suprpto, Pungky Eka Setyawan	109
5	Analisis Komparasi Struktur dan Termal Piringan Rem Cakram Berventilasi Darto, I Made Sunada, Roman	113
6	Tinjauan Morfologi Keausan Pahat Karbida Terhadap Rasio Pemampatan Tebal Geram pada Proses Bubut Tirus Sudjatkiko, Darto, Haris Eka Yuniawan	121

**Bidang Teknik Mesin**

Tema : **Rekayasa Desain Energi Baru Terbarukan Berbasis Teknologi Material dan Manufaktur di Era Revolusi Industri 4.0**

7	Redesain Kompor Limbah Oli untuk Keperluan Industri Demmy Eka Pratama, H.M. Ma'ruf, FA Widiharsa	130
8	Verifikasi Mesin Pendingin Jenis Cussons Technology Dengan Serial Nomor 129 OnWard Ditinjau Secara Termodinamika Ahmad Saifudin, F.A. Widiharsa, H.Moch.Ma'ruf	137
9	Pengaruh Parameter Pengelasan Proses GTAW pada Pipa Baja HSLA API 51 X70 dengan Simulasi Menggunakan Ansys Sutrimo, Adam Mandawa Putra	151

**Bidang Teknik Sipil**

Tema : **Rekayasa Infrastruktur Berbasis Manajemen Resiko Bencana**

1	Efektifitas Saluran Drainase dalam Menurunkan Risiko Banjir dan Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat di Dataran Banjir Laksni Sedyowati; Gunawan Wibisono; Turijan; Nanang Mudjito	160
2	Identifikasi Sifat Fisik pada Beton Setelah Paparan Suhu Tinggi 400°C, 600°C dan 800°C Rizki Prasetya	171
3	Peran Stakeholder dalam Pengelolaan Limbah Cair Domestik Berkelanjutan di Kota Malang Bekti Prihatiningsih	177

**Bidang Teknik Elektro**

Tema : **Teknologi Internet of Thing (IOT) dan Robotika pada Era Industri 4.0**

1	Perancangan Robot Pengantar Makanan Otomatis dengan Navigasi Line Follower Marianus Tiga, Rahman Arifuddin, Dwi Arman Prasetya, Nachrowie	183
2	Pengelompokkan Perilaku Pembelian Konsumen Batik pada UMKM Menggunakan Fuzzy Clustering I Dewa made Widia, Sovia Rosalin, Salman Ratih Asriningtias, Elta Sonalita	189
3	Pemeriksaan Suhu Tubuh tanpa Kontak Langsung sebagai Pencegahan Covid-19 untuk Pengunjung Gedung Berbasis IoT Subairi, Aries Boedi Setiawan, Krisna Tiwikrama	196
4	Implementasi IoT untuk Kontrol dan Monitoring Tingkat Kekeruhan pada Kolam Ikan Hias Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno Wahyu Dirgantara, Abd. Rabi', Choiri Muchlis	204

**Bidang Arsitektur**

Tema : **Konsep Arsitektur Hijau Dalam Konteks Urban dan Rural**

1	Terapan Prinsip Arsitektur Hijau pada Arsitektur Vernakular Farida Murti	210
2	Prinsip Rancangan Double-Skin Facade Pada Bangunan Publik Menggunakan Motif Batik Jawa Timur Razqyan Mas Bimatyugra Jati, Adisti Safrilia	222
3	Penggunaan Ruang Publik di Permukiman Kota Daerah Aliran Sungai Brantas Kelurahan Samaan RW 05 Kota Malang Adisti Safrilia, Razqyan Masbimatyugra Jati	233
4	Kajian Sa'o Tua sebagai Rumah Tinggal Suku Ende-Lio di Flores yang Tanggap Iklim Patrisius Sado, Yunita Wulandari, Erlina Laksmiani Wahjutami	239
5	Tipologi Fasad Rumah Tinggal Kolonial pada Bouwplan I di Kota Malang Yesaya Moses Rondonuwu, Andreas Alsis Putra, Erlina Laksmiani Wahjutami	248



## WEBINAR & CALL for PAPER

Inovasi Riset Engineering Berkelanjutan Menuju Kemandirian Pembangunan Bangsa  
Selasa – 10 November 2020  
Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang



082336791870

sistek.unmer.ac.id

taman-agung-no.1-malang

### Bidang Arsitektur

Tema : **Konsep Aritektural Hijau Dalam Konteks Urban dan Rural**

6	Virtual Expo UMKM dengan Atap Panggung Tiup: Sebuah Solusi Pameran Dengan Protokol Covid-19 di Kawasan Perkotaan Hery Budiyanto, Aries Boedi Setiawan, Erna Winansih, Muhammad Iqbal	256
---	---	-----

# Proses Verifikasi Berdasarkan Performance Standard Untuk Sistem Tambat (*Mooring System*) Pada Jangkar

Harun Indra Kusuma\* dan Andi Rahadiyan Wijaya

Program Studi Magister Teknik Industri Universitas Gadjah Mada  
Jalan Grafika No 2 Yogyakarta Indonesia

\*harunindrakusuma@gmail.com

*Abstrak*— Dalam rangka mengurangi tingkat risiko kecelakaan kerja di industri minyak dan gas diperlukan suatu studi dan penambahan barrier, pada *element* yang kritis, yang disebut dengan *safety critical element*(SCE). Elemen kritis keselamatan/*safety critical element* (SCE) merupakan metode yang digunakan untuk memastikan kinerja sistem pelindung berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Proses membuat suatu *safety critical element*(SCE) dengan menentukan apa saja *element* yang kritis. Identifikasi SCE didapat dengan mekanisme penilaian terhadap beberapa aspek yang berpengaruh terhadap tingkat kritis elemen Sistem Tambat (*Mooring System* ). Tingkat kritis elemen disusun dari peran elemen terhadap keselamatan, konsekuensi jika terjadi kegagalan, dan ketersediaan elemen cadangan. Standar kinerja/*performance standard* (PS) digunakan menilai kinerja SCE dengan menggunakan kriteria yang ada dalam kode dan standar yang berlaku. Pembuatan *performance standard* sangatlah penting didalam SCE, agar dapat menjadi *indicator/parameter* yang mengukur sehingga kesesuaian dan keefektifan studi SCE ini bisa dijamin dan diverifikasi. Skema verifikasi memastikan kriteria dalam PS sudah dilaksanakan atau sudah tersedia. Skema verifikasi yang dikembangkan menggunakan pendekatan *asset integrity management system* (AIMS) dan *life extension*. Pendekatan ini memberikan rekomendasi kepada pihak operator dalam memilih *assurance task* dan aktivitas verifikasi berdasarkan tujuan pengembangan SCE dan sesuai dengan kebijakan perusahaan. Sistem Tambat (*Mooring System*) merupakan sistem untuk mengamankan kapal ke terminal. Penambatan diartikan mengolah gerak kapal sedemikian rupa untuk menyandarkan kapal ke dermaga sehingga kapal terbatas pergerakannya. Sistem Tambat (*Mooring System*) diperlukan untuk memberikan stabilitas seperti itu terhadap dinamika kapal, sambil memastikan perjalanan yang diizinkan, dengan begitu banyak ketergantungan struktur terapan pada Sistem Tambat ada baiknya untuk memahami keakuratan tingkat tinggi kinerja setiap komponen sistem dan respons global dari Sistem Tambat tersebut. Sistem Tambat (*Mooring System*) terbagi menjadi dua bagian yaitu Component, dan Configuration. Dari Sistem Tambat bagian Component terbagi menjadi empat bagian yaitu jangkar (*Anchor*), pelampung (*Buoys*), *lines*, dan *hardware*. SCE yang akan dibahas adalah Sistem Tambat (*Mooring System*) pada jangkar, alasan dipilihnya Sistem Tambat pada jangkar karena selain jangkar berfungsi untuk mengamankan tambatan dari pondasi tetap di dasar laut. Pada penelitian – penelitian belum ada yang membahas mengenai Safety Critical Element (SCE) pada jangkar dari mulai menentukan Major Accident Hazard dari jangkar sampai dengan proses verifikasi.

*Kata kunci*— Sistem Tambat, Bagian Dari Sistem Tambat,Standard Kinerja,Skema Verifikasi, dan Elemen Kritis Keselamatan

*Abstract*— In order to reduce the level of risk of work accidents in the oil and gas industry, a study and addition of barriers to a critical element called the safety critical element (SCE) is needed. The safety critical element (SCE) is a method used to ensure performance. the protection system runs as expected The process of making a safety critical element (SCE) by determining what elements are critical SCE identification is obtained by an assessment mechanism for several aspects that affect the critical level of the elements of the Mooring System. compiled from the role of elements on safety, consequences in case of failure, and availability of spare elements Performance standard (PS) is used to assess the performance of SCE by using the criteria contained in the code and applicable standards. Making performance standards is very important in SCE, so that it can be used as indicators / parameters to measure so that the suitability and effectiveness of this SCE study can be guaranteed and verified. The verification scheme ensures that the criteria in the PS have been implemented or are readily available. The verification scheme developed uses an asset integrity management system (AIMS) approach and life extensions. This approach provides recommendations to operators in selecting assurance tasks and verification activities based on the SCE development objectives and in accordance with company policies. The Mooring System is a system for securing ships to the terminal. Mooring is defined as processing the ship's motion in such a way as to anchor the ship to the dock so that the ship's movement is limited. The Mooring System is necessary to provide such stability to ship dynamics, while ensuring allowable travel, with so much dependence on the floating structure of the Mooring System it is worthwhile to understand the high accuracy of the performance of each component of the system and the global response of the Mooring System. The Mooring System is divided into two parts, namely Component and Configuration. From the Mooring System, the Component section is divided into four parts, namely anchors, buoys, lines, and hardware. The SCE to be discussed is the Mooring System at the anchor, the reason for choosing the mooring system at the anchor is because in addition to the anchor it functions to secure the mooring of the fixed foundation on the seabed. In studies, no one has discussed

the Safety Critical Element (SCE) on the anchor, starting from determining the Major Accident Hazard from the anchor to the verification process.

**Keywords**— Mooring System, Type for Mooring System, Performance Standard, Verification Scheme, Safety Critical Element

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Industri minyak dan gas ialah industri yang mengolah fluida, baik cair dan gas. Sifat dari fluida ini ialah mudah terbakar dan beracun, yang menjadikan industri ini menjadi industri dengan risiko yang tinggi. Risiko merupakan kombinasi antara *likelihood* (kemungkinan sebuah *event* terjadi) dengan konsekuensi yang dihadapi jika *event* terjadi [1]. Oleh karena itu, perusahaan yang memiliki tingkat risiko yang tinggi, umumnya memerlukan suatu departemen/bagian yang memiliki fungsi untuk menilai dan mengelola risiko dengan cara mengurangi *likelihood* dan/atau menurunkan konsekuensi. Industri minyak dan gas mengelola aset harus dengan sangat hati-hati untuk mencegah kejadian kecelakaan besar yang dapat terjadi sewaktu-waktu. Risiko pada industri minyak dan gas dapat dikategorikan menjadi beberapa tingkatan. Kategori umumnya berdasarkan kerugian yang terjadi. Tingkat tertinggi disebut *extreme high risk*, yaitu berupa kecelakaan besar (*major accident*) yang menyebabkan kerugian materiil, nyawa, atau lingkungan dalam lingkup yang sangat besar, dan dapat menyebabkan industri ditutup secara permanen (*abandoned*), atau jangka waktu yang sangat lama. *High risk* berupa risiko yang menimbulkan kerugian besar. *Medium, low* dan *negligible* merupakan tingkatan risiko selanjutnya yang memiliki dampak lebih rendah.

*Major accident hazard* (MAH) merupakan suatu bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan besar (*major accident*). Kegagalan dan kecelakaan merupakan hal yang dihindari dalam industri minyak dan gas [2]. Sistem Tambat (*Mooring System*) merupakan sistem untuk mengamankan kapal ke terminal. Penambatan diartikan mengolah gerak kapal sedemikian rupa untuk menyandarkan kapal ke dermaga sehingga kapal terbatas pergerakannya [3] *Safety Critical Element* (SCE) yang akan dibahas adalah Sistem Tambat (*Mooring System*) pada jangkar, alasan dipilihnya Sistem Tambat pada jangkar karena selain jangkar berfungsi untuk mengamankan tambatan dari pondasi tetap di dasar laut [3]

### B. Tinjauan Pustaka

Menurunnya risiko pada industri minyak dan gas harus menggunakan metodologi yang efektif dan sesuai dengan prinsip ALARP dan dilakukan secara bertahap [4]. Mulai dari mengidentifikasi semua risiko yang dilakukan dengan menerbitkan MAH (*major accident hazard*), QRA (*quantitative risk assessment*), Hazid/hazop (*hazard operability*) dan beberapa penilaian terhadap risiko yang lain. SCE harus didasarkan pada sistem penilaian formal yang praktis dan kredibel, dalam mengembangkan skema verifikasi SCE dengan metodologi yang lengkap, elemen yang kritis diberikan nomor yang sudah terstandar sehingga memudahkan peneliti selanjutnya untuk mengetahui elemen kritis mana yang akan dilakukan verifikasi, dan Penomoran yang dilakukan berdasarkan tingkat risiko dari masing masing elemen. [5]. SCE meliputi berbagai struktur, peralatan, sistem, subsistem, atau komponen yang mana jika mengalami kegagalan akan berkontribusi sebagai penyebab dasar *Major Accident Event* yang dianggap penting untuk keselamatan dan keutuhan suatu bangunan, *Performance Standard* adalah suatu ketentuan terhadap setiap SCE yang dinyatakan secara kualitatif atau kuantitatif sebagai syarat performansinya [6]

*Mooring System* diperlukan untuk memberikan stabilitas seperti itu terhadap dinamika kapal yang mengkompensasi gangguan yang bervariasi [7] *Life Extension* dari Sistem Tambat memiliki tujuan utama yaitu layanan berkelanjutan melalui Manajemen Integritas, salah satu

faktor yang mendorong dalam perpanjangan hidup (*Life Extension*) yaitu dengan cara meningkatkan produksi dan meminimalkan biaya yang dikeluarkan [8]

### C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui bahaya kecelakaan besar yang terjadi
2. Mengetahui bahwa Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar dapat dikategorikan sebagai *Safety Critical Element* (SCE)
3. Memastikan bahwa Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar sudah sesuai dengan kaidah *Safety Critical Element* (SCE) yang efektif.
4. Dapat memastikan bahwa Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar bekerja sesuai dengan *code* dan *standard*
5. Dapat membuat skema verifikasi pada Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar yang sesuai dengan kaidah *Safety Critical Element* (SCE)

## II. METODE

### A. Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah Sistem Tambat (*Mooring System pada jangkar*).

### B. Langkah – langkah Penelitian

Beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk menyelesaikan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Rincian tahapan disajikan sebagai berikut:

#### 1) Identifikasi Masalah

Langkah awal yang harus peneliti lakukan adalah mengidentifikasi masalah yang terjadi di Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar dan bagaimana cara menyelesaikan masalah yang terjadi Sistem Tambat (*Mooring System*) pada komponen jangkar.

#### 2) Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk menentukan parameter yang diperlukan dalam melakukan proses penelitian dengan menggunakan SCE.

#### 3) Pengumpulan Data

Penelitian ini mengembangkan PS, kriteria dan skema verifikasinya berdasarkan kode dan standar yang sesuai dengan sistem pada komponen jangkar. Data penelitian yang dikumpulkan berupa data perusahaan, data kajian studi terdahulu, dan standar yang berlaku pada perusahaan serta wawancara terhadap ahli.

#### 4) Identifikasi Sistem

Pada tahapan ini ada beberapa langkah dalam mengurai sistem tambat pada komponen jangkar, yaitu:

- Pengidentifikasian MAH dan risiko pada proses pengilangan minyak dan gas.
- Penentuan elemen/peralatan yang dikategorikan sebagai SCE
- Perhitungan sistem tambat pada komponen jangkar berdasarkan nilai kritis
- Pemilihan kriteria sistem tambat pada jangkar sesuai dengan kode dan standar yang berlaku

#### 5) Penyusunan Kriteria Performance Standard (PS)

PS disusun berdasarkan kriteria Sistem Tambat pada komponen jangkar yang benar, dengan menggunakan parameter FARSI. Kriteria fungsi didapat dari kegunaan Sistem Tambat pada komponen jangkar baik secara umum maupun secara *safety*, keefektifan. SCE dimulai dengan melakukan identifikasi risiko dari MAH *register* kemudian melakukan proses menghitung tingkat *criticality* dari setiap aset yang

diteliti. Selanjutnya membuat PS berisi tentang kemampuan dari suatu sistem yang terdiri dari beberapa kategori, 1. Fungsi, 2. Keandalan/ketersediaan, 3. *Survivability*, 4. Interaksi dan sistem yang mempengaruhi

6) *Pengembangan Skema Verifikasi Safety Critical Element (SCE)*

Skema verifikasi Sistem Tambat pada Jangkar dikembangkan dari kriteria PS. Kriteria PS dijawab dan dipenuhi dalam bentuk rencana dan tindakan yang memastikan Perlindungan korosi berjalan dengan baik. Skema verifikasi SCE terdiri dari 2 bagian, yaitu *assurance task* dan aktivitas verifikasi.

7) *Verifikasi Terhadap Skema yang Dibangun*

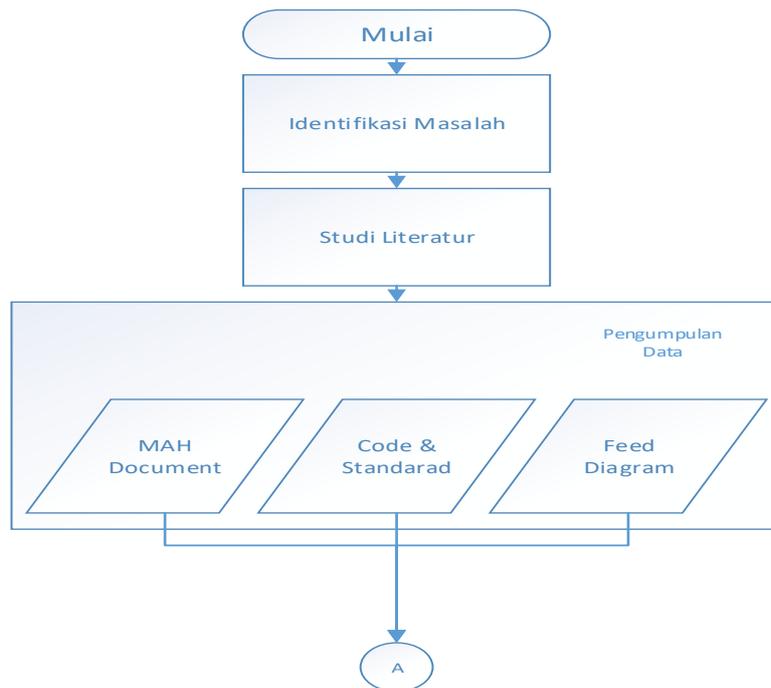
Proses verifikasi dilakukan untuk menilai dan menguji WVS/skema verifikasi SCE.

8) *Remediasi*

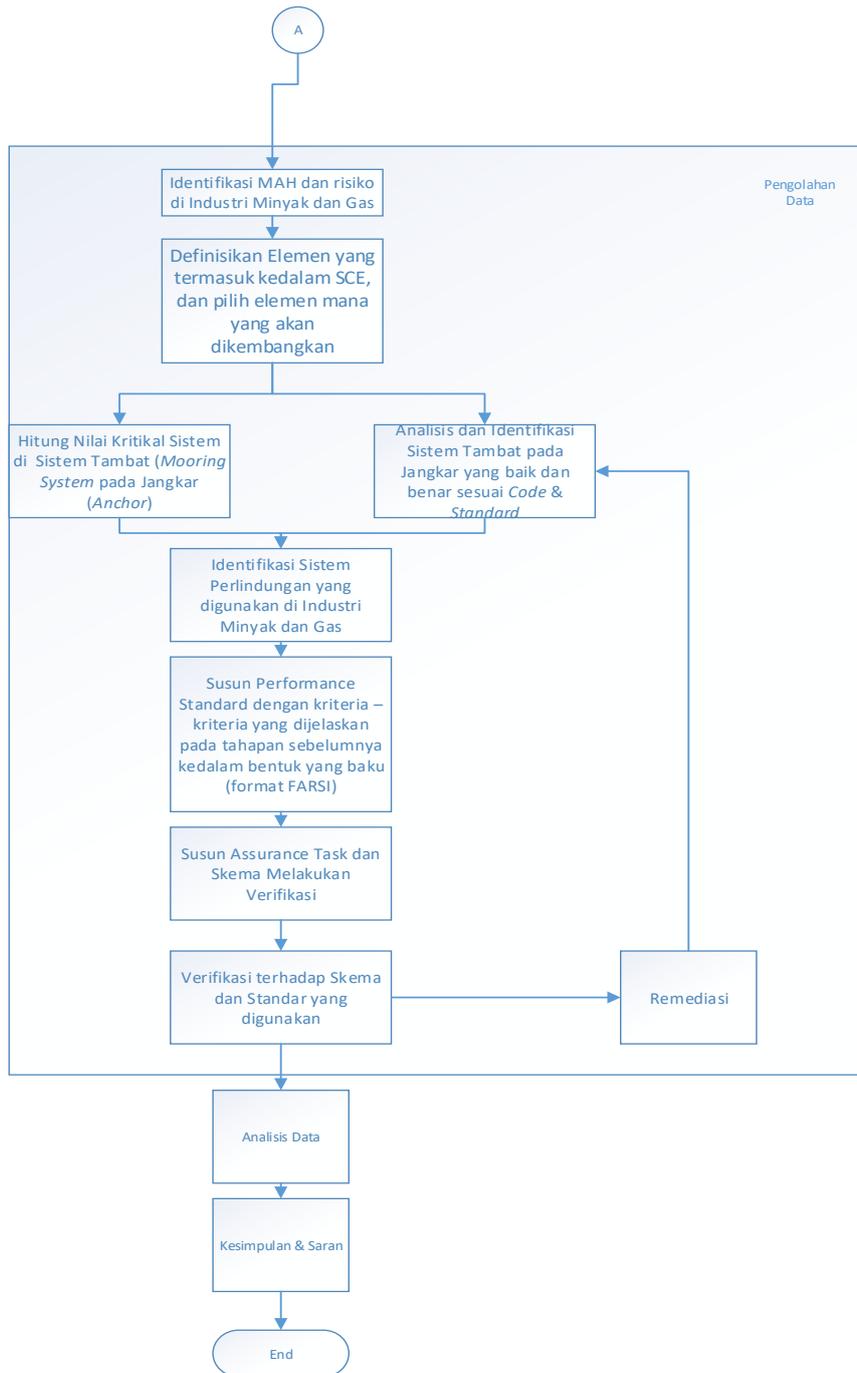
Remediasi digunakan untuk menjembatani skema yang sudah dibuat dengan pengetahuan dari operator.

9) *Analisis Skema Verifikasi*

Skema verifikasi di analisis dengan menggunakan kriteria *Acceptance*. Kriteria *acceptance* merupakan bagian dari parameter yang digunakan dalam menilai skema yang dikembangkan, yaitu *life extension* dan *AIMS acceptance*. Diagram Alur Penelitian atau *flow chart* Penelitian yang dilaksanakan terdapat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Flowchart Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian Lanjutan

### III. HASIL

#### A. *Major Accident Hazard (MAH)*

MAH merupakan bagian dari proses yang perlu dikendalikan. Pada Sistem Tambat terdapat kegiatan yang tergolong sebagai *Major Accident* (Kecelakaan Besar) yaitu peralatan peanahan yang rusak pada sistem tambat . Pada Sistem Tambat akibat dari kecelakaan besar (*major accident*) terdiri dari 11 akibat dari bahaya kecelakaan besar yang terjadi pada Sistem Tambat (*Mooring System*). Adapun akibat dari bahaya kecelakaan besar pada sistem tambat dapat dilihat pada Tabel 1

TABEL I  
AKIBAT DARI BAHAYA KECELAKAAN BESAR (*MAJOR ACCIDENT HAZARD*) PADA SISTEM TAMBAT (*MOORING SYSTEM*)

No	Kategori MAH	Jumlah
1	Personnel Injury	18
2	Equipment Damage	17
3	Oil Pollution	5
4	Collision /Allision	13
5	Grounding	12
6	Windlass / Hydraulic motor failure	1
7	Delays / commercial impact	1
8	Transport of unwanted marine organisms	1
9	property damage	1
10	Hydraulic Oil Pollution	1
11	Fire / Explosion if combined with flammable gases	1

#### B. *Penentuan Sistem Tambat (Mooring System) sebagai SCE*

Tingkat kritis (*criticality*) elemen digunakan sebagai penentu Sistem Tambat (*Mooring System*) sebagai SCE. Perhitungan *criticality* menggunakan 3 variabel (*energy institute*, 2019) yaitu: *functional role* (peran fungsi, manajemen keselamatan), *Consequence of failure* (tingkat keparahan) dan *Redundancy score* (ketersediaan cadangan). Pada Sistem Tambat terdapat 22 kegiatan yang tergolong sebagai bahaya kecelakaan baik tingkat rendah, sedang, dan Tinggi. Penjelasan mengenai Nilai Kritis dari kecelakaan Besar (*Major Accident*) dijelaskan pada tabel 2

**TABEL II**  
**TINGKAT KRITIS SISTEM TAMBAT**

No	Hazard	Fungsi (Fn)	Consequence of failure (Cq)	Redundancy (Rn)	Score			SCE criticality score	SCE critical rank
					Fn	Cq	R		
1	Prosedur tidak pada tempatnya / tidak mengikuti prosedur	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
2	Perencanaan yang tidak memadai	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
3	Penahan di pelabuhan yang padat	<i>Prevention</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	4	2	2	16	<i>Medium</i>
4	Peralatan penahan yang rusak	<i>Prevention</i>	<i>Catastrophic</i>	<i>No other SCE that duplicates the full functionality of the failed/unavailable SCE</i>	4	3	3	36	<i>High</i>
5	Ketegangan / Kekuatan yang melebihi batas operasional yang aman dari peralatan	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
6	Operasi mesin kerek yang tidak tepat	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
7	Pemantauan kabel jangkar yang tidak memadai	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
8	Kondisi cuaca laut saat ini buruk	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
9	Dasar laut berbatu / berbahaya	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
10	Tidak dapat mengambil jangkar	<i>Emergency respon &amp; Saving life</i>	<i>Moderate</i>	<i>An alternative SCE can provide full functionality of the failed/unavailable SCE</i>	1	1	1	1	<i>Low</i>
11	Menimbang jangkar dalam visibilitas yang berkurang / lalu lintas padat	<i>Prevention</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	4	2	2	16	<i>Medium</i>
12	Tergelincir / Trips / Jatuh	<i>Emergency respon &amp; Saving life</i>	<i>Moderate</i>	<i>An alternative SCE can provide full functionality of the failed/unavailable SCE</i>	1	1	1	1	<i>Low</i>
13	Kotoran / partikel karat / puing-puing terlempar, percikan api / benda tajam	<i>Emergency respon &amp; Saving life</i>	<i>Moderate</i>	<i>An alternative SCE can provide full functionality of the failed/unavailable SCE</i>	1	1	1	1	<i>Low</i>
14	Supervisi komunikasi yang tidak memadai	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
15	Pencahayaan tidak memadai	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
16	Transportasi organisme laut yang tidak diinginkan	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
17	Beban Kerja Tinggi / Kelelahan / Kesalahan Manusia	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
18	Kegagalan peralatan (pendingin air hidrolik)	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
19	Kerusakan rem / Pelepasan jangkar yang tidak terkendali	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
20	Percikan api dari gesekan antara kabel / mesin kerek	<i>Detection</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	3	2	2	12	<i>Medium</i>
21	Menarik jangkar	<i>Control and Mitigation</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	2	2	2	8	<i>Medium</i>
22	Jangkar tertahan di posisi penyimpanan	<i>Prevention</i>	<i>Major</i>	<i>SCE design has provision for redundancy</i>	4	2	2	16	<i>Medium</i>

### C. Performance Standard (PS) Sistem Tambat pada Jangkar

PS SCE Sistem Tambat (*Mooring System*) dibuat dengan menggunakan parameter FARSI, antara lain:

#### 1) Functionality

Terdapat 3 bagian penting *functionality* yaitu kegunaan, kapasitas dan keefektifan Sistem Tambat (*Mooring System*). Selanjutnya untuk Fungsi utama Sistem Tambat (*Mooring System*) pada jangkar diuraikan menjadi empat fungsi turunan. Adapun fungsi turunan Sistem Tambat adalah sebagai berikut:

- Untuk menyediakan struktur jangkar dan alat tambahan dengan kekuatan yang cukup untuk menahan beban maksimum
- Untuk memberikan jaminan integritas tambat lokasi tertentu
- Untuk menyediakan tali tambat yang fleksibel dengan beban kerja yang aman setidaknya sama dengan pembebanan yang dihitung maksimum dalam semua cuaca desain kondisi.
- Untuk menyediakan kaca depan yang mampu memberikan tegangan pada sistem tambat hingga tegangan desain maksimum untuk cuaca buruk

#### 2) *Availability /Reliability*

Kriteria utama yang ada pada bagian *Availability dan reliability* berupa:

- *Availability*
- *Reliability*
- *Integrity*

Pada tahapan ini sistem tambat akan diurai berdasarkan elemen/komponen penyusun utama sistem. Dari elemen komponen tersebut digali *requirement* yang dibutuhkan berkenaan dengan *Availability, Reliability, Integrity*. PS pada parameter *Availability, Reliability* tersusun dari empat komponen utama, yaitu:

- Sistem pondasi tambatan permanen
- *Mechanical, electrical, and hydraulic systems*
- Struktur yang mendukung peralatan penahan, *fairleads* dan *winch*
- *Positioning/ Towing Systems*

Setiap komponen dilengkapi kebutuhan dan persyaratan dari ketiga kriteria *availability, reliability* dan *integrity*.

#### 3) *Survivability*

Kriteria utama dalam *survivability* berupa:

- Korosi
- *Fatigue*
- Adanya Induksi saat ini
- *Rig Founders/ Capsizes – Cuaca Parah*

#### 4) *Interaction*

Pada *interaction*, di tentukan elemen perlindungan atau SCE yang memiliki hubungan dengan sistem tambat (*Mooring System*) pada jangkar. Selanjutnya dalam hubungan tersebut ditentukan alasan, peran dan keterkaitan antara SCE dengan sistem tambat.

### D. *Assurance Task*

*Assurance Task* yang dikembangkan adalah susunan tindakan yang bertujuan untuk menilai dan memastikan sistem tambat berjalan sesuai dengan ketentuan. *Holder / User* melengkapi tindakan yang diperlukan untuk memenuhi kriteria dalam PS Sistem tambat. Parameter dari FARSI dikombinasikan dengan pendekatan AIMS dan *Life Extension*. Pendekatan AIMS menekankan kepada komponen sistem unit pengilangan untuk dapat saling terhubung dengan baik. Kriteria yang perlu dicapai di dalam AIMS agar dikatakan baik antara lain sesuai dengan *American Buerau of Shipping (ABS) Guidance Notes On Mooring Integrity Management*:

- 1) *System Description of Mooring System,*
- 2) *Assessment of Mooring System*
- 3) *Control Measure of Mooring System*
- 4) *Inspection Plan and Strategy of Mooring System*

*Life extension* adalah bagian dari proses Mooring Integrity Management (MIM). Fokusnya adalah pada layanan berkelanjutan melalui manajemen integritas. Penilaian kondisi dasar, sesuai dengan Catatan yang harus dilakukan.

#### E. Skema Verifikasi

Skema verifikasi yang dihasilkan berupa tahapan dalam pengembangan dan verifikasi SCE untuk sistem tambat dengan menggunakan pendekatan AIMS dan *life extension*. Kegiatan dan aktivitas skema verifikasi dibentuk dalam format *assurance task*, aktivitas verifikasi (*plan*) dan metode pengambilan sampel.

### IV. PEMBAHASAN

#### A. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengembangan PS dan skema verifikasi SCE, penentuan penggunaan kode dan standar mengacu pada kebutuhan dan persyaratan sistem tambat pada jangkar. Metode dalam *assurance task* seperti *System Description of Mooring System*, *Assessment of Mooring System*, *Control Measure of Mooring System*, dan *Inspection Plan and Strategy of Mooring System*

*Assessment of Mooring System* mengikuti kebijakan perusahaan. Hasilnya semua alternatif sesuai dengan kriteria yang perusahaan inginkan. Alternatif – alternative tersebut sejalan dengan Standard yang meliputi API RP 2I, API RP 2SK, ISO 19901-7, dan OCIMF-MEG3 2008 yang dilakukan dalam rangka memastikan *assurance task* yang dilakukan telah terpenuhi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian [7], yang menjelaskan tahapan-tahapan SCE yang memastikan perlindungan dapat terpasang sesuai dengan ketentuan. Perbedaan dengan penelitian [7] adalah pada penggunaan pendekatan *life extension* dan melakukan pengembangan SCE untuk tujuan AIMS.

#### B. Rekomendasi Outcome

Berdasarkan hasil yang didapat, beberapa rekomendasi yang perlu dipertimbangkan, antara lain:

- 1) Proses *update* perlu dilakukan secara terus menerus, mengingat bahwa sistem tambat pada jangkar memiliki perkembangan yang secara signifikan. Pada tahapan ini juga memerlukan kode dan standar yang berlaku.
- 2) Proses perubahan pada spesifikasi harus dipertimbangkan dengan keamanan proses. Serta dokumen perubahan sangat perlu dilengkapi.
- 3) Personel penanggung jawab SCE dan verifikasi perlu dipersiapkan dengan kompetensi tentang proses dan *safety*.

### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. Kecelakaan besar terjadi akibat kombinasi MAH, kerusakan/kegagalan elemen dan *human error*. Akibat dari Bahaya Kecelakaan Besar maka akan menyebabkan 11 kejadian yaitu *Personnel Injury*, *Equipment Damage*, *Oil Pollution*, *Grounding*, *Windlass/Hydraulic motor failure*, *Delays/commercial impact*, *Transport of unwanted marine organisms*, *property damage*, *Hydraulic Oil Pollution*, dan *Fire / Explosion if combined with flammable gases*

Sistem Tambat pada jangkar merupakan SCE dengan menghitung nilai kritis, data kecelakaan, luas lingkup dan tingkat kerumitan sistem.

Kriteria PS harus dirancang berdasarkan standar API, ISO, dan OCIMF dan harus dapat diterjemahkan dalam aktivitas yang dapat dipercaya dan memungkinkan diverifikasi.

*Assurance task* yang dikembangkan menggunakan standar dan kode yang berlaku menjawab kebutuhan yang dikembangkan pada kriteria PS. Pendekatan *life extension* dan *AIMS* dikombinasikan dan disesuaikan dengan arah kebijakan perusahaan.

Skema verifikasi yang dibuat merupakan tahapan yang memiliki ide dalam penerapan SCE dengan tujuan tertentu. Penambahan kriteria *life extension* dan *AIMS* yang diikuti dengan aktivitas verifikasi. Aktivitas verifikasi berupa *Inspection, monitoring, Re Design,* dan *Maintenace*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan YME atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan artikel ini dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

- 1) Orang tua tercinta, Ibu Widiyastuti Sri Wiryanti dan Bapak Djaka Nugraha yang telah banyak mendukung dari segi doa dan materi untuk keberhasilan penulis.
- 2) Bapak Andi Rahadiyan Wijaya, S.T., M.Sc., Lic., Ph.D., selaku pembimbing akademik dan pembimbing tesis.
- 3) Bapak Prof. M.Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- 4) Bapak Muhammad Kusumawan Herliansyah, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
- 5) Bapak Agung Nugroho dan tim *Reliability* yang membantu dan membimbing pengambilan data.
- 6) Kakak Eka, Abid, Sony, Bayu sebagai tim yang menyusun dan mengumpulkan data.
- 7) Segenap Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- 8) Orang Tua dan saudara, Sony Thomas S, Soni Febriga S, selaku keluarga yang tidak pernah berhenti mendukung, memberi semangat, dan mendoakan.
- 9) Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Industri angkatan 2018 Ganjil (Yudha, Andita, Yunita, Nia, Monika, Miftah, Dian, Dira, Tika, Salsa, Hikmah, Rido, Nevia, Adi) yang membantu selama masa perkuliahan.

#### REFERENSI

- [1]. Sharp. (2018). 'A FRAMEWORK FOR THE MANAGEMENT OF AGEING OF SAFETY CRITICAL ELEMENTS OFFSHORE', pp. 1–13.
- [2]. Pertamina. (2019). 'Major Accident Hazards ( MAH ) Report.
- [3]. The Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP). (2019). 'Identification of Safety Critical Equipment ( SCE ). The Canadian Association of Petroleum Producers ( CAPP )', (March).
- [4]. DNV GL. (2014). *Challenging Climates :The Outlook for the oil and gas industry in 2014*. Norway:
- [5]. Yessekeyeva. (2014). 'Performance Standards for Environmentally Critical Elements', (March), pp. 17–19  
**Standard:**
- [6]. Tremblay. (2007). 'Risk Based Classification of Offshore Production Systems', *ABS TECHNICAL PAPERS*, pp. 53–59.
- [7]. Duta, R., & Mahdi, M. (2014). *Best Practices in Asset Integrity Management System. International Petroleum Technology Conference*. Doha, Qatar: *International Petroleum Technology Conference*
- [8]. NAM. (2018). *Verification Scheme Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.*

# Kursi Kerja Karyawan NonProduksi PT.KI

Fu'ad Kautsar\*, Digitha Oktaviani Putri, Novira Kathrina Dewi

*Prodi Teknik Industri Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia*

\*fuad.kautsar@unmer.ac.id (penulis korespondensi)

*Abstrak*— PT. KI merupakan sebuah perusahaan yang bergerak dalam industri obat dan minuman ringan. Diluar Departemen Produksi, PT. KI memiliki 4 departemen yaitu EHS (*Environment Health Safety*), PPIC (*Production Planning Inventory Control*), Administrasi dan Personalia. Karyawan di empat departemen tersebut bekerja selama 8 jam kerja dimana 90% waktu bekerja digunakan dengan menatap layar komputer. Guna mendukung kinerja karyawannya PT. KI menyediakan sarana – prasarana, dimana salah satunya adalah kursi. Terdapat tiga bentuk kursi yang berbeda. Kursi tipe – 1 memiliki roda, bantalan punggung dan tuas untuk mengatur ketinggian, namun tidak memiliki bantalan untuk lengan. Bentuk kursi tipe – 2 yakni tidak memiliki roda, namun memiliki bantalan punggung dan lengan. Sedangkan kursi tipe – 3 beroda, memiliki tuas pengatur ketinggian dan memiliki bantalan pada punggung serta lengan. Salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah munculnya keluhan dari karyawan berupa sakit punggung dan pegal – pegal. Salah satu upaya untuk mengatasinya adalah dengan melakukan analisa ergonomi. Ergonomi merupakan suatu ilmu, seni dan teknologi yang berupaya untuk menyerasikan alat, cara dan lingkungan kerja terhadap kemampuan, kebolehan dan segala keterbatasan manusia, sehingga manusia dapat berkarya secara optimal tanpa pengaruh buruk dari pekerjaannya. *Rapid Entire Body Assessment (REBA)* adalah sebuah metode dalam bidang ergonomi yang digunakan secara cepat untuk menilai postur leher, punggung, lengan, pergelangan tangan, dan kaki seorang pekerja. perhitungan dari *REBA worksheet*, maka kursi yang memiliki resiko tinggi ialah tipe 2 dan 3 yang menduduki level 3 dengan skor 9 yang harus dilakukan perubahan posisi duduk karyawan tersebut. Selain itu juga karyawan dari yang menggunakan ketiga jenis kursi tersebut banyak yang tidak sesuai dimensinya. Dimana seharusnya karyawan duduk hingga punggung bersandar ke bantalan kursi, namun lebih banyak yang tidak sampai bersandar pada kursi. apabila ini dilakukan terus menerus akan berakibat bagi karyawan tersebut.

*Kata kunci*— Ergonomi, REBA, Karyawan, Kursi Kerja..

*Abstract*— PT. KI is a company engaged in the drug and soft drink industry. Outside the Production Department, PT. KI has 4 departments, namely EHS (*Environment Health Safety*), PPIC (*Production Planning Inventory Control*), Administration and Personnel. Employees in these four departments work 8 hours of work where 90% of the working time is spent staring at a computer screen. In order to support the performance of its employees, PT. KI provides facilities and infrastructure, one of which is a chair. There are three different forms of chairs. Type - 1 seats have wheels, back cushions and levers to adjust the height, but they do not have support for the arms. The form of a type-2 chair is that it does not have wheels, but has back and arm pads. Meanwhile, the 3-wheeled type seat has a height adjustment lever and supports its back and arms. One of the problems that often occurs is the emergence of complaints from employees in the form of back pain and aches. One of the efforts to overcome this problem is to do an ergonomic analysis. Ergonomics is a science, art and technology that seeks to harmonize tools, methods and work environment with human abilities, abilities and limitations, so that humans can work optimally without the bad influence of their work. *Rapid Entire Body Assessment (REBA)* is a method in the field of ergonomics that is used to quickly assess the posture of a worker's neck, back, arms, wrists and feet. the calculation from the *REBA worksheet*, then the chairs that have a high risk are types 2 and 3 which occupy level 3 with a score of 9 which must change the employee's sitting position. In addition, many employees who use the three types of chairs do not match their dimensions. Where employees should sit so that their backs are leaning against the seat cushions, but more do not lean on the chair. if this is done continuously it will have repercussions for the employee.

*Keywords*— *Ergonomics, REBA, Employees, Work Chairs.*

## I. PENDAHULUAN

Guna mencapai suatu hasil kerja yang optimal, perusahaan juga harus memberikan fasilitas-fasilitas kerja yang memadai yang dapat menunjang kinerja para karyawan [1]. Fasilitas yang ada di kantor serta lingkungannya juga mempengaruhi kualitas kerja karyawan.[2] Secara ideal stasiun kerja haruslah disesuaikan peranan dan fungsi pokok dari komponen-komponen sistem kerja yang terlibat yaitu manusia, mesin/peralatan, dan lingkungan fisik kerja [3] Permasalahan yang paling sering dirasakan oleh karyawan kantor

adalah dimensi stasiun kerja (kursi dan meja) yang tidak sesuai dengan dimensi dan massa tubuh karyawan. Apabila hal tersebut tetap dibiarkan maka besar kemungkinan terjadi ketidaknyamanan pada karyawan dan berpengaruh pada produktivitas serta berujung kepada penilaian kinerja (*performance appraisal*) yang buruk [4]. PT. KI bergerak di bidang industri obat dan minuman ringan. Di kantor ada 4 departemen yaitu EHS (*Environment-Health-Safety*), PPIC (*Production Planning Inventory Control*), Administrasi dan Personalia. Di dalam kantor tersebut memiliki tiga bentuk kursi yang berbeda seperti yang dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 Tipe Kursi

Kursi tipe – 1 memiliki roda, bantalan punggung dan tuas untuk mengatur ketinggian, namun tidak memiliki bantalan untuk lengan. Bentuk kursi tipe – 2 yakni tidak memiliki roda, namun memiliki bantalan punggung dan lengan. Sedangkan kursi tipe – 3 beroda, memiliki tuas pengatur ketinggian dan memiliki bantalan pada punggung serta lengan. Banyak dari karyawan sering mengeluh nyeri pinggang dan leher tegang. Karyawan lebih banyak yang menggunakan kursi tipe – 3 yakni 10 dari 20 orang. Selain itu, terdapat beberapa kejadian karyawan jatuh saat duduk pada kursi tipe – 3 dan mengakibatkan kerusakan pada kursi serta meja karyawan tersebut. Kerugian lainnya yaitu bagi karyawan itu sendiri, akibat jatuh dari kursi tersebut.

Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan Analisa fasilitas kerja Departemen Non Produksi dengan REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) yang bertujuan untuk mengevaluasi pekerjaan atau aktivitas, dimana pekerjaan tersebut memiliki kecenderungan menimbulkan ketidaknyamanan seperti kelelahan pada leher, tulang punggung, lengan, dan sebagainya. REBA adalah sebuah metode dalam bidang ergonomi yang digunakan secara cepat untuk menilai postur leher, punggung, lengan, pergelangan tangan, dan kaki seorang pekerja [5]. Ergonomi merupakan ilmu sistematis untuk memanfaatkan informasi- informasi mengenai sifat, kemampuan dan keterbatasan manusia merancang suatu sistem kerja, sehingga manusia dapat hidup dan bekerja pada sistem itu dengan baik [6] Metode REBA telah mengikuti karakteristik, yang telah dikembangkan untuk memberikan jawaban untuk keperluan mendapatkan peralatan yang bisa digunakan untuk mengukur pada aspek pembebanan fisik para pekerja.[7]

## II. METODE

### A. Studi Pustaka

Studi pustaka bertujuan untuk mendapatkan referensi yang mendukung pemecahan permasalahan yang ada. Dalam penelitian ini perlu adanya acuan berupa buku, karya ilmiah maupun artikel ilmiah yang terkait dengan penelitian ini.

## B. *Survei Pendahuluan*

Peneliti melakukan wawancara kepada karyawan Departemen Non Proses & observasi terhadap fasilitas kerja berupa kursi untuk mengetahui keluhan – keluhan yang dirasakan oleh karyawan selama menggunakan kursi tersebut. Observasi terhadap kejadian dilapangan secara langsung. Kemudian mencatat kejadian dari awal hingga akhir penelitian. Observasi ini akan lebih efektif jika informasi yang hendak diambil berupa kondisi fakta sesuai kejadian, tingkah laku dan hasil responden dalam situasi tersebut. Namun juga observasi ini juga perlu dibatasi sesuai dengan kepentingan dari peneliti [8]

## C. *Identifikasi Masalah*

Langkah berikutnya yakni identifikasi masalah dari penelitian. Hal ini didapatkan setelah peneliti melakukan observasi lapangan dan melakukan studi pustaka sebagai bahan pembandingan bagi penelitian tersebut. Pada bagian manakah yang terdapat masalah dan dapat ditelusuri serta memberikan saran untuk mengurangi masalah tersebut.

## D. *Pengumpulan Data*

Metode pengumpulan data pada penelitian ini ialah melakukan observasi kepada pekerja. Adapun data yang diambil disebut data kualitatif. Pengumpulan data yang diambil sesuai dengan kebutuhan untuk penelitian, umumnya data yang diambil sesuai dengan lembar kerja/worksheet yang sesuai dengan penelitian. Untuk penelitian ini menggunakan lembar kerja REBA.

Berdasarkan permasalahan diatas maka jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Adapun pengertian dari penelitian kuantitatif merupakan data yang berwujud angka atau bilangan. Penelitian kuantitatif biasanya dijadikan sebagai bahan dasar bagi setiap permasalahan yang bersifat statistik. Data ini umumnya diolah memakai teknik perhitungan matematika [9]. Data kuantitatif diklasifikasikan menjadi dua yaitu data kuantitatif berdasarkan proses atau cara mendapatkannya dan data kuantitatif berdasarkan tipe skala pengukuran yang digunakan.

## E. *Pengolahan Data*

Dalam langkah ini peneliti mengolah data yang telah didapatkan pada langkah sebelumnya. Kemudian data tersebut dilakukan kalkulasi pada REBA worksheet yang telah diisi data pengamatan pada proses pengumpulan data, hingga didapatkan hasil dari perhitungan tersebut. Dalam pengelolaan data juga melihat acuan dasar dari penelitian ini, sehingga hasil yang didapatkan akan lebih akurat.

### III. HASIL

Hasil penelitian hendaknya dituliskan secara jelas dan padat. Penjelasan temuan penelitian dalam bentuk angka statistik, tabel, atau grafik tidak dengan sendirinya bersifat komunikatif. Penjelasan tentang hal tersebut masih diperlukan dan bersifat faktual, tidak mencakup pendapat pribadi (interpretasi) peneliti.

#### I. *Kondisi Stasiun Kerja Saat ini*

Pada PT KI memiliki tiga jenis bentuk kursi kerja yakni sebagai berikut :

##### 1) *Bentuk kursi tipe – 1*

Pada stasiun kerja ini kursi memiliki kaki roda dan ada tuas untuk naik turun menyesuaikan ketinggian bagi penggunaanya. Serta memiliki sandaran hingga kepala dan memiliki lengan kursi



Gambar 2. Bentuk Kursi Tipe – 1

2) *Bentuk kursi tipe – 2*

Pada stasiun kerja ini kursi tidak memiliki kaki roda dan tidak ada tuas untuk naik turun menyesuaikan ketinggian bagi penggunanya. Serta memiliki sandaran hingga leher dan memiliki lengan kursi.



Gambar 3. Bentuk Kursi Tipe – 2

3) *Bentuk kursi tipe – 3*

Pada stasiun kerja ini kursi memiliki kaki roda dan ada tuas untuk naik turun menyesuaikan ketinggian bagi penggunanya. Serta memiliki sandaran hingga punggung pekerja dan tidak ada lengan kursi.



Gambar 4. Bentuk Kursi Tipe - 3

Dari ketiga bentuk kursi diatas mayoritas (45%) dari karyawan kantor menggunakan bentuk kursi tipe - 3. Sebagian mengeluh sering nyeri di area punggung, leher, lengan serta area kaki.

## II. Analisa REBA

Rapid Entire Body Assessment (REBA) adalah sebuah metode dalam bidang ergonomi yang digunakan secara cepat untuk menilai postur leher, punggung, lengan, pergelangan tangan, dan kaki seorang pekerja. REBA lebih umum, dalam penjumlahan salah satu sistem baru dalam analisis yang didalamnya termasuk faktor-faktor dinamis dan statis bentuk pembebanan interaksi pembebanan perorangan, dan konsep baru berhubungan dengan pertimbangan dengan sebutan “The Gravity Attended” untuk mengutamakan posisi dari yang paling unggul [10]. Hasil perhitungan REBA seluruh tipe kursi dapat dilihat sebagai berikut :

**REBA Employee Assessment Worksheet**

Task Name: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

**A. Neck, Trunk and Leg Analysis**

**Step 1: Locate Neck Position**

Neck Score: **2**

**Step 2: Locate Trunk Position**

Trunk Score: **2**

**Step 3: Legs**

Leg Score: **3**

**Step 4: Look up Posture Score in Table A**

Posture Score A: **5**

**Step 5: Add Force/Load Score**

Force / Load Score: **0**

**Step 6: Score A, Find Row in Table C**

Score A: **5**

**Scoring**

1 = Negligible Risk  
 2-3 = Low Risk, Change may be needed.  
 4-7 = Medium Risk, Further Investigation, Change Soon.  
 8-10 = High Risk, Investigate and Implement Change  
 11- = Very High Risk, Implement Change

**B. Arm and Wrist Analysis**

**Step 7: Locate Upper Arm Position**

Upper Arm Score: **2**

**Step 8: Locate Lower Arm Position**

Lower Arm Score: **1**

**Step 9: Locate Wrist Position**

Wrist Score: **3**

**Step 10: Look-up Posture Score in Table B**

Posture Score B: **4**

**Step 11: Add Coupling Score**

Coupling Score: **0**

**Step 12: Score B, Find Column in Table C**

Score B: **4**

**Step 13: Activity Score**

Activity Score: **1**

**REBA Score**

Table C Score: **5** + Activity Score: **1** = **6**

Original Worksheet Developed by Dr. Alan Hedge, Based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hegrett, MCGraw-Hill, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

Gambar 5. Perhitungan REBA Kursi Tipe – 1

Hasil akhir menunjukkan pada Level medium risk, skor akhir menunjukkan nilai 6 yang mengindikasikan bahwa posisi/postur tersebut memerlukan tindakan perbaikan untuk jangka waktu yg lama atau tidak dalam waktu dekat.

**REBA Employee Assessment Worksheet**

Task Name: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

**A. Neck, Trunk and Leg Analysis**

**Step 1: Locate Neck Position**  
Neck Score: 2

**Step 2: Locate Trunk Position**  
Trunk Score: 3

**Step 3: Legs**  
Leg Score: 3

**Step 4: Look up Posture Score in Table A**  
Locate score in Table A: 6

**Step 5: Add Force/Load Score**  
Force / Load Score: 0

**Step 6: Score A, Find Row in Table C**  
Score A: 5

**B. Arm and Wrist Analysis**

**Step 7: Locate Upper Arm Position**  
Upper Arm Score: 2

**Step 8: Locate Lower Arm Position**  
Lower Arm Score: 1

**Step 9: Locate Wrist Position**  
Wrist Score: 3

**Step 10: Look-up Posture Score in Table B**  
Posture Score B: 4

**Step 11: Add Coupling Score**  
Coupling Score: 2

**Step 12: Score B, Find Column in Table C**  
Score B: 6

**Step 13: Activity Score**  
Activity Score: 1

**Final Calculation:**  
Table C Score (8) + Activity Score (1) = REBA Score (9)

**Scoring Legend:**  
1 = Negligible Risk  
2-3 = Low Risk, Change may be needed.  
4-7 = Medium Risk, Further Investigate, Change Soon.  
8-10 = High Risk, Investigate and Implement Change  
11+ = Very High Risk, Implement Change

Gambar 6. Perhitungan REBA Kursi Tipe – 2

Hasil akhir menunjukkan pada Level high risk, skor akhir menunjukkan nilai 9 yang mengindikasikan bahwa posisi/postur tersebut memerlukan tindakan perbaikan segera.

**REBA Employee Assessment Worksheet**

Task Name: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

**A. Neck, Trunk and Leg Analysis**

**Step 1: Locate Neck Position**  
Neck Score: 2

**Step 2: Locate Trunk Position**  
Trunk Score: 2

**Step 3: Legs**  
Leg Score: 3

**Step 4: Look up Posture Score in Table A**  
Locate score in Table A: 5

**Step 5: Add Force/Load Score**  
Force / Load Score: 0

**Step 6: Score A, Find Row in Table C**  
Score A: 5

**B. Arm and Wrist Analysis**

**Step 7: Locate Upper Arm Position**  
Upper Arm Score: 2

**Step 8: Locate Lower Arm Position**  
Lower Arm Score: 1

**Step 9: Locate Wrist Position**  
Wrist Score: 3

**Step 10: Look-up Posture Score in Table B**  
Posture Score B: 3

**Step 11: Add Coupling Score**  
Coupling Score: 3

**Step 12: Score B, Find Column in Table C**  
Score B: 7

**Step 13: Activity Score**  
Activity Score: 1

**Final Calculation:**  
Table C Score (8) + Activity Score (1) = REBA Score (9)

**Scoring Legend:**  
1 = Negligible Risk  
2-3 = Low Risk, Change may be needed.  
4-7 = Medium Risk, Further Investigate, Change Soon.  
8-10 = High Risk, Investigate and Implement Change  
11+ = Very High Risk, Implement Change

Gambar 7. Perhitungan REBA Kursi Tipe – 3

Hasil akhir menunjukkan pada Level high risk, skor akhir menunjukkan nilai 9 yang mengindikasikan bahwa posisi/postur tersebut memerlukan tindakan perbaikan segera.

#### IV. PEMBAHASAN

TABEL 1  
REKAPITULASI PERHITUNGAN REBA

Tipe Kursi	Hasil Akhir	Level	Keterangan
Tipe – 1	6	Medium Risk	Perlu perbaikan tidak dalam waktu dekat
Tipe – 2	9	High Risk	Perlu perbaikan secepatnya
Tipe – 3	9	High Risk	Perlu perbaikan secepatnya

Dari hasil perhitungan melalui REBA ( *Rapid Entire Body Assessment* ) *worksheet* dapat diketahui kursi jenis 2 dan 3 memiliki nilai REBA yang tinggi yaitu 9 yang berarti *High Risk* dan perlu untuk investigasi khusus dan perubahan posisi duduk / jenis kursi yang digunakan.

#### V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diatas serta perhitungan dari REBA *worksheet*, maka kursi yang memiliki resiko tinggi ialah tipe 2 dan 3 yang menduduki level 3 dengan skor 9 yang harus dilakukan perubahan posisi duduk karyawan tersebut. Selain itu juga karyawan dari yang menggunakan ketiga jenis kursi tersebut banyak yang tidak sesuai dimensinya. Dimana seharusnya karyawan duduk hingga punggung bersandar ke bantalan kursi, namun lebih banyak yang tidak sampai bersandar pada kursi. apabila ini dilakukan terus menerus akan berakibat bagi karywan tersebut.

#### REFERENSI

- [1] Alim Murtani, 2017. Pengaruh Pengembangan Karyawan dan Fasilitas Kerja Terhadap Kepuasan Kerja Karyawan di PT. Bank SUMUT Syariah Cabang Medan. *Jurnal Al-Qasd*. Vol. 1 No. 2 pp : 177 – 188
- [2] Ika Fauzi Anggrainy et al, 2018. Pengaruh Fasilitas Kerja, Disiplin Kerja dan Kompensasi Terhadap Motivasi Kerja Implikasinya pada Prestasi Kerja Pegawai Negeri Sipil Badan Kepegawaian Pendidikan Dan Pelatihan Provinsi Aceh. *Jurnal Magister Manajemen*. Vol. 2 No. 1. Pp: 1 – 10
- [3] Pipit Wijayanti et al. 2019. Analisa Pengukuran Beban Kerja dengan Metode REBA dan NASA-TLX di Departemen Quality Control PT SEIDENSTICKER Indonesia. *Prosiding Konferensi Ilmiah Mahasiswa UNISSULA (KIMU)* 2 pp:480 - 488
- [4] Muhammad Nur Fajri Alfata et al, 2012. Studi Ergonomi terhadap Rancangan Ruang Kerja Kantor Pemerintah Berdasarkan Antropometri Indonesia. *Jurnal Permukiman* Vol. 7 No. 3 pp : 126 – 137
- [5] Muhammad Bob Anthony. 2020. Analisis Postur Pekerja Pengelasan Di CV. XYZ dengan Metode Rapid Entire Body Assessment. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*. Vol. 3 No. 2 pp: 110 – 122
- [6] Desi Rosyati et al. 2019. Disain Ergonomis Tempat Operasi Khitan Untuk Mengurangi Keluhan Muskuloskeletal dengan Metode Rapid Entire Body Assessment dan Pengukuran Anthropometri. *Jurnal Bina Teknik*. Vol. 15 No. 1 pp: 69 – 76
- [7] Anny Maryani et al. 2016. Analisa Postur Kerja Pekerja Pengupas Mete dengan REBA(Rapid Entire Body Assessment). *The 2<sup>nd</sup> Conference on Innovation and Industrial Applications (CINIA)*. Pp ; 170 – 174
- [8] Hasyim Hasanah. 2016. Teknik – Teknik Observasi. *Jurnal at-Taqaddun*. Vol. 8 No.1. pp: 21 – 46
- [9] Natalina Nilamsari. 2017. Memahami Studi Dokumen dalam Penelitian Kualitatif. *Jurnal Wacana*. Vol. XIII No.2 pp: 177 – 181
- [10] Anggita Rahmawati et al. 2020. Analisa Postur Pengendara Motor untuk Evaluasi Dimensi Bagian Tempat Duduk menggunakan Metode REBA. *Jurnal untuk Masyarakat Sehat*. Vol.4 No.1 pp ; 31 – 40

# Desain Booth untuk Usaha Kecil dan Mikro (UKM) Sebagai Sarana Branding Kampung Wisata Kuliner

Mochammad Rofieq<sup>1\*</sup>, Roos Widjajani<sup>2</sup>, Nanny Roedjinandari<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Industri Universitas Merdeka Malang

<sup>2</sup> Jurusan Administrasi Bisnis Universitas Merdeka Malang

<sup>3</sup> Program Diploma Kepariwisata Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia

<sup>1\*</sup> [mochammad.rofieq@unmer.ac.id](mailto:mochammad.rofieq@unmer.ac.id)

*Abstrak*— Salah satu wilayah di Kota Malang yang sebagian besar warganya adalah generasi muda yang berwirausaha di bidang kuliner adalah di RT.02 / RW.13 Kelurahan Bunulrejo Kecamatan Blimbing. Para pelaku UKM bidang kuliner yang ada di wilayah ini membentuk wadah untuk beraktifitas bersama dengan nama “Kampung Kuliner Pring Koenig”. Permasalahan yang terjadi adalah *booth* yang digunakan untuk memasarkan produk masih parsial di masing-masing UKM, belum ada suatu desain yang dapat memberikan *branding* terhadap keberadaan kampung wisata kuliner di wilayah ini. Tahapan yang digunakan adalah *brainstorming* dengan pelaku UKM kuliner, mengidentifikasi jenis produk kuliner yang dipasarkan, menentukan dimensi *booth* atas dasar area penempatannya, dan pembuatan desain *booth* yang dapat memberikan *branding* kampung wisata kuliner. Dari desain yang dihasilkan dibuat *prototype booth* sebagai wujud nyata dari produk yang dirancang. Dengan *branding* ini, setiap konsumen yang berkunjung tidak hanya membeli makanan atau minuman yang ditawarkan, namun juga dapat merasakan kenyamanan sambil mendapatkan *image* dari kampung wisata kuliner. Sehingga hal ini akan memberikan dampak pada peningkatan produktivitas dan kesejahteraan pelaku UKM.

*Kata kunci*— Branding, Desain Booth, Kampung Wisata Kuliner, UKM.

*Abstract*— One of the areas in Malang City where most of its citizens are young people who are entrepreneurs in the culinary field is RT.02 / RW.13 Kelurahan Bunulrejo, Blimbing District. The culinary field UKM players in this area form a forum for activities together with the name “Kampung Kuliner Pring Koenig”. The problem that occurs is the booth that is used to market products is still partial in each UKM, there is no design that can provide branding for the existence of a culinary tourism village in this region. The stages used are brainstorming with culinary MSEs, identifying the types of culinary products being marketed, determining the dimensions of the booth on the basis of the placement area, and making booth designs that can provide branding for culinary tourism villages. From the resulting design, a booth prototype was made as a tangible form of the product being designed. With this branding, every consumer who visits not only buys the food or drink offered, but can also feel comfortable while getting an image of the culinary tourism village. So that this will have an impact on increasing the productivity and welfare of MSEs.

*Keywords*— Branding, Booth Designs, Culinary Tourism Villages, MSEs.

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Salah satu wilayah di Kota Malang yang sebagian besar warganya adalah generasi muda yang berwirausaha di bidang kuliner adalah di RT.02 / RW.13 Kelurahan Bunulrejo Kecamatan Blimbing. Para pelaku UKM bidang kuliner yang ada di wilayah ini membentuk wadah untuk beraktifitas bersama dengan nama “Kampung Kuliner Pring Koenig”. Komunitas ini dipilih sebagai mitra pengguna dengan fokus mengintegrasikan pengelolaan UKM kuliner melalui pembuatan desain *booth* yang dapat digunakan sebagai sarana *branding* kampung wisata kuliner di wilayah tersebut.

Produksi makanan / minuman di UKM yang ada di wilayah ini dilakukan sendiri di rumah masing-masing. Memakai peralatan sederhana dan belum menggunakan *booth* yang terintegrasi dalam satu kampung. Jenis makanan / minuman yang diproduksi sudah beraneka ragam namun masih belum tertata rapi dari segi penyajian, higienitas dan tata letak (*layout*) nya.

Manajemen dijalankan secara sederhana dengan melibatkan anggota keluarga. Pengelolaan keuangan masih manual dan belum dipisahkan antara keuangan untuk usaha dengan keuangan rumah tangga. Keterampilan dalam hal sistem administrasi masih rendah, namun wilayah ini sangat potensial untuk dikembangkan karena warganya memiliki semangat yang luar biasa untuk maju.

Pemasaran produknya dilakukan secara konvensional, dimana konsumen datang ke rumah warga untuk membeli produk yang diinginkan. Meskipun pelanggannya cukup banyak, tetapi mereka datang hanya untuk membeli produknya dan langsung pulang. Di sinilah pentingnya *branding* kampung wisata kuliner melalui pembuatan desain *booth* untuk UKM yang ada di wilayah ini.



Gambar 1. Area Kampung Wisata Kuliner Pring Koenig

## B. Permasalahan

Permasalahan yang terjadi adalah *booth* yang digunakan untuk memasarkan produk masih parsial di masing-masing UKM, belum ada suatu desain yang dapat memberikan *branding* terhadap keberadaan kampung wisata kuliner di wilayah ini.

## C. Tinjauan Pustaka

Dalam menghadapi persaingan yang semakin ketat, UKM produk kreatif harus siap bersaing dalam ekonomi global [1]. Untuk itu perlu adanya pengembangan produk kreatif UKM yang memiliki nilai ekonomi dan daya saing tinggi serta mampu menyerap tenaga kerja, sehingga dapat menekan angka pengangguran dan kemiskinan. UKM mempunyai potensi untuk dikembangkan dengan memanfaatkan semua sumber daya yang dimiliki baik sumber daya alam, sumber daya manusia serta budaya lokal, sehingga menjadi kekuatan ekonomi masyarakat setempat [2].

Agar memudahkan pencapaian keberhasilan Program Unmer Membangun Desa, maka pelaksanaannya difokuskan kepada sasaran yang mempunyai dampak besar terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat [3]. Keragaman jenis makanan tradisional sebagai salah satu kekayaan budaya harus dilestarikan, sedangkan makanan modern sebagai dampak pasar bebas dan globalisasi harus dikembangkan kualitas serta pemasarannya. Melalui kreatifitas pengembangan wisata kuliner diharapkan dapat meningkatkan semangat kemandirian dan jiwa berwirausaha bagi generasi muda di masa mendatang.

Peluang industri bidang pariwisata di wilayah Malang Raya sangat besar. Kebijakan Pemerintah Daerah di sektor industri ini dan potensi kunjungan wisatawan yang diharapkan terus meningkat sangat mendukung terwujudnya perputaran roda industri masyarakat yang terkait dengan aktivitas di bidang pariwisata, seperti objek wisata, penginapan, kuliner serta cinderamata atau oleh-oleh (souvenir) yang khas Malang [4].

Bagi UMKM bidang kerajinan dan kuliner, manfaat pelatihan sangat terasa karena para pelaku usaha di bidang ini dapat membuat berbagai alternatif desain untuk kemasan produknya, sehingga tampilan produknya lebih variatif, menarik (*eye catching*), namun masih tetap terjaga kualitas produknya [5].

Salah satu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna dalam perancangan produk adalah melalui *brainstorming*. Hal ini dapat memberikan dampak positif bagi proses produksi dalam hal mereduksi biaya perancangan, meningkatkan efisiensi produksi dan menghasilkan produk yang sesuai dengan keinginan konsumen [6].

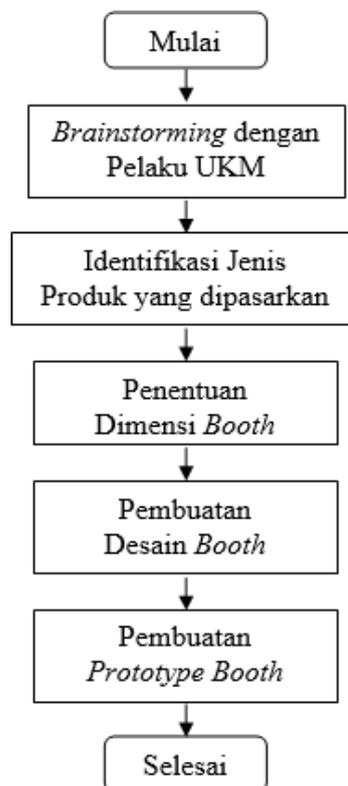
Prinsip dasar *Participatory Action Learning System* (PALS) menitikberatkan pada transformasi kegiatan-kegiatan yang telah ada untuk diusahakan dibawa pada perubahan-perubahan ke arah perbaikan kondisi *entrepreneurship* melalui (1) fase penyadaran kewirausahaan (*awareness*), (2) fase pengkapasitasan (*capaciting*) dan pendampingan (*scaffolding*) kewirausahaan (*entrepreneurship capacity building*), dan (3) fase pelembagaan (*institutionalization*) usaha baru sebagai wirausaha baru [7].

#### D. Tujuan

Adapun tujuan dari kegiatan ini adalah untuk membuat desain *booth* yang dapat digunakan untuk meletakkan produk makanan/minuman dan memberikan *branding* terhadap keberadaan kampung wisata kuliner di wilayah ini.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan diawali dengan *brainstorming* bersama pelaku UKM kuliner di RT.02/RW.13 Kel. Bunulrejo Kec. Blimbing Kota Malang, mengidentifikasi jenis produk kuliner yang dipasarkan, menentukan dimensi *booth* atas dasar area penempatannya, dan pembuatan desain *booth* yang dapat memberikan *branding* kampung wisata kuliner. Dari desain yang dihasilkan dibuat *prototype booth* sebagai wujud nyata dari produk yang dirancang.



Gambar 2. Metode Program Unmer Membangun Desa

### III. HASIL

#### A. Brainstorming dengan Pelaku UKM

*Brainstorming* bersama pelaku UKM kuliner di RT.02/RW.13 Kel. Bunulrejo Kec. Blimbing Kota Malang dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan yang dihadapi beserta skala prioritasnya, yakni *booth* yang digunakan untuk memasarkan produk masih parsial di masing-masing UKM sehingga perlu dibuat desain *booth* yang dapat digunakan untuk meletakkan produk makanan/minuman dan memberikan *branding* terhadap keberadaan kampung wisata kuliner.

#### B. Identifikasi Jenis Produk yang Dipasarkan

Beberapa produk makanan/minuman yang dihasilkan oleh UKM di kampung ini adalah warung kopi, pisang coklat, martabak, terang bulan, pizza nagoya, sembako, roemah mie, nasi pecel, pizza delivery, risol mayo, rice bowl, soto ayam, burger mini, tempura, aneka minuman dan oleh-oleh khas Malang.



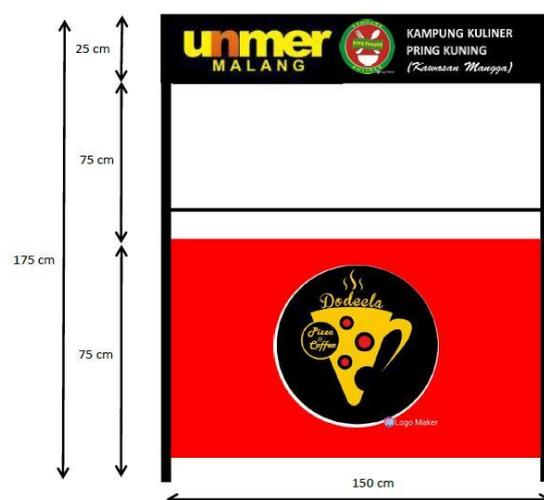
Gambar 3. Jenis Produk yang Dipasarkan

#### C. Penentuan Dimensi Booth

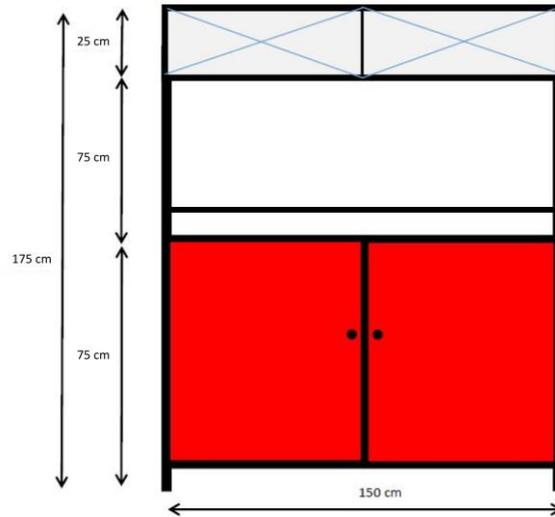
Dimensi *booth* ditentukan atas dasar area penempatan yang ada di lokasi kampung kuliner. Tinggi *booth* 175 cm terdiri atas tiga bagian (tempat meletakkan produk 75 cm, penyangga rak peralatan 75 cm dan rak peralatan 25 cm). Panjang *booth* 150 cm, lebar *booth* 60 cm, lebar penyangga rak peralatan 25 cm, lebar tempat kompor 35 cm. Untuk *branding* UKM (Panjang 150 cm, Lebar 75 cm), *branding* kampung wisata kuliner (Panjang 150 cm, Lebar 25 cm).

#### D. Pembuatan Desain Booth

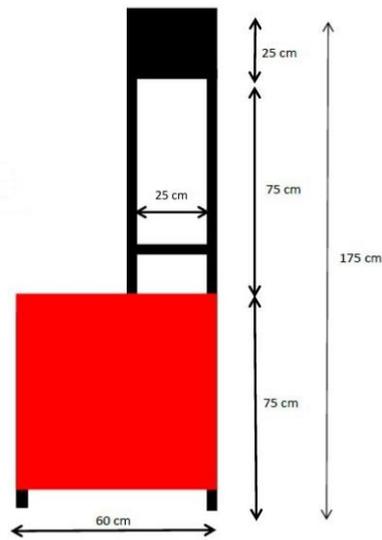
Dari data dimensi yang ditentukan atas dasar area penempatannya, dibuat desain *booth* yang dapat merepresentasikan *booth* secara visual.



Gambar 4. Desain Booth Tampak Depan



Gambar 5. Desain Booth Tampak Belakang



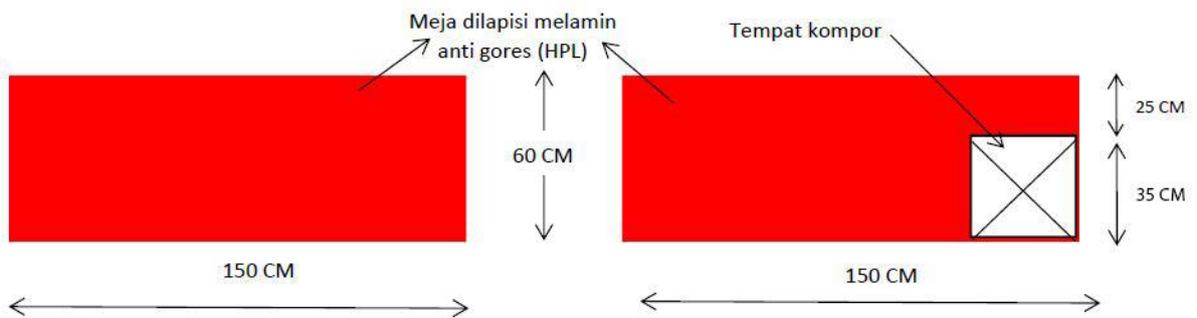
Gambar 6. Desain Booth Tampak Samping

**KETERANGAN :**

**—** Besi kotak 2x2 cm

**■** Galvalum

Alas Meja dilapisi melamin anti gores (HPL)



Gambar 7. Desain Booth Tampak Atas

#### IV. PEMBAHASAN

Dari desain yang dihasilkan dibuat *prototype booth* sebagai wujud nyata dari produk yang dirancang, sehingga desain *booth* yang dibuat benar-benar dapat memberikan *branding* kampung wisata kuliner di wilayah ini.



Gambar 8. Rangka Besi Kotak 2 x 2 cm



Gambar 9. *Frame Samping*



Gambar 10. Rak *Booth*



Gambar 11. *Prototype Booth*

## V. KESIMPULAN

Pembuatan desain *booth* untuk Usaha Kecil dan Mikro (UKM) ini berdampak positif karena *branding* yang dilakukan terhadap sarana dan berbagai aktifitas di wilayah ini akan menjadi *image* yang ditangkap oleh setiap konsumen yang datang di Kampung Wisata Kuliner Pring Koening ini. Sedangkan *outcome* yang dapat dicapai dari kegiatan ini adalah meningkatnya produktivitas dan omzet penjualan bagi UKM di kampung ini.

Evaluasi pengembangan kawasan wisata perlu dilakukan dengan membandingkan banyaknya konsumen yang datang, sebelum dan sesudah dilakukan *branding* terhadap kampung wisata kuliner ini. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan pengembangan *sitting area* untuk konsumen yang datang berkunjung.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Apresiasi dan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat LPPM Universitas Merdeka Malang atas dukungan dana dalam Program Unmer Membangun Desa Tahun 2020, Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang sebagai penyelenggara Seminar Nasional SISTEK dan Paguyuban UKM Kampung Wisata Kuliner Pring Koening sebagai mitra dalam kegiatan ini.

## REFERENSI

- [1] Sasono, E. dan Rahmi, Y. "Manajemen Inovasi pada Usaha Kecil Menengah", *Jurnal STIE Semarang*, Vol. 6 No. 3 (ISSN : 2252-7826), Hal. 74-90, Okt. 2014.
- [2] Kurniawati, F., Mukzam, dan Djudi, M. "Pelaksanaan dan Dampak Program Kemitraan dan Bina Lingkungan PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) dalam Pengembangan UMKM (Studi Kasus pada Kampung Lawas Maspati Surabaya)", *Jurnal Administrasi Bisnis (JAB) Universitas Brawijaya*, Vol. 50 No. 2, Sept. 2017.
- [3] M. Rofieq, R. Widjajani, dan N. Roedjinandari, "Pengembangan Kampung Wisata Kuliner Pring Koening di Kelurahan Bunulrejo Kecamatan Blimbing Kota Malang", Univ. Merdeka Malang, Program Unmer Membangun Desa, 2020.
- [4] M. Rofieq, S. Hariyanto, dan N.M. Wiati, "Penerapan Metode Kansei Engineering Guna Mengidentifikasi Atribut Desain Dalam Perancangan Souvenir Khas Malang", dalam *Simposium Nasional RAPI XIII FT UMS (ISSN: 1412-9612)*, 2014.
- [5] Rofieq, M., Poerwanto, A., dan Budiyanto, H. "Pelatihan Desain Kemasan Produk untuk UMKM Kerajinan, Kuliner dan Posdaya", *Jurnal ABDIMAS Unmer Malang*, Vol. 2 No. 2 (ISSN: 2548-7159), Des. 2017.
- [6] Rofieq, M. "Perancangan Almari Pakaian Bayi Serbaguna Melalui Brainstorming dengan Ibu Rumah Tangga", *Jurnal Teknik Industri UMM*, Vol. 13 No. 1, Hal. 101-107, 2012.
- [7] Budiyanto, H., dan Rofieq, M. "Menumbuhkembangkan Wirausaha Mahasiswa dan Alumni Melalui Program Ipteks bagi Kewirausahaan di Universitas Merdeka Malang", *Jurnal ABDIMAS Unmer Malang*, Vol. 1 No. 1 (ISSN: 2548-7159), Des. 2016

# Analisis Keamanan Pangan dengan Menggunakan *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP) pada Proses Pembuatan Bawang Hitam Tunggal

Oke Oktaviany\*, Endra Yuafanedi Arifianto, Nasir Widha Setyanto, Arif Rahman, Ilma Visi Rahmani

Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono No.167 Malang Indonesia

\*okemn7@ub.ac.id (penulis korespondensi)

**Abstrak**— Bawang hitam merupakan hasil fermentasi bawang putih pada suhu dan kelembapan tertentu. Bawang hitam kian marak diproduksi oleh masyarakat, karena khasiatnya akan kesehatan tinggi. Salah satu produsen bawang hitam di Malang adalah N'Up Product. Diperlukan analisis dan manajemen risiko pada N'Up Product untuk memenuhi persyaratan ekspor, yaitu persyaratan keamanan pangan dikarenakan N'Up Product memiliki peluang yang besar untuk mengekspor produknya, salah satunya bawang hitam tunggal. Metode yang tepat digunakan adalah HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Point*), beserta persyaratan dasarnya yaitu GMP (*Good Manufacturing Practices*) dan SSOP (*Sanitation Standard Operational Procedure*). Hasil analisis aspek GMP dan SSOP menunjukkan bahwa kondisi proses produksi N'Up Product masih tidak sesuai standar yang ada. Aspek yang dititik beratkan adalah aspek bangunan, pencegahan kontaminasi silang, serta kebersihan karyawan. Pada analisis HACCP, ditetapkan terdapat 4 CCP pada proses produksi bawang hitam tunggal, yaitu pada pembersihan bawang putih, proses sortir pertama, penjemuran, dan fermentasi. Rekomendasi yang diberikan untuk perbaikan ke depannya adalah terkait kebersihan karyawan, peralatan penunjang, serta perbaikan *layout* ruang produksi.

**Kata kunci**— Bawang Hitam, Keamanan Pangan, Ekspor, GMP, HACCP

**Abstract**— Black garlic is the result of fermented garlic at a certain temperature and humidity. Black garlic is increasingly produced by the community, because of their high health properties. One of the black garlic producers in Malang is N'Up Product. N'Up Product analysis and risk management are required to meet export requirements, which is food safety requirement because N'Up Product has a great opportunity to export their products, one of which is tunggal black garlic. The appropriate method to use is HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Point*), along with the pre-requisite, GMP (*Good Manufacturing Practices*) and SSOP (*Sanitation Standard Operational Procedure*). The results of the GMP and SSOP analysis aspects show that the production process conditions for N'Up Product are still not in accordance with existing standards. The aspects that are emphasized are building, prevention of cross contamination, and employee hygiene. In the HACCP analysis, it was determined that there were 4 CCPs in tunggal black garlic production process, namely the cleaning of garlic, the first sorting process, drying, and fermentation. Recommendations given for future improvements are related to employee hygiene, supporting equipment, and improving the layout of the production room.

**Keywords**— Black Garlic, Food Safety, Export, GMP, HACCP

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan alam yang berlimpah termasuk di dalamnya hasil pertanian yaitu bawang putih. Tahun 2018, tercatat sebanyak 17 (tujuh belas) jenis sayuran semusim yang diekspor oleh Indonesia, yaitu bawang merah, bawang putih, kacang merah, kembang kol, kentang, kubis, lobak, wortel, bayam, buncis, cabai besar, jamur, kacang panjang, ketimun, labu siam, terung, dan tomat. Total nilai ekspor sayuran semusim tahun 2018 mencapai 11,82 juta US \$. Komoditas yang menjadi penyumbang devisa terbesar adalah bawang merah dengan jumlah berat bersih 5,22 ribu ton dan nilai ekspor sebesar 6,29 juta US \$ [1].

Sebagai salah satu komoditi ekspor Indonesia, bawang putih memiliki khasiat yang banyak selain sebagai salah satu rempah masakan yang umum digunakan baik oleh masyarakat Indonesia maupun manca negara. Adapun di antara khasiat bawang putih adalah sebagai anti inflamasi atau peradangan. Selain itu, bawang putih juga dapat digunakan sebagai bahan terapi [2]. Terdapat berbagai cara pengolahan bawang putih, salah satunya adalah proses

fermentasi bawang putih yang disebut sebagai bawang hitam. Bawang hitam merupakan hasil pemanasan dari bawang putih pada suhu 70°C dengan kelembaban relatif 70-80% [3].

Dunia Internasionalpun sudah mengakui khasiat dari bawang hitam. Beberapa penelitian membuktikan bahwa bawang hitam mengandung unsur-unsur penting untuk mencegah atau melawan penyakit seperti hipertensi, diabetes mellitus, anti oksidan dan lain-lain [4]. Bawang hitam ini telah mulai banyak diproduksi, salah satu UMKM di Malang yang telah memproduksi bawang hitam adalah N'Up Product. Selain bawang hitam, UMKM ini juga memproduksi jenis olahan bawang lainnya seperti selai bawang hitam, *cookies* bawang hitam, *stick* bawang hitam, hingga madu bawang hitam.

Peluang N'Up Product untuk menjual produk bawang hitam dan olahannya ke manca negara cukup besar. Sudah ada *demand* konsumen untuk penjualan ke manca negara seperti Australia, Amerika, Turki, dan lain-lain. Hanya saja, untuk produk pangan olahan yang diekspor, terdapat salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh pihak produsen yaitu terkait persyaratan keamanan pangan sesuai peraturan pada [5]. Dalam rangka meningkatkan produktifitas dan menjaga mutu produk terutama pada segi keamanan pangan guna memenuhi persyaratan ekspor, diperlukan analisis dan manajemen risiko. Hal ini dilakukan untuk menghindari dampak-dampak negatif terhadap produktifitas dan kualitas produk seperti adanya produk tidak layak jual karena terkontaminasi bahan kimia, mikroba, alat pengemas, dan lain sebagainya. Metode yang tepat untuk mengidentifikasi, mencegah dan menghilangkan risiko-risiko tersebut yaitu *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP).

HACCP memiliki persyaratan dasar, yaitu *Good Manufacturing Practices* (GMP) dan *Sanitation Standard Operational Procedure* (SSOP) seperti yang disebutkan pada [6]. GMP merupakan pedoman tata cara memproduksi bahan pangan dengan baik dan benar pada seluruh rantai produksi, dimulai dari tahap produksi primer hingga konsumen akhir dan menekankan higienitas pada setiap tahapan [7]. SSOP merupakan serangkaian prosedur dalam melakukan kegiatan produksi, yang berkaitan dengan upaya menjaga kebersihan dan kesehatan, sehingga produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik dan aman untuk dikonsumsi. Kedua aspek ini perlu diperhatikan dalam upaya menjaga keamanan pangan.

*Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP) merupakan suatu sistem yang dapat menjamin bahwa keamanan produk pangan telah dilaksanakan dengan efektif, sehingga sistem ini dapat mengontrol faktor-faktor pencetus bahaya yang dapat menurunkan tingkat keamanan produk pangan. HACCP dapat menjaga keamanan pangan dengan cara mengidentifikasi, memantau, dan mengendalikan bahaya fisik, kimia, maupun mikrobiologi seperti yang disebutkan [8]. Filosofi HACCP menjelaskan bahwa bahaya-bahaya tersebut dapat dicegah, dihilangkan, atau dikurangi hingga batas yang aman [9]. Proses produksi yang dianalisis difokuskan pada produksi bawang hitam tunggal.

## II. METODE

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif yang dicirikan dengan adanya penjelasan objektif, perbandingan dan evaluasi sebagai bahan pengambilan keputusan bagi yang berwenang. Permasalahan yang ada pada penelitian ini adalah analisis risiko dan bahaya pada proses produksi bawang hitam di N'Up Product.

### A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam penelitian baik secara langsung, wawancara, ataupun data-data yang telah tersedia di tempat penelitian. Data yang digunakan adalah data pengamatan selama proses produksi bawang hitam tunggal.

### B. Analisis GMP

Analisis kondisi GMP di perusahaan dilakukan dengan cara membandingkan pemenuhan persyaratan GMP yang diterapkan dengan standar GMP tentang Pedoman Cara Produksi Pangan Olahan Yang Baik berdasarkan [10]. Evaluasi dilakukan dengan cara mengamati kondisi GMP perusahaan berdasarkan observasi dan wawancara.

### C. Analisis SSOP

Pada tahap ini dilakukan analisis SSOP. SSOP harus dibuat dan dipenuhi oleh perusahaan sebelum menerapkan HACCP. Beberapa aspek yang harus dievaluasi adalah keamanan air, kondisi kebersihan permukaan yang kontak dengan bahan pangan, pencegahan kontaminasi silang, fasilitas sanitasi, perlindungan dari adulterasi, pelabelan dan penyimpanan yang tepat, pengendalian kesehatan pekerja dan pencegahan hama.

### D. Analisis HACCP

Pada tahap ini dilakukan analisis HACCP meliputi deskripsi produk, identifikasi rencana penggunaan, penyusunan bagan alir, konfirmasi bagan alir di lapangan, identifikasi bahaya, penentuan CCP, penentuan batas-batas kritis (*critical limits*) pada tiap TKK (CCP), dan yang terakhir perancangan rekomendasi perbaikan berdasarkan hasil analisis HACCP.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan di N'Up Product, UMKM yang memproduksi bawang putih terfermentasi yang biasa disebut bawang hitam. N'Up Product berlokasi di Malang. Produk yang menjadi fokus penelitian adalah bawang hitam tunggal. Analisis GMP dilakukan untuk menilai kondisi UMKM dibandingkan dengan standar GMP yang ada, yaitu sesuai [10]. Analisis GMP pada N'Up Product dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I  
ANALISIS GMP N'UP PRODUCT

No.	Aspek SSOP	Kondisi di Lapangan	Kondisi Seharusnya
1.	Lokasi	1. Lokasi N'Up Product berada pada pemukiman yang padat penduduk	1. Lokasi unit usahaberada pada daerah bebas atau jauh dari pencemaran
2.	Bangunan	1. Bangunan N'Up Product tergabung dengan rumah pemilik usaha 2. Ruangan yang digunakan untuk proses produksi terdiri dari ruang dapur dan ruang belakang dengan ruangan yang terbuka, dinding dan atap tidak melingkupi ruangan secara penuh, sehingga akses dengan lingkungan luar bangunan sangat besar 3. Sudut antara dinding dengan dinding dan dinding dengan lantaiserta pertemuan keduanya masih berbentuk siku-siku	1. Bangunan unit usaha merupakan rumah produksi tersendiri, yang terpisah dari kegiatan keseharian pemilik usaha 2. Ruangan produksi seharusnya memenuhi persyaratan <i>hygiene</i> , dimana ruangan tertutup dari lingkungan luar disertai dengan ventilasi yang dapat menyaring polutan 3. Ruangan terdiri dari ruang pokok dan pelengkap, yang dipisah sedemikian rupa agar tidak menimbulkan pencemaran 4. Pertemuan antara dinding dengan dinding dan antaradinding dengan lantai tidak boleh membentuk sudutmati dan harus melengkung
3.	Fasilitas Sanitasi	1. Limbah tidak langsung dibuang ke tempat khusus setelah proses produksi selesai dilakukan 2. Terdapat sarana penyediaan air bersih pada N'Up Product 3. Fasilitas sanitasi terdiri dari toilet dan pencuci tangan 4. Fasilitas <i>sanitizer</i> dan pencuci tangan dilengkapi sabun	1. Limbah harus segera dibuang ke tempat khusus untuk mencegah berkumpulnya hama dan agar tidak mencemari bahan pangan olahan 2. Unit harus menyediakan air yang cukup bersih untuk kebutuhan produksi dan kebutuhan umum 3. Fasilitas sanitasi yang dibuat harus berdasarkan perencanaan yang memenuhi persyaratan <i>higiene</i>
4.	Mesin dan Peralatan	1. Permukaan alat yang berhubungandengan produk tidakmenyerap air, tidak mengelupas dan tidak mudah berkarat 2. Proses pembersihan dilakukan sesuai kebutuhan masing-masing peralatan 3. Peralatan yang digunakan untuk proses produksi merupakan peralatan yang sama dengan peralatan yang digunakan untuk kegiatan dapur pemilik N'Up Product	1. Permukaan alat yang berhubungandengan produk harus halus, tidak berlubang, tidakmenyerap air, tidak mengelupas dan tidak mudah berkarat 2. Mesin dan peralatan harus mudah dibersihkan dan dilakukan secara berkala dengan memastikan kondisi sanitasinya 3. Mencegah adanya kontaminasi silang yang dapat terjadi, termasuk pada peralatan yang digunakan untuk produksi
5.	Bahan	1. Bahan baku (bawang putih) disortir untuk dipastikan kualitasnya sebelum proses produksi dilakukan	1. Bahan baku dan bahan tambahanyang digunakan tidak boleh merugikan

No.	Aspek SSOP	Kondisi di Lapangan	Kondisi Seharusnya
			ataumembahayakan kesehatan
			2. Bahan baku dan bahan tambahan harus dilakukan pemeriksaan secara organoleptik, fisika, kimia, dan biologi sebelum digunakan
6.	Pengawasan Proses	1. Terdapat persyaratan bahan baku yang dapat digunakan untuk produksi 2. Belum ada petunjuk maupun protokol tertulis terkait proses produksi 3. Pengawasan terhadap kontaminasi sudah berjalan, namun belum maksimal (tidak ada SOP yang jelas)	1. Pengendalian proses dilakukan dengan cara menetapkan persyaratan bahan baku, komposisi, proses pengolahan, dan distribusi 2. Menetapkan SOP untuk proses produksi secara jelas
7.	Produk Akhir	1. Telah mendapatkan sertifikasi izin P-IRT 2. Belum ada langkah yang jelas terkait prosedur pemantauan produk akhir	1. Produk akhir harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan otoritas yang kompeten 2. Mutu dan keamanan produk akhir sebelum diedarkan seharusnya diperiksa secara periodeik (organoleptik, fisika, kimia, biologi)
8.	Karyawan	1. Adanya pekerja yang tidak memakai perlengkapan saat proses pengolahan berlangsung 2. Pemeriksaan kesehatan pekerja tidak dilakukan secara berkala 3. Karyawan masih melakukan pekerjaan lain di tempat produksi (mengobrol, dll)	1. Mengenakan pakaian kerja antara lain sarung tangan, tutup kepala, dan sepatu yang sesuai dengan tempat produksi Pemeriksaan kesehatan dilakukan secara berkala untuk memastikan kondisi kesehatan karyawan
9.	Pengemas	1. Sebelum pengemas digunakan, dilakukan proses sanitasi terlebih dahulu untuk menjamin kebersihannya 2. Jenis pengemas yang digunakan adalah plastik dan tabung plastik	1. Desain dan bahan kemasan harus memberikan perlindungan terhadap produk 2. Pengemas harus tahan terhadap perlakuan selama pengolahan, pengangkutan, dan peredaran
10.	Label dan Keterangan Produk	1. Label produk mencantumkan merk dagang produk, komposisi, tanggal kadaluarsa, nama produsen, berat bersih, dan kode produksi	1. Label produk harus memenuhi ketentuan yang disebutkan dalam Peraturan Menteri tentang label dan periklanan
11.	Penyimpanan	1. Produk akhir disimpan pada lemari khusus yang terpisah dari ruang produksi 2. Bahan baku (bawang putih) yang diterima langsung diproses dan diolah, sehingga tidak ada sistem penyimpanan bahan baku	1. Penyimpanan bahan yang sudah diolah dan belum, bahan pangan dan non pangan, serta produk akhir harus terpisah
12.	Pemeliharaan dan Program Sanitasi	1. Kegiatan pemeliharaan dan pembersihan ruang produksi dilakukan sebelum dan sesudah proses produksi dilakukan, namun tidak secara menyeluruh (sesuai kebutuhan saja). Sedangkan pembersihan secara menyeluruh dilaksanakan seminggu sekali 2. Pemantauan serta pemeliharaan kondisi bangunan, ruang produksi, alat dan peralatan, dan lain sebagainya belum terjadwal dengan jelas	1. Program sanitasi terjadwal dengan jelas 2. Terdapat program pemantauan yang dijaga secara ketat terkait sanitasi
13.	Pengangkutan	1. Pengangkutan produk akhir N'Up Product dalam kuantitas yang banyak, biasa dilakukan dengan menggunakan kardus, yang dapat melindungi produk dari kontaminan	1. Diperlukan pengawasan terkait pengangkutan produk akhir, termasuk alat dan wadah yang digunakan, untuk menghindari kesalahan yang dapat mengakibatkan kerusakan dan penurunan mutu pangan

Adapun kondisi pada UMKM yang dinilai berdasarkan *Sanitation Standard Operation Procedure (SSOP)* ditunjukkan pada Tabel II.

TABEL II  
ANALISIS SSOP N'UP PRODUCT

No.	Aspek SSOP	Kondisi di Lapangan	Kondisi Seharusnya
1.	Keamanan Air	1. Air yang digunakan N'Up Product adalah air yang berasal dari sumber air yang dikelola swadaya desa yang tidak dilakukan pengujian terlebih dahulu pada awal pemakaian 2. Air siap minum dan air tidak siap minum dipisahkan 3. Tidak ada program pemantauan keamanan air	1. Air yang kontak dengan bahan pangan maupun yang digunakan dalam proses produksi harus aman dan bersih atau air yang mengalami proses perlakuan sehingga memenuhi kualitas tertentu 2. Tidak ada kontaminasi silang antara air siap minum dan air tidak siap minum 3. Dilakukan pemantauan secara berkala terhadap pipa saluran dan proses sanitasi yang dilakukan pada bak penampungan air untuk menjaga keamanan air
2.	Kondisi dan Kebersihan	1. Peralatan yang digunakan terbuat dari bahan stainless steel, plastik, aluminium foil, dan ada yang terbuat	1. Semua peralatan dan perlengkapan yang kontak dengan bahan pangan harus didesain dan terbuat

No.	Aspek SSOP	Kondisi di Lapangan	Kondisi Seharusnya
	Permukaan yang Kontak dengan Bahan Pangan	<p>dari kayu</p> <p>2. Peralatan dibersihkan sebelum dan sesudah penggunaan</p> <p>3. Sarung tangan yang digunakan merupakan sarung tangan <i>disposable</i> yang dibuang setelah digunakan, namun belum ada yang jadwal yang jelas untuk membersihkan celemek yang digunakan</p> <p>4. Tidak terdapat penjadwalan kegiatan pencucian peralatan yang jelas</p>	<p>dari bahan yang mudah dibersihkan, tidak toksik dan tidak mudah terkikis</p> <p>2. Peralatan dan perlengkapan harus dibersihkan dengan metode pembersihan yang efektif</p> <p>3. Sarung tangan dan seragam yang digunakan untuk proses produksi harus dibersihkan setiap hari</p> <p>4. Terdapat jadwal pencucian alat dalam pembukuan yang teratur</p>
3.	Pencegahan Kontaminasi Silang	<p>1. Karyawan diharuskan menggunakan pakaian kerja yang terdiri daricelemek, sarung tangan, dan masker. Namun, terkadang masih ada karyawan yang tidak menggunakan masker dan sarung tangan</p> <p>2. Masih ada karyawan yang tidak mencuci tangan sebelum atau sesudah melakukan produksi</p> <p>3. Saat proses pengecekan kondisi bawang yang difermentasi, terkadang bawang tidak langsung dikembalikan ke dalam magic comb</p> <p>4. Selama proses pengemasan masih ada kondisi dimana pengemas tidak langsung ditutup</p> <p>5. Kondisi ruang produksi yang terbuka menyebabkan terkadang peralatan yang diletakan dapat terpapar kontaminan seperti debu, sehingga proses pembersihan ruang produksi dan seisinya dilakukan sebelum dan sesudah proses produksi, serta pembersihan total dijadwalkan seminggu sekali</p>	<p>1. Pakaian kerja yang dikenakan harus lengkap selama proses produksi berlangsung</p> <p>2. Mengedepankan kebersihan personal setiap akan melakukan proses produksi</p> <p>3. Proses produksi dilakukan dengan meminimumkan kemungkinan terjadinya kontaminasi silang bahan pangan</p> <p>4. Menerapkan GMP</p> <p>5. Ruang produksi dibersihkan secara berkala, dengan jadwal yang jelas</p>
4.	Kebersihan Karyawan	<p>1. Pada fasilitas cuci tangan tersedia sabun untuk mencuci tangan</p> <p>2. Pengawasan terkait keharusan karyawan dalam mencuci tangan belum ketat</p> <p>3. Tidak ada pengecekan kebersihan personal karyawan secara rutin (kebersihan kuku, rambut, dll)</p>	<p>1. Fasilitas sanitasi termasuk fasilitas untuk cuci tangan dilengkapi dengan sabun</p> <p>2. Pemantauan kebersihan karyawan (cuci tangan, sanitasi tangan, dll) dilakukan dengan ketat diimbangi dengan pembuatan kebijakan terkait</p> <p>3. Kebersihan personal (rambut, mandi, cuci tangan, kuku, dll) setiap karyawan diperhatikan secara seksama dengan adanya pengecekan</p>
5.	Perlindungan dari Adulterasi	<p>1. Bahan pengemas disimpan terpisah dari bahan-bahan sanitasi</p> <p>2. Lemari untuk penyimpanan bahan pengemas, alat produksi, dan perlengkapan kerja lainnya disimpan pada tempat yang berbeda</p> <p>3. Proses sortir dilakukan 2 kali selama proses produksi berlangsung</p>	<p>1. Kemasan dan bahan-bahan lain yang digunakan disimpan terpisah dari bahan-bahan sanitasi</p> <p>2. Terdapat tempat penyimpanan khusus untuk bahan pengemas, alat, dan perlengkapan kerja untuk proses produksi</p> <p>3. Dilakukan pemeriksaan ulang serta penyortiran pada produk, serta dipisahkan produk yang terkontaminasi benda asing</p>
6.	Pelabelan dan Penyimpanan yang Tepat	<p>1. Produk akhir disimpan pada lemari khusus</p> <p>2. Sistem penyimpanan masih sederhana sehingga belum ada sistem pemberian label</p> <p>3. Bahan pangan dan non pangan disimpan pada tempat yang terpisah</p>	<p>1. Penyimpanan didesain untuk meminimumkan kontaminasi silang dari cemaran fisik, kimia, biologis</p> <p>2. Pelabelan diterapkan dalam sistem penyimpanan, berlaku pada bahan pangan dan non pangan</p> <p>3. Komponen yang toksik harus dalam kemasan yang tertutup rapat dan terpisah penempatannya dari peralatan produksi dan produk susu</p>
7.	Pengendalian Kesehatan Karyawan	<p>1. Tidak terdapat pengecekan kesehatan pekerja yang dilakukan secara rutin</p> <p>2. Pekerja yang memiliki tanda-tanda penyakit tidak</p>	<p>1. Pengawasan dan pengecekan kesehatan pekerja harus dilakukan secara rutin</p> <p>2. Pekerja yang memiliki tanda-tanda luka, penyakit atau kondisi lain yang dianggap</p>

No.	Aspek SSOP	Kondisi di Lapangan	Kondisi Seharusnya
		boleh bekerja sampai kondisinya normal	menyebabkan kontaminasi tidak boleh masuk sampai kondisinya normal
8.	Pemberantasan Hama	1. Belum terdapat program terkait pemberantasan hama yang dilakukan oleh pihak luar 2. Pemberantasan hama yang dilakukan berupa penyemprotan hama dengan obat nyamuk	1. Dilakukan pemberantasan terhadap pest and rodent secara berkala oleh pihak luar (pihak yang berwenang) 2. Pemberantasan hama dilakukan sesuai dengan hama yang terdapat pada lokasi produksi

Berdasarkan Tabel I dan II, dapat dilihat bahwa penerapan GMP dan SSOP yang terdapat pada N'Up Product dinilai masih kurang penerapannya di beberapa aspek. Secara garis besar, ketidakesuaiannya adalah dari adanya karyawan yang masih melalaikan kebijakan yang ada dan kurang adanya pengawasan yang ketat terkait hal tersebut. Serta, dari aspek bangunan ruang produksi yang tidak tertutup secara penuh menyebabkan akses yang besar terhadap lingkungan luar. Hal-hal ini perlu ditindaklanjuti karena dapat memunculkan aspek bahaya pada pangan yang sangat besar.

Setelah persyaratan dasar dianalisis, maka penilaian HACCP dapat dilakukan. Langkah awalnya adalah untuk mengidentifikasi deskripsi serta rencana penggunaan produk.

#### E. Identifikasi Deskripsi dan Rencana Penggunaan Produk

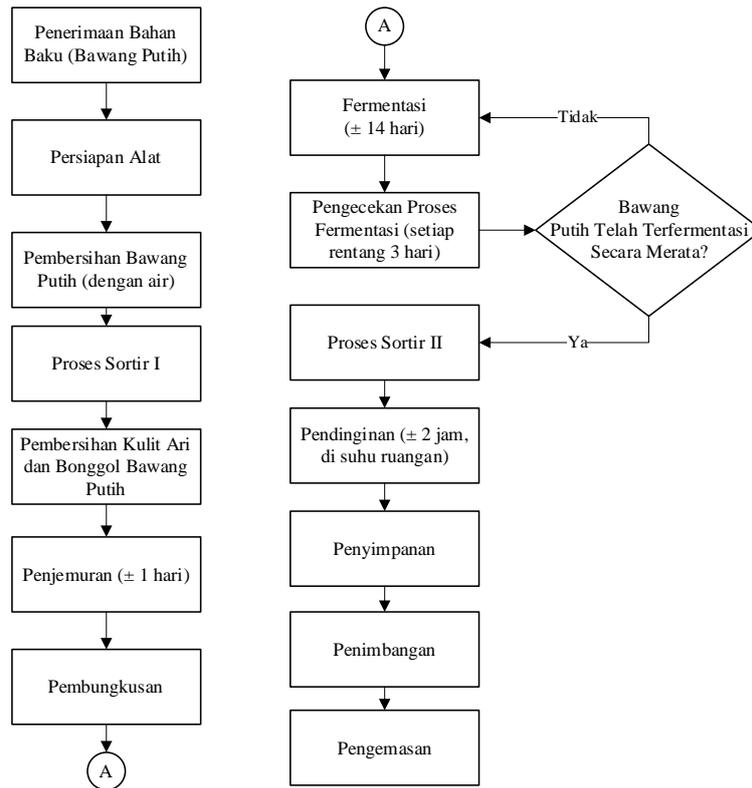
Tujuan tahap ini adalah untuk memastikan pemahaman terkait produk yang akan diteliti, dari segi komposisi, rencana penggunaan, dll [11]. Deskripsi dan rencana penggunaan produk bawang hitam tunggal oleh N'Up Product ditunjukkan pada Tabel III.

TABEL III  
DESKRIPSI PRODUK BAWANG HITAM TUNGGAL

Spesifikasi	Keterangan
Nama Produk	Bawang Hitam FLORESKO
Bahan Baku	Bawang putih lokal, bawang putih impor
Jenis Kemasan	Kemasan plastik, aluminium foil, toples tabung plastik
Kondisi Penyimpanan	Simpan dalam suhu ruangan ( $\pm 20-25^{\circ}\text{C}$ ), di tempat yang sejuk, tidak lembab, tidak panas, dan tidak terkena paparan cahaya matahari secara langsung
Masa Kadaluausa	$\pm 6$ bulan
Label	Nama produk, nama produsen, logo N'Up Product, jenis produk, komposisi, informasi nutrisi, petunjuk penyimpanan, tanggal kadaluarsa, kode produksi, berat bersih, deskripsi produk
Konsumen	Segala usia (usia anak hingga usia dewasa), lebih diutamakan untuk konsumen berusia dewasa
Distribusi	Distribusi dilakukan dengan metode FIFO ( <i>First In First Out</i> ). Kontak langsung dengan konsumen (transaksi langsung). Juga menggunakan jasa <i>reseller</i> yang dikirim dengan mobil boks dan disimpan dalam kardus
Penggunaan Produk	Konsumsi langsung, 2-3 kali sehari sejumlah 1-3 siung, dan perbanyak minum air putih. Sebaiknya dikonsumsi setelah makan
Pengolahan	Proses fermentasi
Karakteristik Produk	Berwarna hitam, tekstur lunak, tidak berbau spesifik seperti bawang putih segar, memiliki rasa yang manis dan sedikit asam Netto: 100 gr, 200 gr

#### F. Penyusunan Bagan Alir

Bagan alir dibuat berdasarkan proses produksi bawang hitam tunggal di N'Up Product yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir proses produksi bawang hitam tunggal oleh N'Up Product

### G. Konfirmasi Bagan Alir di Lapangan

Tahap ini dilakukan dengan cara mengecek ulang bagan alir yang sudah dibuat dengan proses produksi yang terjadi sesungguhnya.

### H. Identifikasi Bahaya

Tahap ini merupakan evaluasi secara sistematis pada makanan spesifik dan bahan baku untuk menentukan resiko, yang meliputi aspek keamanan kontaminasi bahan kimia, fisik, dan biologis termasuk didalamnya mikrobiologi. Penentuan bahaya ini dilakukan pada setiap bahan baku dan tahapan proses produksi seperti yang dijelaskan pada [12]. Dapat dilihat pada Tabel IV dan V.

TABEL IV  
IDENTIFIKASI BAHAYA PADA BAHAN BAKU

Bahan	Potensi Bahaya	Sumber Bahaya	Penilaian Risiko			Pencegahan
			Risk	Sev	Sig	
Bawang Putih	Biologi: Kapang ( <i>Fusarium sp.</i> , <i>Aspergillus niger</i> )	Lingkungan, cemaran tanah, suhu yang lembab	L	L	L	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pemilihan <i>supplier</i> yang tepat</li> <li><i>Supplier</i> menyortir bahan baku sebelum dikirimkan</li> <li>Pengecekan kondisi bahan baku yang diterima</li> <li>Proses sortir</li> <li>Proses pembersihan bahan baku</li> </ul>
	Kimia: Residu pestisida	Sisa bahan pestisida	L	L	L	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> </ul>
	Fisik: Debu, kerikil, tanah, serangga, kotoran, benda asing lainnya	Lingkungan, hama, hewan, wadah penyimpanan	L	L	L	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pemberantasan hama dilakukan dengan penyemprotan obat nyamuk di lokasi kerja secara berkala</li> </ul>

TABEL V  
IDENTIFIKASI BAHAYA PADA PROSES PRODUKSI

Tahapan Proses	Potensi Bahaya	Sumber Bahaya	Penilaian Risiko			Pencegahan
			Risk	Sev	Sig	
Penerimaan bahan baku (bawang putih)	Biologi: Kapang ( <i>Fusarium sp</i> , <i>Aspergillus niger</i> )	Lingkungan, cemaran tanah, sisa tumbuhan, suhu yang lembab, kondisi bahan baku	H	L	M	Pengecekan kondisi bahan baku yang diterima
	Kimia: Residu pestisida	Sisa bahan pestisida, kondisi bahan baku	H	L	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membersihkan peralatan</li> <li>• Memberantas hama dengan penyemprotan obat nyamuk di lokasi kerja secara berkala</li> </ul>
	Fisik: Debu, kerikil, tanah, serangga, kotoran, benda asing lainnya	Lingkungan, hama, hewan, wadah penyimpanan, kondisi bahan baku	H	L	M	
Persiapan alat	Biologi: <i>Escherichia coli</i>	Air yang digunakan untuk membersihkan alat, kontaminasi silang peralatan	H	H	H	Proses sanitasi alat dilakukan secara menyeluruh dan benar
	Kimia: Residu bahan sanitasi	Proses sanitasi alat yang tidak bersih	L	L	L	
	Fisik: Debu, residu bawang putih	Proses sanitasi alat yang tidak bersih, lokasi penyimpanan peralatan	H	L	M	
Pembersihan bawang putih (dengan air)	Biologi: <i>Escherichia coli</i> , Kapang ( <i>Fusarium sp</i> , <i>Aspergillus niger</i> )	Air yang digunakan untuk proses pembersihan, kontaminasi silang peralatan, kondisi bahan baku	H	H	H	Pencucian peralatan produksi setelah digunakan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> <li>• Proses pembersihan dilakukan sebanyak 2 tahap dengan menggunakan air</li> <li>• Pemberantasan hama dilakukan dengan penyemprotan obat nyamuk di lokasi kerja secara berkala</li> </ul>
	Kimia: Residu pestisida	Sisa bahan pestisida, kondisi bahan baku	H	L	M	
	Fisik: Debu, kerikil, tanah, serangga, kotoran, benda asing lainnya	Air yang digunakan untuk proses pembersihan, kontaminasi silang peralatan, kondisi bahan baku	H	L	M	
Proses sortir I	Biologi: <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , Kapang ( <i>Fusarium sp</i> , <i>Aspergillus niger</i> )	Kontaminasi silang pekerja dan peralatan, air yang digunakan untuk proses pembersihan	H	H	H	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menetapkan SOP agar karyawan menggunakan sarung tangan, masker, dan celemek selama proses produksi</li> <li>• Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> <li>• Proses pemisahan bahan baku dengan kualitas buruk dengan yang baik</li> </ul>
	Kimia: -	-	-	-	-	
	Fisik: Debu, residu bawang putih	Kontaminasi silang dari wadah yang digunakan	H	L	M	
Pembersihan kulit ari dan bonggol bawang putih	Biologi: <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Kontaminasi silang pekerja dan peralatan, air yang digunakan untuk proses pembersihan	H	H	H	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menetapkan SOP agar karyawan menggunakan sarung tangan, masker, dan celemek selama proses produksi</li> <li>• Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> </ul> Proses sanitasi alat dilakukan secara menyeluruh dan benar
	Kimia: Residu bahan sanitasi	Proses sanitasi alat yang tidak bersih	L	L	L	
	Fisik: Debu, residu bawang putih	Proses sanitasi alat yang tidak bersih, lokasi penyimpanan peralatan, tempat kerja, wadah yang digunakan	H	L	M	
Penjemuran	Biologi: <i>Escherichia coli</i>	Air yang digunakan untuk membersihkan alat, kontaminasi silang peralatan	H	H	H	Pencucian peralatan produksi setelah digunakan
	Kimia: -	-	-	-	-	

Tahapan Proses	Potensi Bahaya	Sumber Bahaya	Penilaian Risiko			Pencegahan
			Risk	Sev	Sig	
Pembungkusan	Fisik: Debu, serangga, asap kendaraan bermotor	Lingkungan, wadah yang digunakan	H	L	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> <li>Pembersihan tempat kerja setelah proses produksi selesai</li> <li>Pemberantasan hama dilakukan dengan penyemprotan obat</li> </ul>
	Biologi: <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Kontaminasi silang pekerja dan peralatan	H	H	H	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menetapkan SOP agar karyawan menggunakan sarung tangan, masker, dan celemek selama proses produksi</li> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> </ul>
	Kimia: -	-	-	-	-	-
Fermentasi	Fisik: Debu	Kontaminasi silang dari peralatan yang digunakan, lokasi penyimpanan peralatan	L	L	L	Pencucian peralatan produksi setelah digunakan
	Biologi: Mikroorganisme yang tidak diinginkan dari udara, <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Clostridium perfringens</i>	Kondisi sanitasi peralatan yang digunakan, lingkungan, temperatur yang digunakan	L	H	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proses sanitasi alat dilakukan secara menyeluruh dan berkala</li> <li>Penggantian aluminium foil yang digunakan setiap proses produksi</li> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> </ul>
	Kimia: -	-	-	-	-	-
Pengecekan proses fermentasi	Fisik: Debu, residu bawang putih	Kontaminasi silang dari wadah yang digunakan	H	L	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Penggantian aluminium foil yang digunakan setiap proses produksi</li> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> </ul>
	Biologi: <i>Staphylococcus aureus</i>	Kontaminasi silang pekerja	H	L	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menetapkan SOP agar karyawan menggunakan sarung tangan, masker, dan celemek selama proses produksi</li> <li>Penggantian tusuk gigi yang digunakan untuk mengecek bawang putih setiap proses produksi</li> </ul>
	Kimia: -	-	-	-	-	-
Proses sortir II	Fisik: Debu, residu bawang putih	Tempat kerja, wadah dan alat yang digunakan	L	L	L	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> <li>Penggantian tusuk gigi yang digunakan untuk mengecek bawang putih setiap proses produksi</li> <li>Pembersihan tempat kerja setelah proses produksi selesai</li> </ul>
	Biologi: <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Kontaminasi silang pekerja dan peralatan, air yang digunakan untuk mencuci peralatan	H	H	H	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menetapkan SOP agar karyawan menggunakan sarung tangan, masker, dan celemek selama proses produksi</li> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> </ul>
	Kimia: -	-	-	-	-	-
Pendinginan	Fisik: Debu, residu bawang putih	Kontaminasi silang dari wadah yang digunakan	H	L	M	Pencucian peralatan produksi setelah digunakan
	Biologi: <i>Escherichia coli</i>	Kontaminasi silang peralatan, air yang digunakan untuk mencuci peralatan	H	H	H	Pencucian peralatan produksi setelah digunakan
	Kimia: -	-	-	-	-	-
Penyimpanan	Fisik: Debu, serangga	Lingkungan, wadah yang digunakan	H	L	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> <li>Pemberantasan hama dilakukan dengan penyemprotan obat nyamuk di lokasi kerja secara berkala</li> </ul>
	Biologi: <i>Escherichia coli</i>	Kontaminasi silang peralatan, air yang digunakan untuk mencuci peralatan	H	H	H	Pencucian peralatan produksi setelah digunakan
	Kimia: -	-	-	-	-	-

Tahapan Proses	Potensi Bahaya	Sumber Bahaya	Penilaian Risiko			Pencegahan
			Risk	Sev	Sig	
Penimbangan	Fisik: Debu, residu bawang putih, serangga	Lingkungan, wadah yang digunakan, lokasi penyimpanan	H	L	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> <li>Pemberantasan hama dilakukan dengan penyemprotan obat nyamuk di lokasi kerja secara berkala</li> </ul>
	Biologi: <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Kontaminasi silang pekerja dan peralatan, air yang digunakan untuk mencuci peralatan	H	H	H	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menetapkan SOP agar karyawan menggunakan sarung tangan, masker, dan celemek selama proses produksi</li> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> </ul>
	Kimia: -	-	-	-	-	
	Fisik: Debu, residu bawang putih	Kontaminasi silang peralatan	H	L	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> </ul>
Pengemasan	Biologi: <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Kontaminasi silang pekerja dan peralatan	H	H	H	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menetapkan SOP agar karyawan menggunakan sarung tangan, masker, dan celemek selama proses produksi</li> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> </ul>
	Kimia: Residu kemasan plastik	Bahan pengemas	L	L	L	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proses pengemasan dilakukan setelah produk didinginkan pada suhu ruangan <math>\pm 2</math> jam</li> <li>Pengelapan bahan pengemas dengan tissue sebelum digunakan</li> </ul>
	Fisik: Debu	Tempat kerja, lokasi penyimpanan bahan pengemas, kontaminasi silang bahan pengemas	H	L	M	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pencucian peralatan produksi setelah digunakan</li> <li>Pembersihan tempat kerja setelah proses produksi selesai</li> </ul>

#### I. Identifikasi CCP dan Batas Kritis tiap CCP

Identifikasi CCP dilakukan dengan menggunakan pohon keputusan [13]. Didapatkan 4 CCP pada proses produksi bawang hitam tunggal yaitu pada proses pembersihan bawang putih, sortir pertama, penjemuran, dan fermentasi. Batas kritis merupakan batas toleransi yang tidak boleh terlampaui, yang bertujuan untuk mengontrol bahaya. Batas kritis pada setiap CCP dapat dilihat pada Tabel VI.

TABEL VI  
BATAS KRITIS CCP

CCP	Bahaya	Batas Kritis
Pembersihan bawang putih (dengan air)	Fisik: Debu, kerikil, tanah, serangga, kotoran, benda asing lainnya	Tidak ditemukan kontaminasi fisik
Proses sortir I	Biologi: <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , Kapang ( <i>Fusarium sp.</i> , <i>Aspergillus niger</i> )	Memenuhi standar uji cemaran mikroba dalam pangan pada [14].
Penjemuran	Fisik: Debu, serangga, asap kendaraan bermotor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tidak ditemukan kontaminasi fisik</li> <li>Waktu penjemuran dilakukan <math>\leq 1</math> hari</li> </ul>
Fermentasi	Biologi: Mikroorganisme yang tidak diinginkan dari udara, <i>Clostridium botulinum</i> , <i>Clostridium perfringens</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Memenuhi standar uji cemaran mikroba dalam pangan pada [14].</li> <li>Suhu yang digunakan untuk fermentasi <math>\geq 60^\circ\text{C}</math></li> </ul>

#### J. Rekomendasi Perbaikan

Rekomendasi perbaikan yang diberikan untuk N'Up Product adalah sebagai berikut.

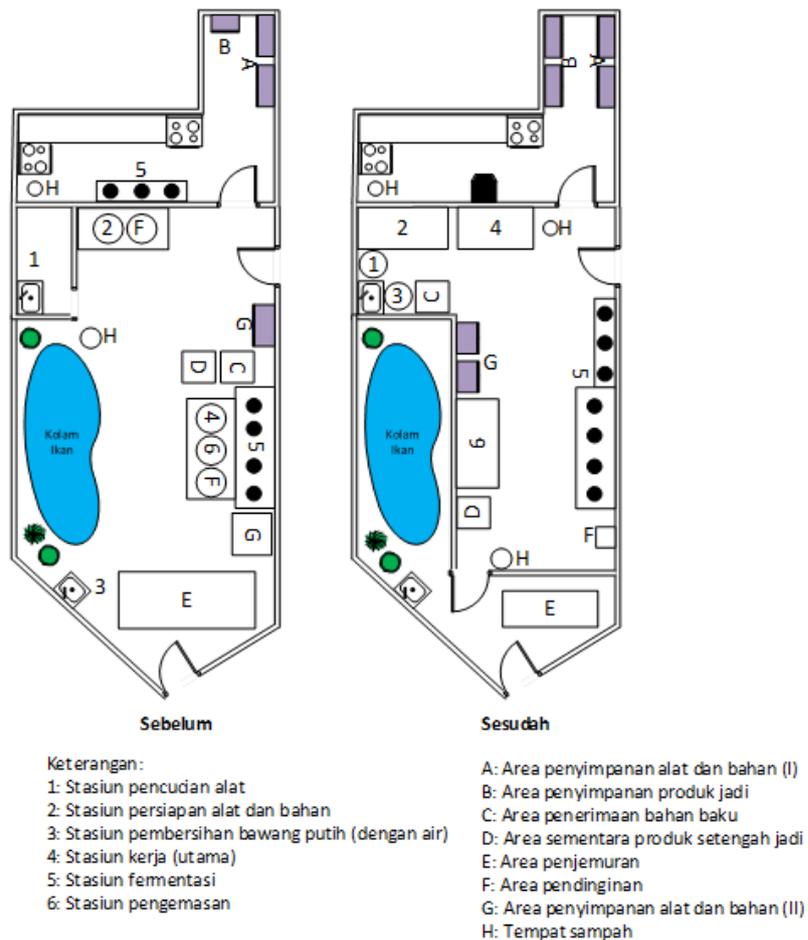
1) *Penekanan Standar Kebersihan Karyawan*: Peningkatan kesadaran akan kebersihan personal pada para karyawan oleh pemilik usaha dengan dibuatkan SOP yang jelas terkait kebersihan yang harus dicapai sebelum dan selama proses produksi berlangsung. Dimulai dari mencuci tangan, memastikan kebersihan personal terpenuhi (kondisi kuku, rambut, dan lain-lain), mengenakan pakaian kerja secara lengkap (celemek, masker, dan sarung tangan),

serta mengganti sarung tangan ketika sudah terlalu kotor untuk digunakan. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir kontaminasi silang pekerja terhadap bahan pangan selama proses produksi.

2) *Peralatan Penunjang*: Salah satu langkah untuk mengurangi aspek bahaya yang dapat muncul selama proses penjemuran bawang, terutama bahaya fisik, maka proses penjemuran sebaiknya dilakukan dengan menggunakan alat penunjang berupa penjemur yang memiliki jaring-jaring sehingga bawang dapat tetap dijemur dalam keadaan yang lebih tertutup untuk mencegah bahaya yang memungkinkan, seperti debu, serangga, dan lain-lain. Gambar 2 menunjukkan alat penunjang untuk proses penjemuran.



Gambar 2. Rekomendasi alat penunjang proses penjemuran



Gambar 3. Rekomendasi *layout* proses produksi

3) *Perbaiki Layout Produksi*. Kondisi ruang produksi N'Up Product kini masih memiliki akses yang sangat besar terhadap lingkungan luar bangunan, dikarenakan oleh dinding dan atap yang tidak menutupi ruangan secara penuh. Layout ruang produksi pun belum ditata dengan memperhatikan alur produksi. Sehingga diberikan rekomendasi terkait layout ruang produksi untuk memaksimalkan ruang yang tersedia, dengan memperbaiki penataan stasiun dan area produksi, serta rekomendasi penambahan dinding untuk memisahkan ruang produksi dengan lingkungan luar bangunan, yang dapat dilihat pada Gambar 3.

#### IV. KESIMPULAN

Metode HACCP yang diterapkan untuk menganalisis risiko terkait keamanan pangan pada proses produksi bawang hitam di N'Up Product telah berhasil dilakukan. Dengan hasil analisis persyaratan dasarnya, yaitu GMP dan SSOP, disimpulkan bahwa kondisi proses produksi masih belum sesuai, terutama pada aspek bangunan, pencegahan kontaminasi silang, serta kebersihan karyawan. Dari analisis HACCP didapatkan 4 CCP pada proses produksi bawang hitam tunggal, yaitu pada proses pembersihan bawang putih, sortir pertama, penjemuran, dan fermentasi. Rekomendasi diberikan untuk perbaikan ke depannya. Rekomendasi yang diberikan terkait dengan kebersihan karyawan, peralatan penunjang, serta perbaikan *layout* ruang produksi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas segala bentuk dukungan dalam keikutsertaan pada kegiatan Seminar Nasional Teknologi (SISTEK) 2020 yang diadakan oleh Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang.

#### REFERENSI

- (2019) Website Badan Pusat Statistik. [Online]. Available: <https://bps.go.id/>
- Bayan, et al. "Garlic: a review of potential therapeutic effects", *Avicenna Journal of Phytomedicine*, vol 4(1), pp. 1-14, 2014.
- Wang, D., et. al. "Black Garlic (*Allium sativum*) Extracts Enhance the Immune System", *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, vol. 4(1), pp. 37-40, Aug 2010.
- Hernawan, U. E. dan A. D. Setyawan, "REVIEW: Senyawa Organosulfur Bawang Putih (*Allium sativum* L.) dan Aktivitas Biologinya", *Biofarma*, vol. 1(2), pp. 65-76, Aug. 2003.
- Tentang Keamanan, Mutu dan Gizi Pangan*, Peraturan Pemerintah RI Nomor 28 Tahun 2004 Pasal 41.
- Pramessti, N., N. W. Setyanto, dan R. Yuniarti, "Analisis Persyaratan Dasar dan Konsep *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP) dengan Rekomendasi Perancangan Ulang Tata Letak Fasilitas (Studi Kasus: Kud Dau Malang)", *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, vol. 1(2), pp. 286-298, 2013.
- Thaheer, H., *Sistem Manajemen HACCP*, Jakarta: PT Bumi Aksara, 2008.
- NACMCF, "Hazard Analysis and Critical Control Point System", *International Journal of Food Microbiology*, vol. 16, pp. 1-23, 1992.
- Paster, T. *The HACCP food safety training manual*, Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2007
- Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Tentang Pedoman Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik (*Good Manufacturing Practices*). Nomor: 75/M-IND/PER/7/2010
- Mortimore, S. dan C. Wallace. *Food industry briefing series: HACCP*, London: Blackwell Science Ltd, 2001
- Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, *Bahan Ajar Gizi: Pengawasan Mutu Pangan*, 2012
- Sistem analisa bahaya dan pengendalian titik kritis (HACCP) serta pedoman penerapannya*. SNI 4852:1998
- Batas maksimum cemaran mikroba dalam pangan*, SNI 7388:2009

# Identifikasi Potensi dan Risiko Bahaya K3 Berdasarkan pada Dampak Korban di UMKM Silver 999

Ika Anggraeni Khusnul Khotimah\* dan Dedi Rizaldi Chaniago

Jurusan Teknik Industri Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia

\*ika.anggraeni@unmer.ac.id

*Abstrak*— Adanya interaksi antara mesin, alat dengan manusia dapat memicu terjadinya bahaya dan risiko yang dapat memiliki dampak terhadap kesehatan dan keselamatan kerja (K3). Pada proses produksi yang ada di UMKM Silver 999 menggunakan peralatan dan mesin yang dioperasikan oleh manusia sebagai operator. Berdasarkan kondisi tersebut maka dibutuhkan adanya identifikasi bahaya K3 yang dapat terjadi di UMKM Silver 999. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan identifikasi potensi dan risiko bahaya K3 berdasarkan pada dampak korban di bagian proses produksi UMKM Silver 999. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah identifikasi potensi dan risiko bahaya K3 didasarkan pada dampak korban yang terdiri dari 4 kategori yaitu A. Potensi bahaya yang menimbulkan risiko dampak jangka panjang pada Kesehatan), B (Potensi bahaya yang menimbulkan risiko langsung pada keselamatan), C (Risiko terhadap kesejahteraan atau kesehatan sehari-hari) dan D (Potensi bahaya yang menimbulkan risiko pribadi dan psikologis). Untuk mengidentifikasi faktor-faktor potensi dan risiko bahaya K3, peneliti melakukan observasi secara langsung di bagian produksi dan *brainstorming* dengan operator dan pemilik UMKM Silver 999. Hasil yang didapatkan dari observasi dan *brainstorming* menunjukkan terdapat beberapa potensi dan risiko bahaya K3 berdasarkan pada dampak korban yang ada di UMKM Silver 999 yaitu untuk kategori A berupa bahaya faktor kimia (debu dan uap logam dari proses peleburan, pengikiran, dan proses poles pada perhiasan), bahaya faktor fisik (penerangan ruangan yang kurang baik dan getaran dari mesin poles) dan bahaya faktor ergonomis (pekerja harus membungkuk saat mengoperasikan alat *rolling mill*). Untuk kategori B terdiri dari potensi bahaya kebakaran dan listrik (selang gas dan kabel yang tidak tertata dengan baik) serta potensi bahaya mekanikal (tidak adanya *safety cover* pada mesin poles). Kategori C (tidak tersedianya P3K di area produksi). Kategori D (stress di tempat kerja yang disebabkan dari ketidaknyamanan pekerja saat mengoperasikan *rolling mill* dan kurang penerangan di stasiun kerja poles).

*Kata kunci*— Potensi, Risiko, Bahaya, K3, UMKM.

*Abstract*— The interaction between machines, tools and humans can trigger hazards and risks that can have an impact on occupational health and safety (K3). In the production process in SME Silver 999, equipment and machines are operated by humans as operators. Based on these conditions, it is necessary to identify the K3 hazards that can occur in SMEs Silver 999. The purpose of this study is to identify the potential and risks of K3 based on the impact of victims in the production process of SMEs Silver 999. In this study the method used was the identification of the potential and risk of K3 hazards based on the impact of victims consisting of victims. from 4 categories, namely A. Potential hazards that pose a risk of long-term impacts on health), B (potential hazards that pose a direct risk to safety), C (risks to daily welfare or health) and D (potential hazards that pose a personal risk and psychological). To identify the potential factors and risks of K3 hazards, researchers conducted direct observations in the production section and brainstormed with operators and owners of SMEs Silver 999. The results obtained from observations and brainstorming indicated that there were several potential and risk of K3 hazards based on the impact of existing victims. in SME Silver 999, namely for category A in the form of chemical hazard factors (metal dust and vapor from the smelting, filing, and polishing processes of jewelry), physical factors hazards (poor room lighting and vibration from polishing machines) and ergonomic hazards (workers have to bend over when operating the rolling mill). Category B consists of fire and electrical hazards (gas hoses and cables that are not properly ordered) and mechanical hazards (no safety cover on the polishing machine). Category C (unavailability of first aid kits in the production area). Category D (stress at work due to workers' discomfort when operating the rolling mill and lack of lighting at the polishing workstation).

*Keywords*— Potential, Risk, Hazard, K3, UMKM.

## I. PENDAHULUAN

UMKM memiliki peran penting dalam lajunya perekonomian masyarakat seperti penciptaan lapangan pekerjaan baru yang dapat menyerap tenaga kerja manusia sehingga mendukung pendapatan rumah tangga. Di kota Malang, ada satu UMKM yang bergerak di

industri pengolahan perhiasan yaitu UMKM Silver 999. Proses produksi di UMKM Silver 999 menggunakan peralatan dan mesin yang dioperasikan oleh manusia sebagai operator. Adanya interaksi antara mesin dan peralatan dengan manusia dapat memicu potensi dan risiko bahaya yang dapat memiliki dampak terhadap kesehatan dan keselamatan kerja (K3) untuk para operator yang bekerja di UKM Silver 999. **Potensi bahaya** adalah sesuatu yang berpotensi untuk terjadinya insiden yang berakibat pada kerugian dan **risiko** adalah kombinasi dan konsekuensi suatu kejadian yang berbahaya dan peluang terjadinya kejadian tersebut [1]. Di UMKM silver 999 mengenai kesehatan dan keselamatan kerja untuk potensi dan risiko bahaya bisa dikatakan masih tinggi yaitu minimnya ketersediaan dan kesadaran pekerja dalam menggunakan alat pelindung diri (APD) yang ada, kurangnya pengetahuan mengenai potensi dan risiko bahaya apa saja yang dapat merugikan operator yang sedang bekerja maupun perusahaan atau ukm sebagai pemilik usaha di dalam sebuah perusahaan. Berdasarkan kondisi tersebut maka dibutuhkan adanya identifikasi bahaya K3 yang dapat terjadi di UMKM Silver 999. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan identifikasi potensi dan risiko bahaya K3 berdasarkan pada dampak korban di bagian proses produksi UMKM Silver 999.

## II. METODE

Pada tahap awal dari penelitian ini yaitu melakukan observasi secara langsung dan *brainstorming* dengan operator ahli dan pemilik usaha di ruang produksi pengolahan perhiasan UMKM Silver 999 untuk mengidentifikasi masalah potensi dan risiko bahaya K3 didasarkan pada dampak korban yang terdiri dari 4 kategori yaitu A (Potensi bahaya yang menimbulkan risiko dampak jangka panjang pada Kesehatan), B (Potensi bahaya yang menimbulkan risiko langsung pada keselamatan), C (Risiko terhadap kesejahteraan atau kesehatan sehari-hari) dan D (Potensi bahaya yang menimbulkan risiko pribadi dan psikologis). Tahap berikutnya adalah memilah dan mengelompokkan data hasil identifikasi potensi dan risiko bahaya K3 yang telah didapatkan untuk kemudian dimasukkan ke dalam kategori A – D.

## III. HASIL

Di UMKM Silver 999, untuk membuat perhiasan menggunakan alat dan mesin yang masih sederhana secara manual yang dioperasikan oleh pekerja manusia. Berikut ini data bahan baku, peralatan dan mesin yang digunakan:

### 1. Alat yang digunakan dalam produksi

#### a. Alat pelebur perhiasan.

Fungsi: untuk meleburkan bahan baku perhiasan



Gambar 1. Alat pelebur perhiasan

#### b. Alat cetak perhiasan.

Fungsi :mencetak ukuran diameter perhiasan



Gambar 2. Alat cetak perhiasan

#### c. Mesin *rolling mill*

Fungsi :untuk mengepres bahan baku



Gambar 3. Mesin rol perhiasan

d. Palu

Fungsi :untuk menempa bahan baku yang sudah di panaskan pada proses pemanasan bahan baku.



Gambar 4. Palu

e. Alat kikir

Fungsi :untuk menghaluskan bagian-bagian kecil yang ada pada perhiasan



Gambar 5. Alat kikir perhiasan

f. Mesin poles

Fungsi :untuk menghaluskan produk perhiasan yang sudah jadi.



Gambar 6. Mesin poles perhiasan

2. Bahan Baku yang digunakan dalam proses produksi



Gambar 7. Plat emas

a. Plat perak



Gambar 8. Plat Perak

Berdasarkan hasil observasi dan *brainstorming* didapatkan data – data mengenai potensi dan risiko bahaya K3 yang ada di ruang produksi pengolahan perhiasan sebagai berikut:

3. Stasiun Kerja Produksi Perhiasan di UMKM Silver 999

a. Stasiun kerja Peleburan

Untuk pembuatan perhiasan diperlukan bahan baku yaitu berupa lempengan emas, logam, dan tembaga sebagai bahan utama dalam pembuatan perhiasan serta beberapa alat yang digunakan dan beberapa bahan kimia yang digunakan. Dari beberapa alat serta bahan kimia yang digunakan dapat menimbulkan bahaya yang berisiko tinggi salah satunya yaitu pada saat proses peleburan yang menimbulkan uap kimia yang mengandung zat asam yang dapat mengganggu saluran pernapasan, serta alat yang digunakan yaitu berupa blander potong yang dapat menimbulkan kebakaran serta ledakan jika salah dalam penggunaannya maka dari itu dapat digolongkan sebagai potensi bahaya yang berbahaya.



Gambar 9. Pekerja di stasiun Peleburan

b. Stasiun kerja *Rolling Mill*

Pada tahap ini dari bahan baku utama berupa lempengan emas, perak yang digunakan sebagai bahan dasar, sebelum dibuat menjadi perhiasan lempengan emas, perak tersebut harus dimasukkan ke dalam *rolling mill* agar dapat dibentuk menjadi sebuah gulungan emas maupun perak. Jadi pada stasiun ini jika operator tidak bisa menggunakan mesin ini, maka dapat memunculkan risiko kecelakaan kerja yang berdapampak pada tangan yang bisa terjepit.



Gambar 10. Pekerja di stasiun kerja *Rolling Mill*

c. Stasiun kerja perakitan

Stasiun kerja perakitan merupakan stasiun kerja yang penting dalam sebuah produksi dimana di stasiun kerja perakitan ini terdapat proses pengikiran perhiasan perak sehingga menimbulkan debu-debu yang dapat mengganggu pernafasan pada pekerja.



Gambar 11. Pekerja di stasiun kerja perakitan

d. Stasiun kerja pemolesan

Pada stasiun kerja pemolesan ini juga berisiko terjadi kecelakaan kerja karena di stasiun kerja ini menggunakan mesin dengan kekuatan putaran mesin terhadap amplas yang berputar pada roda putaran sangat cepat dan dapat menimbulkan rasa panas terhadap jari-jari tangan dan juga berisiko perhiasan perak yang sedang dipoles dapat terpelempar, dari itu stasiun kerja ini juga berpotensi bahaya terhadap operator yang bekerja di stasiun tersebut.



Gambar 12. Stasiun kerja pemolesan

#### IV. PEMBAHASAN

Berdasarkan data – data potensi dan risiko bahaya K3 yang telah didapatkan oleh peneliti, maka selanjutnya dilakukan tahap pemilahan data-data tersebut untuk dikelompokkan ke dalam kategori A-D. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel I- IV:

TABEL.  
IDENTIFIKASI POTENSI DAN RISIKO BAHAYAK3 KATEGORI A DI UKM SILVER 999

<b>Kategori A</b> <b>Potensi bahaya yang menimbulkan risiko dampak panjang pada kesehatan</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Foto</b>
Bahaya factor kimia (debu, uap logam )	Pada proses peleburan bahan kuningan terdapat bahaya factor kimia (uap ).	
		
	Pada proses pengikiran cincin yang dilakukan secara manual terdapat bahaya berupa (debu) yang dapat mengganggu pernapasan	

---

Pada proses penghalusan perhiasan yang menggunakan mesin poles dan menghasilkan debu – debu halus yang bias mengganggu pernapasan, karena tidak menggunakan alat pelindung diri berupa masker serta tidak mengikuti himbauan yang disampaikan oleh pemilik UKM Silver 999.

Bahaya factor fisik (bising, penerangan, getaran, iklim kerja, jatuh)

Kurangnya penerangan pada proses pemolesan perhiasan pada proses akhir dari pembuatan perhiasan



Getaran yang ditimbulkan dari mesin poles pada stasiun kerja pemolesan yang dapat membuat pekerjaan tersebut kurang nyaman.



Cara bekerja dan bahaya factor ergonomis (posisi bangku kerja, pekerjaan yang berulang-ulang, jam kerja yang lama)

Pada proses pengepresanlempengan plat perakdi mesin *roling mill* terdapat posisi yang tidak ergonomi, karena operator bekerja dengan posisi berdiri dan agak membungkuk mengakibatkan postur tubuh yang tidak sesuai dan juga melakukan pekerjaan tersebut berulang-ulang

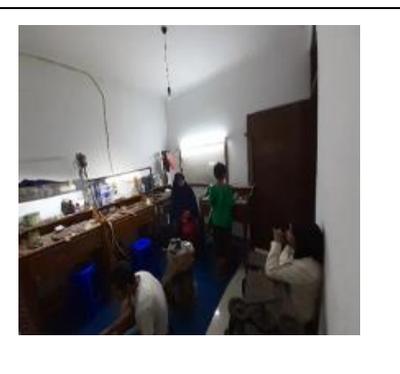


TabellI.  
Identifikasi Potensi dan Risiko Bahaya K3 Kategori B di UKM Silver 999

<b>Kategori B Potensi bahaya yang menimbulkan risiko langsung pada Keselamatan</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Foto</b>
Kebakaran	Pada stasiun kerja peleburan bahan mentah perhiasan terdapat potensi bahaya kebakaran. Karena terdapat beberapa tabung BBM yang dapat menimbulkan bahaya kebakaran.	
Listrik	Pada setiap proses produksi bias terjadi konsleting listrik karena adanya tumpukan kabel listrik dan selang gas yang tidak tertata dengan rapi.	

Potensi bahaya mekanikal (tidak adanya pelindung mesin)	Pada proses pemolesan yang menggunakan mesin terdapat bahaya yaitu tidak adanya pelindung mesin maupun pelindung diri untuk operator yang bekerja	
---	---	---

TABEL III.  
IDENTIFIKASI POTENSI DAN RISIKO BAHAYA K3 KATEGORI C DI UKM SILVER 999

<b>Kategori C</b> <b>Risiko terhadap</b> <b>kesejahteraan atau kesehatan</b> <b>sehari-hari</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Foto</b>
P3K ditempat kerja	Tidak adanya P3K pada ruangan produksi	

TABEL IV.  
IDENTIFIKASI POTENSI DAN RISIKO BAHAYA K3 KATEGORI D DI UKM SILVER 999

<b>Kategori D</b> <b>Potensi bahaya yang</b> <b>menimbulkan risiko pribadi</b> <b>dan psikologis</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Foto</b>

---

Stres di tempat kerja

Kurang nyamannya di dalam menjalankan sebuah pekerjaan yang berulang-ulang dapat menimbulkan stress terhadap pekerjaan yang dilakukan serta ruang kerja yang kurang terang, gerah dan peralatan kerja yang tidak ergonomis.



---

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil identifikasi terhadap potensi dan risiko bahaya K3 berdasarkan pada dampak korban di UMKM Silver 999 yang telah dilakukan peneliti terdapat kesimpulan Pada kategori A ditemukan bahaya faktor kimia berupa debu dan uap logam yang bersifat asam dari proses peleburan bahan baku perhiasan perak yang menggunakan campuran bahan kimia, pengikiran perhiasan, dan proses poles untuk menghaluskan permukaan perhiasan. Bahaya faktor fisik berupa penerangan ruangan yang kurang baik dan getaran dari mesin poles. Bahaya faktor ergonomis berupa posisi pekerja yang harus membungkuk saat mengoperasikan alat *rolling mill*. Hasil identifikasi kategori B ditemukan potensi bahaya kebakaran dan listrik yang dapat berasal dari selang gas dan kabel yang tidak tertata dengan baik, serta potensi bahaya mekanikal tidak adanya *safety cover* pada mesin poles sehingga perhiasan yang sedang dipoles dapat terpental mengenai pekerja. Kemudian hasil identifikasi pada Kategori C, ditemukan tidak tersedianya P3K di area produksi. Dan hasil identifikasi untuk kategori D berupa stress di tempat kerja yang disebabkan dari ketidaknyamanan pekerja saat mengoperasikan alat *rolling mills*, kurang penerangan di stasiun kerja poles dan temperatur di ruang kerja yang cukup tinggi sehingga pekerja merasa gerah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga tim peneliti tujukan kepada pemilik usaha dan para pekerja UMKM Silver 999 yang telah mengizinkan tim peneliti untuk melakukan penelitian dan telah menyediakan waktu untuk berbagi informasi yang mendukung penelitian ini. Terima kasih juga kami ucapkan kepada keluarga yang telah mendukung kami dalam penelitian ini. Berikutnya terima kasih juga kami haturkan kepada Program Studi Teknik Industri dan Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang.

#### REFERENCE

- [1] International Labour Organization, *Keberlanjutan Melalui Perusahaan yang Kompetitif dan Bertanggung Jawab (SCORE)*. ILO Office. Indonesia : Jakarta, 2013.

# Pengukuran Metode Beban Kerja Mental Modified Cooper Harper (MCH) dan Manfaatnya

Muchammad Riza Fauzy

*Jurusan Teknik Industri Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia  
muchrizafauzi@gmail.com*

*Abstrak*— Beban kerja mental merupakan cabang dari ilmu ergonomi yang berfokus pada beban psikologis yang dialami seseorang dalam bekerja. Hal tersebut penting diteliti karena manusia pasti akan mengalami kelelahan psikologi disamping kelelahan fisik. Salah satu metode yang bisa digunakan dalam meneliti beban kerja mental seseorang adalah metode modified cooper harper. Tujuan dari menggunakan metode ini untuk mengetahui kondisi beban kerja mental pekerja terutama ketika menggunakan alat atau fasilitas yang menunjang pekerjaan mereka. Dan subjek yang dipilih dalam menerapkan metode ini adalah perawat. Diharapkan setelah mengetahui beban kerja perawat, peneliti bisa memberikan rekomendasi untuk kedepannya.

*Kata kunci*— Ergonomi, Beban Kerja Mental, Metode Modified Cooper Harper, Perawat

*Abstract*— Mental workload is a branch of ergonomics that focuses on the psychological load that a person experiences at work. This is important to research because humans will definitely experience psychological fatigue in addition to physical fatigue. One method that can be used in examining a person's mental workload is the modified cooper harper method. The purpose of using this method is to determine the mental workload conditions of workers, especially when using tools or facilities that support their work. And the subject chosen in applying this method is a nurse. It is hoped that after knowing the workload of nurses, researchers can provide recommendations for the future.

*Keywords*— Ergonomics, Mental Workload, Modified Cooper Harper Method, Nurse

## I. PENDAHULUAN

Pada saat ini diketahui bahwa tuntutan pekerjaan semakin hari semakin tinggi. Dengan tuntutan yang tinggi membuat pekerja akan cepat mengalami kelelahan. Pada ilmu ergonomi ada 2 macam kelelahan yang disebabkan oleh beban pekerjaan yang diterima seseorang yaitu kelelahan fisik dan kelelahan mental. Terdapat beberapa gejala yang merupakan dampak dari beban kerja berlebihan yaitu: [1]

Gejala Fisik (contoh: sakit kepala, sakit perut, kaku leher belakang sampai punggung, dan lain-lain)

Gejala mental (contoh: mudah lupa, sulit berkonsentrasi, cemas, was-was, putus asa, dan lain-lain)

Gejala sosial atau perilaku (contoh: banyak minum alcohol atau menarik diri dari sosial)

Bila seseorang mengalami kelelahan fisik maka tubuh akan langsung merespon dengan rasa sakit seperti yang dikemukakan oleh para ahli. Tetapi akan berbeda jika seseorang mengalami kelelahan mental (psikologi) karena tubuh tidak langsung merespon kelelahan tersebut. Bahkan secara tidak sadar kelelahan mental akan menurunkan produktivitas pekerjaan secara bertahap.

Oleh karena itu perlu ada metode yang bisa mengukur beban kerja mental (psikologis) seseorang. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah metode Modified Cooper Harper (MCH). Metode MCH ini adalah perkembangan dari metode Cooper Harper. Metode Cooper Harper dibuat dikarenakan adanya permasalahan antara pilot dan control kendali pesawat terbang. Terutama ketika pilot sulit membaca alat control pesawat hingga ada kesalahan dalam membaca keadaan pesawat. Agar metode ini bisa digunakan di semua kondisi tidak hanya dikondisi antara pilot dan alat kendali pesawat maka perlu ada modifikasi dalam pohon

keputusan MCH (Modified Cooper Harper) sesuai dengan kondisi tempat kerja yang ingin diukur [2]

Pekerjaan yang juga membutuhkan pemahaman ketika bekerja terutama terhadap alat-alat penunjang pekerjaan seperti pilot, salah satunya adalah perawat. Diketahui pekerjaan perawat cukup berat karena harus merawat pasien dengan berbagai macam kondisi. Terlebih lagi perawat juga harus membantu dokter dalam segala jenis operasi. Segala pekerjaan tersebut juga diperlukan pemahaman tentang alat-alat medis baik yang rumit atau sederhana. Dengan kondisi seperti itu maka peneliti memilih perawat subjek penelitian menggunakan metode Modified Cooper Harper (MCH). Diharapkan dengan melakukan penelitian ini maka akan diketahui beban kerja mental yang dialami oleh perawat selama bekerja.

## II. METODE

Ketika menghitung beban kerja mental menggunakan metode Modified Cooper Harper (MCH) maka langkah pertama peneliti adalah membuat pohon keputusan MCH sebagai dasar kuesioner. Dalam membuat pohon keputusan MCH ada 4 faktor yang perlu diperhatikan, menurut Gawron (2000) yaitu: pernyataan kecukupan untuk pemilihan pekerjaan atau operator yang dibutuhkan, karakteristik pekerjaan, pemenuhan kebutuhan terhadap operator yang diperlukan, dan penilaian kategori beban kerja operator. Operator disini maknanya sama juga dengan pegawai atau karyawan termasuk perawat. Setelah membuat karakteristik pekerjaan dalam pohon keputusan, langkah selanjutnya memberikan skala pada beberapa karakteristik pekerjaan yang sudah dibuat tadi. Skala atau skor yang diberikan antara 1 sampai 10 dengan terbagi 4 kategori yaitu pekerjaan ringan, pekerjaan sedang, pekerjaan berat dan pekerjaan sangat berat.

Setelah mengetahui gambaran tentang pohon keputusan MCH (Modified Cooper Harper) maka langkah selanjutnya membuat ranting pohon keputusan MCH tersebut menjadi kuesioner agar bisa diisi oleh perawat. Ranting pohon keputusan MCH ini berisi penilaian karakteristik pekerjaan yang dialami perawat selama bekerja terutama terhadap fasilitas pendukung dalam menyelesaikan pekerjaan. Untuk jumlah perawat yang dijadikan responden sebanyak 20 orang. Alasan mengambil 20 orang dikarenakan 20 orang perawat menggambarkan perawat yang bekerja di instalasi rawat inap yang total perawatnya sebanyak 65 hingga 70 orang. Adapun gambaran umum dari penilaian karakteristik pekerjaan yang dialami oleh perawat sebagai berikut:

TABEL I  
GAMBARAN UMUM PENILAIAN KARAKTERISTIK PEKERJAAN POHON KEPUTUSAN MCH

No.	Karakteristik Pekerjaan	Pemenuhan kebutuhan terhadap operator dalam pemilihan pekerjaan yang diperlukan	Penilaian (rating)
1	Tidak diinginkan dan sangat dihindari	Sarana/ desain fasilitas yang ada tidak membantu perawat dalam melakukan pekerjaan sehingga perawat gagal atau tidak bisa selesai	10
2	Tidak diinginkan dan cenderung dihindari	Sarana/desain fasilitas yang diberikan sedikit mengganggu perawat dalam menyelesaikan tugasnya	9
3	Tidak diinginkan	Sarana/ desain fasilitas menyulitkan perawat dalam menggunakan ketika menyelesaikan pekerjaan	8
4	Kurang diinginkan	Sarana/desain fasilitas hanya bisa sedikit membantu perawat	7
5	Cenderung kurang diinginkan	Perawat hanya bisa menggunakan fasilitas dan sarana untuk satu tugas tidak bisa semua	6
6	Kurang wajar	Interaksi antara perawat dan sarana/ fasilitas tidak bisa baik sehingga hasilnya belum tentu benar	5
7	Wajar tetapi	Sarana/ fasilitas yang diberikan berguna bagi perawat	4

8	mengurangi kinerja Kewajaran	meskipun perlu usaha dalam menggunakannya Sarana/fasilitas yang diberikan berguna bagi perawat tapi jumlahnya tidak memadai	3
9	Cukup diinginkan	Perawat hampir puas terhadap sarana/fasilitas yang diberikan dan jumlahnya memadai	2
10	Sangat diinginkan	Perawat benar-benar puas terhadap sarana/fasilitas yang ada	1

Tabel 1. adalah gambaran umum dari kuesioner pohon keputusan MCH. Ibarat pohon Tabel 1. merupakan rating pohon keputusan. Sedangkan dahan pohon keputusan MCH ialah pengelompokkan 4 karakteristik dimensi beban kerja mental. Adapun 4 dimensi beban kerja mental yaitu: beban kerja rendah, beban kerja sedang, beban kerja berat dan beban kerja sangat berat. Untuk lebih jelasnya Tabel 2. pengelompokkan penilaian karakteristik pekerjaan terhadap dimensi beban kerja mental.

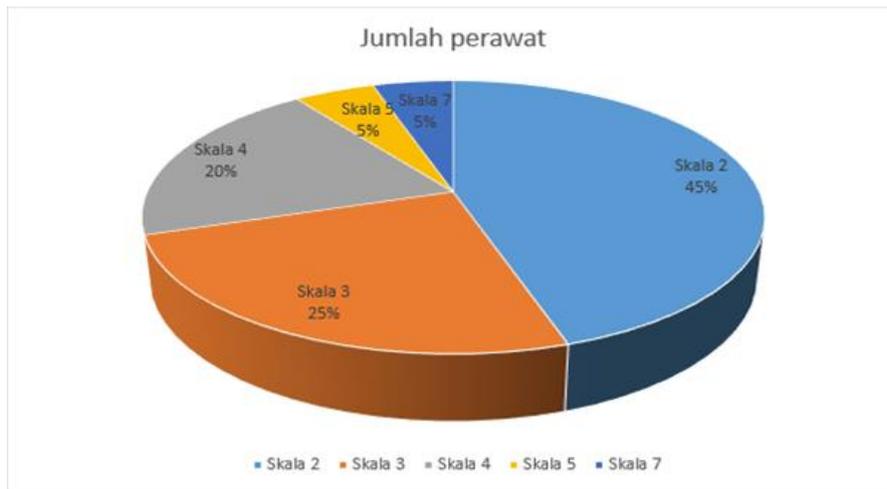
TABEL II  
PENGELOMPOKKAN PENILAIAN KARAKTERISTIK PEKERJAAN TERHADAP DIMENSI BEBAN KERJA MENTAL

<b>Dimensi Beban Kerja Mental</b>	<b>Karakteristik Pekerjaan</b>	<b>Penilaian</b>
Beban kerja rendah	Sangat diinginkan	1
	Cukup diinginkan	2
	Kewajaran	3
Beban kerja sedang	Wajar tapi mengganggu kinerja	4
	Kurang wajar	5
	Cenderung kurang diinginkan	6
Beban kerja berat	Kurang diinginkan	7
	Tidak diinginkan	8
	Tidak diinginkan dan cenderung dihindari	9
Beban kerja sangat berat	Tidak diinginkan dan sangat dihindari	10

Dari penjabaran pohon keputusan MCH tadi diharapkan perawat sebagai responden bisa mengisinya berdasarkan apa yang mereka alami di pekerjaan. Sehingga peneliti bisa mengetahui beban kerja mental perawat berdasarkan metode Modified Cooper Harper (MCH).

### III. HASIL

Setelah melakukan proses penyebaran kuesioner kepada 20 perawat dan pengambilan kembali. Diketahui dari 20 responden memberikan hasil yang berbeda-beda. Sebagian besar perawat memilih skala 2 (cukup diinginkan/ beban kerja ringan) dalam menilai beban kerja mental yang mereka rasakan dengan kondisi pekerjaan yang ada. Meskipun ada beberapa responden (perawat) memilih skala yang lain bahkan cenderung berbeda-beda. Untuk lebih lengkapnya bisa dilihat dari gambar diagram dibawah ini:



Gambar 1 Hasil responden berdasarkan skala penilaian



Gambar 2. Hasil responden berdasarkan dimensi beban kerja mental

#### IV. PEMBAHASAN

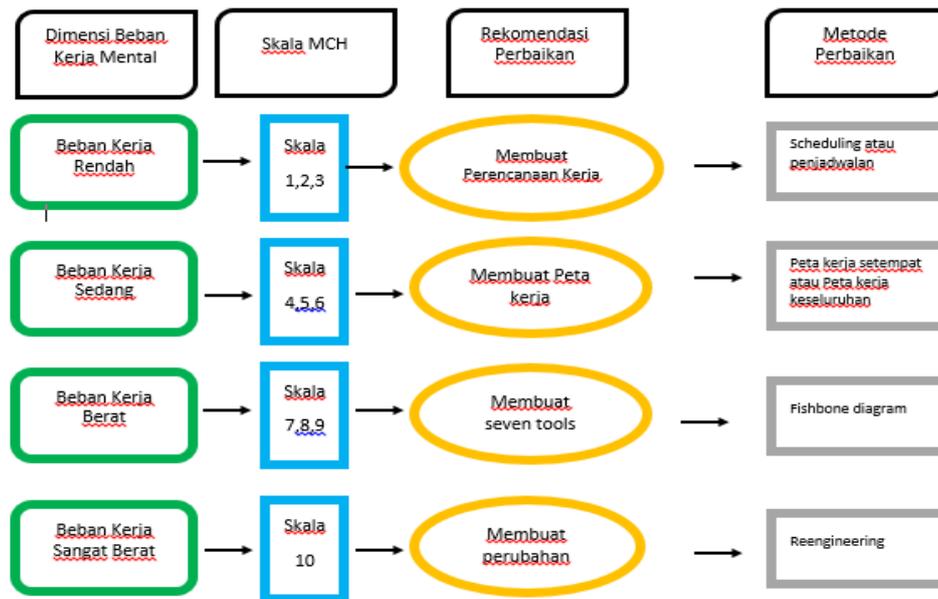
Dari hasil diatas diketahui bahwa 45% responden menilai pekerjaan beserta kondisinya dengan skala 2 (yaitu: cukup diinginkan/ beban kerja ringan). 25% responden memilih skala 3 (yaitu: kewajaran/beban kerja ringan). 20% responden memilih skala 4 (yaitu: wajar tetapi mengurangi kinerja/ beban kerja sedang). 5% responden memilih skala 5 (yaitu: kurang wajar/ beban kerja sedang). Dan 5% responden memilih skala 7 (yaitu: kurang diinginkan/ beban kerja berat).

Bila dikelompokkan lebih besar lagi diketahui bahwa 70% responden menilai beban kerja yang mereka rasakan tergolong ringan. 25% responden menilai beban kerja yang mereka rasakan tergolong sedang. Dan 5% responden menilai beban kerja yang mereka rasakan tergolong berat. Meskipun sebagian besar responden mengalami beban kerja ringan tetapi tidak ada memilih skala 1 (yaitu: sangat diinginkan/beban kerja ringan) malahan ada 5% responden memilih skala 7 (yaitu: kurang diinginkan/beban kerja berat). Oleh karena itu hasil ini bisa bermanfaat untuk perbaikan kedepannya.

Salah satu manfaat yang bisa didapatkan dari hasil pengukuran MCH adalah membuat peta di karakteristik pekerjaan dengan skala menengah. Fungsi peta kerja ialah memudahkan pekerja (perawat) memetakan pekerjaan dengan sarana/fasilitas yang ada secara urut dan benar. Apalagi hasil penelitian ditemukan ada sebagai responden memberikan penilaian skala

menengah (skala 4 dan skala 5). Peta kerja sendiri ada 2 yaitu peta kerja keseluruhan dan peta kerja setempat. Disana ada beberapa metode yang bisa digunakan seperti OPC (operation process chart), man-machine chart, flow process chart dan lain-lain.

Selain membuat peta kerja, manfaat yang bisa dilakukan dari hasil beban kerja mental adalah menjadi bahan perbaikan kualitas. Perbaikan kualitas ini untuk karakteristik pekerjaan skala tinggi. Terlebih ada 5% responden memilih skala tinggi (skala 7) terhadap beban mental pekerjaan. Oleh karena itu perlu ada perbaikan kualitas agar pekerjaan yang dihasilkan memuaskan (berkualitas). Metode perbaikan kualitas yang bisa digunakan ialah seven tools. Untuk lebih jelasnya dibawah ini adalah bagan hasil beban kerja mental MCH dengan perbaikan (manfaat) yang bisa didapatkan.



Gambar 3. Bagan hasil beban kerja mental MCH dengan manfaat yang didapatkan

## V. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ada beberapa point adapun point pertama yaitu beban kerja mental yang dialami oleh perawat berdasarkan metode Modified Cooper Harper (MCH) 70% mengalami beban kerja rendah, 25% mengalami beban kerja sedang dan 5% mengalami beban kerja berat. Point kedua adalah 70% beban kerja rendah itu terdiri dari 45% memilih skala 2 dan 25% memilih skala 3. Sedangkan dari 25% responden beban kerja sedang memilih skala 4 sebanyak 20% dan skala 5 sebanyak 5%. Terakhir 5% responden beban kerja berat memilih skala 7 sebanyak 5%. Point ketiga hasil tersebut menunjukkan kalau sebagian perawat bisa memanfaatkan sarana/fasilitas yang ada untuk menunjang pekerjaan meskipun fasilitas/sarana yang diberikan kurang. Tetapi sebagian perawat belum bisa memanfaatkan sarana/fasilitas yang ada dengan baik bahkan cenderung hanya bisa membantu sedikit pekerjaan yang dilakukan perawat. Maka dari hasil tersebut muncul point ke empat yaitu bagan hasil beban kerja mental terhadap perbaikan (manfaat) yang didapatkan. Dari bagan tersebut dapat diketahui setiap dimensi beban kerja terdapat skala MCH, rekomendasi perbaikan dan metode perbaikan.

Untuk beban kerja rendah yang memiliki skala 1,2,3 rekomendasi perbaikannya adalah memperbaiki perencanaan kerja. Hal tersebut disarankan karena interaksi sebagian responden dengan fasilitas/sarana yang disediakan cukup baik tetapi ada yang jumlahnya kurang memadai sehingga perlu perencanaan kerja dengan metode scheduling/penjadwalan agar sarana/fasilitas dapat dimanfaatkan secara maksimal oleh semua perawat. Sedangkan beban kerja sedang yang memiliki skala 4,5,6 rekomendasi perbaikannya adalah membuat peta

kerja dengan metode yang disarankan peta kerja setempat atau peta kerja keseluruhan. Peneliti menyarankan karena fasilitas/sarana yang disediakan membuat perawat menambah ekstra tenaga untuk menggunakannya. Bahkan ada beberapa responden ketika menggunakan fasilitas/sarana, hasil pekerjaan tidak benar. Oleh karena itu peneliti merekomendasikan untuk membuat peta kerja agar interaksi manusia mesin lebih urut dan benar.

Dan beban kerja berat yang memiliki skala 7,8,9 rekomendasi perbaikannya adalah membuat seven tools dengan metode fishbone diagram. Alasan merekomendasikan seven tools karena sarana/fasilitas yang disediakan sangat sedikit membantu responden dalam menyelesaikan pekerjaan bahkan sedikit mengganggu pekerjaan responden. Maka perlu dicari pokok permasalahannya menggunakan fishbone diagram. Terakhir beban kerja sangat berat yang memiliki skala 10 diberi rekomendasi perbaikan dengan membuat perubahan. Membuat perubahan ini maksudnya adalah sarana/ fasilitas yang digunakan perawat sebagai penunjang pekerjaan harus diubah. Metode yang disarankan menggunakan metode reengineering. Peneliti menyarankan metode reengineering agar fasilitas/sarana yang digunakan responden (perawat) dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan responden (perawat). Sehingga sarana/fasilitas tersebut bermanfaat dalam membantu perawat melakukan pekerjaannya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua yang telah mensupport saya untuk menyelesaikan jurnal ini. Kedua saya mengucapkan terima kasih kepada salah satu rumah sakit swasta di kota Malang yang telah berkenan untuk memberikan saya kesempatan untuk melakukan penelitian di sana. Ketiga saya mengucapkan terima kasih kepada bapak Aditya Sudiarno yang telah mengarahkan saya untuk melakukan penelitian ini.

#### REFERENSI

- [1] Cummings, M. (2008). *Modified Cooper Harper Scales for Assessing Unmanned Vehicle Displays*, Departement Of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge.
- [2] Cain, B. (2004). *A Review of The Mental Workload Literature: Defence Research and Development*, Canada Toronto.
- [2] Harper,C.,Cooper (1986). *Modified Cooper Harper Scales Book (MCH)*.
- [3] Hernanto, Andrian (2018). *Pengukuran Beban Kerja dengan Menggunakan Metode Modified Cooper Harper*, Teknik Industri, Universitas Islam Bandung.
- [4] Syafe'i, M. Yani (2013) *Analisis Pengukuran Beban Kerja Operator Mesin Press dengan Menggunakan Metode Modified Cooper Harper Scale*, Jurusan Teknik Industri, Universitas Pasundan, Bandung.
- [5] Wahyu Werdani, Yesiana D. (2016). *Pengaruh Beban Kerja Mental Perawat Terhadap Tingkat Kepuasan Pasien di Ruang Rawat Inap Rumah Sakit Swasta di Surabaya*, Fakultas Keperawatan, Universitas Katolik Widya Mandala, Surabaya.

# Apakah Disiplin Mampu Memediasi Lingkungan Kerja Fisik dan Non Fisik untuk Mencapai Kinerja Karyawan yang Lebih Baik?

Digitha Oktaviani Putri

*Prodi Teknik Industri Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia*

*digitha.oktaviani@unmer.ac.id (penulis korespondensi)*

*Abstrak*— Adanya lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik yang nyaman dan kondusif diharapkan mampu meningkatkan kinerja karyawan. Selain itu, faktor kedisiplinan juga patut untuk diperhatikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lingkungan kerja fisik, lingkungan kerja non fisik dan disiplin terhadap kinerja karyawan. Dalam penelitian ini juga menyelidiki pengaruh disiplin dalam memediasi lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja. Penelitian ini merupakan jenis penelitian *explanatory research* dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Sebanyak 47 orang responden mengisi kuesioner dan hasil data kuesioner tersebut diolah menggunakan software SPSS. Teknik pengolahan data menggunakan analisis jalur (*path analysis*). Dari hasil analisis tersebut, lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja secara langsung maupun melalui disiplin. Namun disiplin tidak mampu memediasi lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja. Hal tersebut menunjukkan perlunya peningkatan faktor kedisiplinan untuk turut mendorong kinerja karyawan.

*Kata kunci*— Lingkungan Kerja Fisik, Lingkungan Kerja non Fisik, Disiplin, Kinerja.

*Abstract*— The existence of a physical work environment and a non-physical work environment that is comfortable and conducive is expected to improve employee performance. In addition, the discipline factor also deserves attention. This study aims to determine the effect of physical work environment, non-physical work environment and discipline on employee performance. This study also investigates the influence of discipline in mediating the physical work environment and non-physical work environments on performance. This research is a type of explanatory research using a quantitative approach. A total of 47 respondents filled out the questionnaire and the results of the questionnaire data were processed using SPSS software. Data processing techniques using path analysis (path analysis). From the results of this analysis, the physical work environment and non-physical work environment have a positive and significant effect on performance directly or through discipline. However, discipline is not able to mediate physical work environment and non-physical work environment towards performance. This shows the need to increase the discipline factor to help boost employee performance.

*Keywords*— Physical Work Environment, Non-Physical Work Environment, Discipline, Performance.

## I. PENDAHULUAN

Suatu organisasi dapat berjalan dengan baik jika ada sumber daya manusia dibaliknya yang mampu bekerja sesuai dengan ketentuan yang diinginkan oleh organisasi tersebut. Sumber daya manusia merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan organisasi. Perusahaan sebagai suatu organisasi akan dapat meningkatkan kinerjanya jika terdapat hubungan yang baik antara perusahaan dengan karyawannya karena terdapat peran penting karyawan sebagai sumber daya perusahaan yang menjalankan kegiatan dalam perusahaan. Adanya permasalahan dalam sumber daya manusia maka akan menimbulkan kendala pada operasional perusahaan secara keseluruhan. Jika karyawan mengalami kendala dalam menjalankan pekerjaannya maka hal tersebut akan mempengaruhi kinerjanya.

Kinerja adalah hasil kerja secara kualitas dan kuantitas yang dicapai oleh seorang pegawai dalam melaksanakan tugasnya sesuai dengan tanggung jawab yang diberikan kepadanya [1]. Kinerja karyawan merupakan suatu hal penting yang harus diperhatikan demi pencapaian keberhasilan suatu perusahaan[2].

Kinerja karyawan pada bagian PPIC Thermo di PT X salah satunya dapat diketahui berdasarkan ketepatan atau kesesuaian jumlah persediaan barang yang ada, yaitu berdasarkan

hasil *stock opname*. Jumlah *stock opname* yang dihitung ini dapat menunjukkan apakah jumlah telah sesuai antara stock akhir dengan *stock opname* barang. Berdasarkan data *stock opname* masih terjadi menunjukkan ketidaksesuaian antara stock akhir dan *stock opname* yang mengindikasikan kinerja karyawan kurang baik.

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja karyawan. Dalam melaksanakan pekerjaan, karyawan perlu mendapatkan perlindungan dengan rasa aman dalam lingkungan kerja. Faktor rasa aman dan nyaman ketika berada di tempat kerja dapat dipengaruhi oleh adanya jaminan keselamatan dan kesehatan kerja. Istilah keselamatan dan kesehatan tempat kerja (*workplace safety and health*) mengacu pada kondisi psikologis fisik dan psikologis pekerja yang merupakan hasil dari lingkungan yang diberikan oleh perusahaan. Jika suatu perusahaan melakukan pengukuran keamanan dan kesehatan yang efektif, semakin sedikit pegawai yang akan mengalami dampak penyakit jangka pendek atau jangka panjang akibat bekerja di perusahaan tersebut. Salah satu cara meningkatkan keselamatan adalah membuat pekerjaan tersebut lebih nyaman dan tidak melelahkan melalui ergonomi[3].

Dalam bekerja, karyawan dipengaruhi oleh lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja psikologis. Lingkungan kerja fisik berhubungan dengan keadaan-keadaan yang mempengaruhi fisik karyawan sedangkan lingkungan kerja psikologis berhubungan dengan psikologis karyawan[2].

Selain faktor lingkungan kerja, kinerja karyawan juga dapat dilihat dari faktor kedisiplinan. Tingkat disiplin karyawan dapat dilihat berdasarkan data absensi karyawan. Semakin tinggi tingkat absensi karyawan maka akan menghambat kinerja perusahaan. Sehingga faktor-faktor yang diperkirakan dapat mempengaruhi kinerja seperti lingkungan kerja dan disiplin patut untuk diteliti seberapa besar pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap kinerja karyawan.

## II. METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian *explanatory research* dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Pengambilan data dengan metode survey dengan mengambil keseluruhan karyawan pada bagian PPIC Thermo yaitu sebanyak 47 orang karyawan sebagai responden penelitian. Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mengumpulkan data yang didapatkan melalui kuesioner dengan menggunakan 5 skala Likert. Data yang telah terkumpul kemudian diolah menggunakan SPSS untuk menguji instrumen penelitian terlebih dahulu. Uji instrumen disini meliputi uji validitas dan uji reliabilitas. Teknik analisis yang digunakan adalah analisis jalur (*path analysis*).

### A. Kerangka Pemikiran

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel bebas (X), variabel perantara ( $Y_1$ ) dan variabel terikat ( $Y_2$ ). Variabel bebas berupa lingkungan kerja fisik dan non fisik, variabel perantara adalah disiplin dan variabel terikat berupa kinerja karyawan.

Lingkungan kerja fisik adalah semua keadaan lingkungan lingkungan disekitar yang berbentuk fisik atau berwujud dan berada disekitar tempat kerja. Lingkungan kerja fisik juga meliputi pencahayaan dalam ruangan, warna, udara serta suara yang mempengaruhi pekerjaan terhadap tugas yang dibebankan kepada karyawan[4]. Indikator pada variabel lingkungan kerja fisik adalah keadaan tempat kerja dan fasilitas kerja.

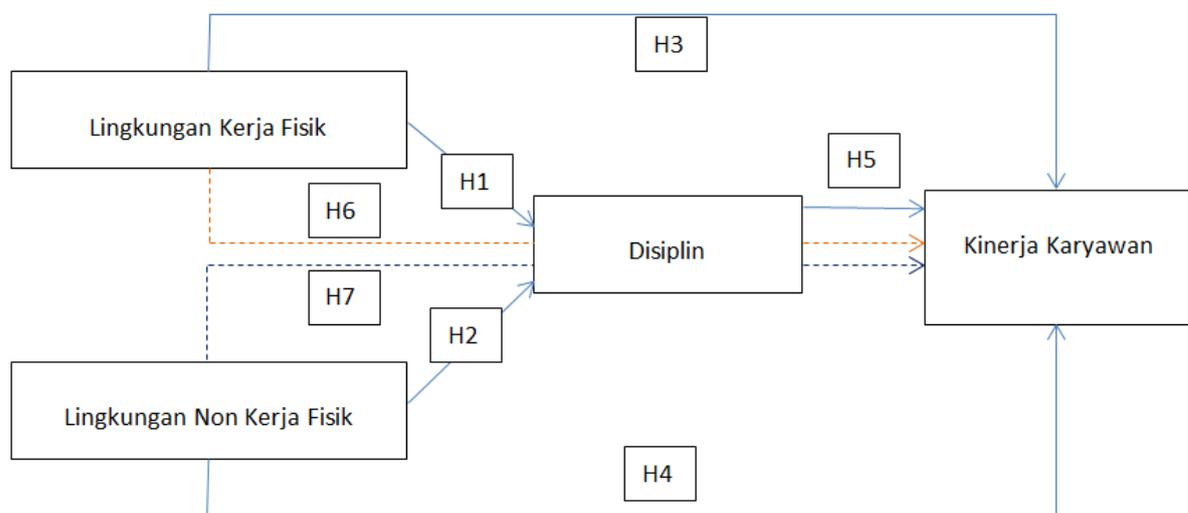
Lingkungan kerja non fisik yaitu semua keadaan yang berhubungan dengan hubungan kerja, baik hubungan antara rekan kerja, dengan bawahan maupun atasan[5]. Indikator pada variabel lingkungan kerja non fisik adalah hubungan dengan sesama rekan kerja, hubungan antara atasan dengan bawahan serta rasa aman saat bekerja.

Kedisiplinan adalah kesadaran dan kesediaan seseorang menaati semua peraturan perusahaan dan norma-norma sosial yang berlaku. Kesadaran adalah sikap seseorang yang

secara sukarela menaati semua peraturan dan sadar akan tugas dan tanggung jawabnya. Jadi karyawan akan mematuhi/mengerjakan semua tugasnya dengan baik, bukan atas paksaan. Kesediaan adalah suatu sikap, tingkah laku dan perbuatan seseorang yang sesuai dengan peraturan perusahaan, baik tertulis maupun tidak [6]. Dalam penelitian ini variabel disiplin menggunakan indikator ketaatan terhadap peraturan, ketaatan terhadap jam kerja, kepatuhan dalam penggunaan sarana dan prasarana kantor serta bekerja sesuai prosedur.

Kinerja adalah suatu hasil kerja yang dicapai seseorang dalam melaksanakan tugas-tugas yang dibebankan kepadanya yang didasarkan atas kecakapan, pengalaman, dan kesungguhan serta waktu [6]. Pada penelitian ini menggunakan empat indikator dalam variabel prestasi kerja, yaitu kualitas pekerjaan, kuantitas pekerjaan, sikap kerja dan minat kerja.

Sebagai dasar untuk menyusun hipotesis penelitian, disusunlah kerangka penelitian seperti pada gambar dibawah ini. Kerangka penelitian berguna untuk menerangkan hubungan antar variabel dalam penelitian ini.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

## B. Hipotesis

Hasil dari penelitian [7] menunjukkan bahwa terdapat pengaruh positif dan signifikan antara lingkungan kerja fisik terhadap disiplin kerja. Sedangkan pada penelitian [8] menunjukkan bahwa lingkungan kerja fisik dan non fisik memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap disiplin kerja. Begitu pula pada hasil penelitian [9] bahwa terdapat pengaruh yang positif dan signifikan secara langsung antara variabel lingkungan kerja terhadap disiplin kerja.

Pada penelitian [10] diketahui bahwa terdapat pengaruh yang positif dan signifikan antara variabel lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja karyawan. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian [11] yang menyebutkan bahwa variabel lingkungan kerja fisik dan non fisik memiliki pengaruh secara langsung yang positif dan signifikan terhadap kinerja karyawan.

Berdasarkan penelitian [12] terdapat hasil penelitian yang menyatakan terdapat pengaruh secara positif dan signifikan variabel disiplin terhadap variabel kinerja. Hasil penelitian [13] juga menunjukkan hasil pengaruh yang positif dan signifikan antara variabel disiplin dan kinerja. Variabel disiplin juga menjadi variabel mediasi yang memberikan pengaruh variabel lingkungan kerja terhadap kinerja karyawan[9].

Hipotesis yang dapat disusun berdasarkan kerangka pemikiran dan hasil penelitian terdahulu adalah sebagai berikut:

- H<sub>1</sub>: Terdapat pengaruh yang signifikan dari lingkungan kerja fisik terhadap disiplin
- H<sub>2</sub>: Terdapat pengaruh yang signifikan dari lingkungan kerja non fisik terhadap disiplin
- H<sub>3</sub>: Terdapat pengaruh yang signifikan dari lingkungan kerja fisik terhadap kinerja
- H<sub>4</sub>: Terdapat pengaruh yang signifikan dari lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja
- H<sub>5</sub>: Terdapat pengaruh yang signifikan dari disiplin terhadap kinerja
- H<sub>6</sub>: Terdapat pengaruh tidak langsung yang signifikan dari lingkungan kerja fisik terhadap kinerja melalui disiplin
- H<sub>7</sub>: Terdapat pengaruh tidak langsung yang signifikan dari lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja melalui disiplin

### III. HASIL

#### A. Uji Instrumen Penelitian

Pada uji instrumen penelitian berguna untuk mengetahui apakah data hasil pengisian kuesioner oleh responden dapat digunakan pada penelitian atau tidak.

##### 1. Uji Validitas

Uji validitas menggunakan teknik korelasi *pearson product moment*, yaitu dengan membandingkan indeks korelasi *pearson product moment* dengan taraf signifikansi sebesar 0,05 (5%). Dari keseluruhan pertanyaan dalam kuesioner, semua dinyatakan valid karena memiliki signifikansi kurang dari 0,05 ( $\text{sig} < 0,05$ ).

##### 2. Uji Reliabilitas

Pengujian reliabilitas instrumen penelitian dilakukan untuk mengukur apakah suatu instrumen cukup dapat dipercaya digunakan sebagai alat pengumpul data dengan menguji skor antara item dengan menggunakan *Alpha Cronbach* yaitu dengan membandingkan koefisien alpha dengan 0,6. Setelah dilakukan analisis, seluruh variabel dinyatakan reliabel karena memiliki nilai *Alpha Cronbach* lebih besar dari 0,6.

Karena seluruh pertanyaan dalam penelitian ini sudah dinyatakan valid dan reliabel, maka data hasil responden dapat digunakan untuk diolah pada analisis data selanjutnya.

#### B. Uji Hipotesis

*Analisis Pengaruh Lingkungan Kerja Fisik dan Lingkungan Kerja Non Fisik terhadap Disiplin*: berdasarkan pengolahan data dengan analisis jalur (*path analysis*) dengan software SPSS didapatkan hasil sebagai berikut:

TABEL I  
HASIL ANALISIS PENGARUH LINGKUNGAN KERJA FISIK DAN LINGKUNGAN KERJA NON FISIK TERHADAP DISIPLIN

Variabel	Standardized Coefficients Beta	t <sub>hitung</sub>	Sig
Lingkungan kerja fisik	0,606	5,891	0,000
Lingkungan kerja non fisik	0,341	3,049	0,004
R	0,822		
R square (R <sup>2</sup> )	0,675		
Adjusted R Square	0,660		

Tabel hasil analisis diatas menunjukkan hasil uji hipotesis lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik terhadap disiplin. Diketahui bahwa nilai R square yang didapatkan sebesar 0,675 yang berarti bahwa sebanyak 67,5% variabel disiplin mampu dijelaskan oleh variabel lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik, sedangkan sisanya sebanyak 32,5% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dijelaskan dalam penelitian ini.

Hasil uji hipotesis variabel lingkungan kerja fisik terhadap variabel disiplin diperoleh nilai t<sub>hitung</sub> sebesar 5,891. Sedangkan nilai nilai t<sub>tabel</sub> (0,05;46) adalah sebesar

2,012896. Sehingga jika dibandingkan nilai  $t_{hitung}$  lebih besar daripada nilai  $t_{tabel}$  (5,891>2,012896). Selain itu, nilai sig lebih kecil daripada 0,05 (0,000<0,05). Hal ini membuktikan bahwa hipotesis pertama diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh lingkungan kerja fisik terhadap disiplin.

Hasil uji hipotesis variabel lingkungan kerja non fisik terhadap variabel disiplin diperoleh nilai nilai  $t_{hitung}$  sebesar 3,049. Sedangkan nilai nilai  $t_{tabel}$  (0,05;46) adalah sebesar 2,012896. Sehingga jika dibandingkan nilai  $t_{hitung}$  lebih besar daripada nilai  $t_{tabel}$  (3,049>2,012896). Selain itu, nilai sig lebih kecil daripada 0,05 (0,004<0,05). Sehingga berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan bahwa hipotesis kedua diterima, yaitu lingkungan kerja non fisik berpengaruh secara signifikan terhadap disiplin.

*Analisis Pengaruh Secara Langsung Lingkungan Kerja Fisik, Lingkungan Kerja Non Fisik dan Disiplin terhadap Kinerja:* berdasarkan pengolahan data dengan analisis jalur (*path analysis*) dengan software SPSS didapatkan hasil sebagai berikut:

TABEL II  
HASIL ANALISIS PENGARUH LINGKUNGAN KERJA FISIK , LINGKUNGAN KERJA NON FISIK DAN DISIPLIN TERHADAP KINERJA

Variabel	Standardized Coefficients Beta	$t_{hitung}$	Sig
Lingkungan kerja fisik	0,373	3,078	0,004
Lingkungan kerja non fisik	0,295	2,959	0,005
Disiplin	0,317	2,386	0,021
R	0,868		
R square (R <sup>2</sup> )	0,753		
Adjusted R Square	0,736		

Tabel hasil analisis diatas menunjukkan hasil uji hipotesis lingkungan kerja fisik, lingkungan kerja non fisik dan disiplin terhadap kinerja. Diketahui bahwa nilai R square yang didapatkan sebesar 0,753 yang berarti bahwa sebanyak 75,3% variabel disiplin mampu dijelaskan oleh variabel lingkungan kerja fisik, lingkungan kerja non fisik dan disiplin. Sedangkan sisanya sebanyak 24,7% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dijelaskan dalam penelitian ini.

Hasil uji hipotesis variabel lingkungan kerja fisik terhadap variabel kinerja diperoleh nilai  $t_{hitung}$  sebesar 3,078. Sedangkan nilai nilai  $t_{tabel}$  (0,05;46) adalah sebesar 2,012896. Sehingga jika dibandingkan nilai  $t_{hitung}$  lebih besar daripada nilai  $t_{tabel}$  (3,078>2,012896). Selain itu, nilai sig lebih kecil daripada 0,05 (0,004<0,05). Berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan hipotesis ketiga diterima, bahwa lingkungan kerja fisik berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja.

Hasil uji hipotesis variabel lingkungan kerja non fisik terhadap variabel kinerja diperoleh nilai nilai  $t_{hitung}$  sebesar 2,959. Sedangkan nilai nilai  $t_{tabel}$  (0,05;46) adalah sebesar 2,012896. Sehingga jika dibandingkan nilai  $t_{hitung}$  lebih besar daripada nilai  $t_{tabel}$  (2,959>2,012896). Selain itu, nilai sig lebih kecil daripada 0,05 (0,005<0,05). Hal ini membuktikan bahwa hipotesis keempat diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa lingkungan kerja non fisik berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja.

Hasil uji hipotesis variabel disiplin terhadap variabel kinerja diperoleh nilai nilai  $t_{hitung}$  sebesar 2,386. Sedangkan nilai nilai  $t_{tabel}$  (0,05;46) adalah sebesar 2,012896. Sehingga jika dibandingkan nilai  $t_{hitung}$  lebih besar daripada nilai  $t_{tabel}$  (2,386>2,012896). Selain itu, nilai sig lebih kecil daripada 0,05 (0,021<0,05). Berdasarkan hasil diatas menunjukkan bahwa hipotesis kelima diterima, bahwa disiplin berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja.

*Analisis Pengaruh Tidak Langsung Lingkungan Kerja Fisik terhadap Kinerja melalui Disiplin:* untuk dapat mengetahui pengaruh tidak langsung variabel lingkungan kerja fisik terhadap

kinerja melalui variabel disiplin adalah dengan cara mengalikan hasil pengaruh langsung pada jalur yang dilewati sebagai berikut:

*Direct effect 1:* jalur pengaruh variabel lingkungan kerja fisik terhadap variabel disiplin ( $PY_1X_1$ )= 0,606

*Direct effect 2:* jalur pengaruh variabel lingkungan kerja fisik terhadap variabel kinerja ( $PY_2X_1$ )= 0,373

*Direct effect 3:* jalur pengaruh variabel disiplin terhadap variabel kinerja ( $PY_1Y_2$ ) = 0,317

*Indirect effect :*  $PY_1X_1 \times PY_2Y_1 = 0,606 \times 0,317 = 0,192$

*Total effect :*  $PY_2X_1 + (PY_1X_1 \times PY_1Y_2) = 0,373 + 0,192 = 0,565$

Berdasarkan perhitungan jalur diatas diketahui bahwa pengaruh variabel lingkungan kerja fisik terhadap kinerja melalui variabel disiplin memiliki nilai sebesar 56,5%. Pengaruh tidak langsung variabel lingkungan kerja fisik terhadap kinerja melalui disiplin lebih kecil daripada pengaruh langsung variabel lingkungan kerja fisik terhadap kinerja ( $0,192 < 0,373$ ) menunjukkan bahwa hipotesis keenam ditolak, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa disiplin tidak mampu memediasi pengaruh lingkungan kerja fisik terhadap kinerja.

*Analisis Pengaruh Tidak langsung Lingkungan Kerja Non Fisik terhadap Kinerja melalui Disiplin:* untuk dapat mengetahui pengaruh tidak langsung variabel lingkungan kerja fisik terhadap kinerja melalui variabel disiplin adalah dengan cara mengalikan hasil pengaruh langsung pada jalur yang dilewati sebagai berikut:

*Direct effect 1:* jalur pengaruh variabel lingkungan kerja non fisik terhadap variabel disiplin ( $PY_1X_2$ )= 0,341

*Direct effect 2:* jalur pengaruh variabel lingkungan kerja non fisik terhadap variabel kinerja ( $PY_2X_2$ )= 0,295

*Direct effect 3:* jalur pengaruh variabel disiplin terhadap variabel kinerja ( $PY_1Y_2$ ) = 0,317

*Indirect effect :*  $PY_1X_2 \times PY_2Y_1 = 0,341 \times 0,317 = 0,108$

*Total effect :*  $PY_2X_2 + (PY_1X_2 \times PY_1Y_2) = 0,295 + 0,108 = 0,403$

Berdasarkan perhitungan jalur diatas diketahui bahwa pengaruh variabel lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja melalui variabel disiplin memiliki nilai sebesar 40,3%. Selain itu dapat diketahui bahwa pengaruh tidak langsung variabel lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja melalui disiplin lebih kecil daripada pengaruh langsung variabel lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja ( $0,108 < 0,295$ ) menunjukkan bahwa hipotesis ketujuh ditolak, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa disiplin tidak mampu memediasi pengaruh lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja.

*R<sup>2</sup> Model :* Untuk perhitungan R<sup>2</sup> model dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R^2 \text{ model} &= 1 - ((1-R^2_1)(1-R^2_2)) \\ &= 1 - ((1-0,675)(1-0,753)) \\ &= 1 - 0,0803 \\ &= 0,9197 = 91,97\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan R<sup>2</sup> model diatas menunjukkan bahwa kontribusi model untuk menjelaskan hubungan struktural dari variabel lingkungan kerja fisik dan non fisik terhadap variabel kinerja melalui variabel disiplin adalah sebesar 91,97%. Dengan demikian model analisis jalur yang dihasilkan pada pengujian ini memenuhi nilai ketetapan model yang baik.

#### IV. PEMBAHASAN

Pada penelitian ini memiliki dua model jalur. Jalur pertama menjelaskan pengaruh lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik terhadap disiplin. Sedangkan jalur kedua menjelaskan pengaruh lingkungan kerja fisik, lingkungan kerja non fisik dan disiplin terhadap kinerja. Sehingga pada masing-masing model jalur dapat diketahui pengaruh langsung dan tidak langsung dari masing-masing variabel bebas dan variabel mediasi terhadap variabel terikat.

Lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik terbukti memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap disiplin. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian [4],[7], [8] dan [9]. Lingkungan kerja fisik dan non fisik yang kondusif dan nyaman akan meningkatkan semangat kerja karyawan. Manfaat lingkungan kerja adalah menciptakan gairah kerja, sehingga produktivitas dan prestasi kerja meningkat [13]. Lingkungan kerja yang buruk akan menimbulkan kecenderungan karyawan untuk bertindak tidak disiplin. Semakin buruk lingkungan kerja maka semakin rendah kemungkinan disiplin kerja yang dilakukan karyawan. [9]

Selain itu, lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik juga terbukti berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja. Hasil ini mendukung hasil penelitian yang telah dikemukakan sebelumnya oleh [5],[9],[10],[11],[12], dan [13]. Lingkungan kerja berada paling dekat dengan karyawan dalam melaksanakan pekerjaannya. Oleh karena itu diperlukan perhatian yang khusus dari perusahaan agar dapat memberikan dampak positif bagi kinerja karyawan [14].

Disiplin juga merupakan variabel yang terbukti berpengaruh secara positif dan signifikan terhadap kinerja. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian [2] dan [14]. Namun variabel disiplin ini tidak mampu memediasi lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik terhadap kinerja. Hal ini tidak sesuai dengan hasil penelitian [9] dan [13]. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun disiplin berpengaruh terhadap kinerja namun faktor disiplin tidak secara signifikan meningkatkan pengaruh lingkungan kerja fisik dan non fisik terhadap kinerja.

#### V. KESIMPULAN

Lingkungan kerja fisik, lingkungan kerja non fisik berpengaruh terhadap disiplin karyawan. Selain itu, lingkungan kerja fisik, lingkungan kerja non fisik dan disiplin juga berpengaruh terhadap kinerja karyawan. Hasil dalam penelitian ini patut menjadi masukan bagi perusahaan untuk memperhatikan faktor lingkungan kerja fisik dan lingkungan kerja non fisik yang mampu mendukung kinerja karyawan. Faktor kedisiplinan juga sebaiknya diperhatikan agar kinerja karyawan juga meningkat.

#### REFERENSI

- [1] AA. Mangkunegara, Manajemen Sumber Daya Manusia Perusahaan. Bandung: PT.Remaja Rosdakarya, 2016.
- [2] A. Ferawati, "Pengaruh Lingkungan Kerja dan Disiplin Kerja terhadap Kinerja Karyawan", Jurnal AGORA Vol.5, No.1.2017
- [3] Mathis and Jackson. Human Resources Management. Jakarta: Salemba Empat, 2011.
- [4] N. R.D. Inbar, E. S. Astuti, dan M. C. W. Sulistiyo, "Pengaruh Lingkungan Kerja terhadap Disiplin Kerja dan Semangat Kerja Karyawan", Jurnal Administrasi Bisnis Vol.58 no.2. Mei 2018
- [5] K. E. Prabaningtyas, I. Djastuti, "Analisis Pengaruh Lingkungan Fisik dan Lingkungan Non Fisik Terhadap Kinerja Karyawan dengan Motivasi sebagai Variabel Mediasi", Diponegoro Journal of Management, Vol.8, Nomor 4, halaman 1-12. 2019
- [6] M. Hasibuan, Manajemen Sumber Daya Manusia. Jakarta: Bumi Aksara. 2011
- [7] C. Dewi, Zunaidah, dan A. Cahyadi, "Pengaruh Lingkungan Kerja Fisik Terhadap Disiplin Kerja Guru Formal Madrasah Tsanawiyah Bina Bangsa di Pondok Pesantren Al-Falah Desa Suka Maju Kecamatan Sungai Lilin", Jurnal Ilmiah Manajemen Bisnis dan Terapan Vol.XIV, No.1, April 2019
- [8] K. Agustina, "Pengaruh Lingkungan Kerja Fisik dan Non Fisik Terhadap Disiplin Kerja Guru Tetap di SMP Negeri 3 Pontianak", Jurnal Manajemen Update, Vol.4, No.3. 2015
- [9] E. M. Putri, V. M. Ekowati, A. S. Supriyanto, Z. Mukaffi, "The Effect of Work Environment on Employee Performance Through Work Discipline", International Journal of Research Granthaalayah, Vol.7 (Iss.4), page 132-140. 2019. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i4.2019.882>.
- [10] Virgiyanti, B. S. Sunuharyo, "Pengaruh Lingkungan Kerja Fisik dan Non Fisik Terhadap Kinerja Karyawan", Jurnal Administrasi Bisnis, vol. 61 No. 2 . Agustus 2018.

- [10] B. Setiyadi, H. N. Utami, G. E. Nurtjahjono, "Pengaruh Lingkungan Kerja Fisik dan Non Fisik Terhadap Motivasi Kerja dan Kinerja Karyawan", *Jurnal Administrasi Bisnis*, Vol. 21 No.1. April 2015
- [11] Y. Yantika, T. Herlambang, Y. Rozzaid, " Pengaruh Lingkungan Kerja, Etos Kerja dan Disiplin Kerja Terhadap Kinerja Karyawan", *Jurnal Manajemen dan Bisnis Indonesia*, Vol.4 No.2. Halaman 174-188. Desember 2018
- [12] Imamullah, C. S. Hartati, Soenarmi, " Analisis Pengaruh Lingkungan Kerja dan Budaya Kerja Terhadap Kinerja Pegawai Melalui Kedisiplinan di Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Wilayah Kabupaten Sumenep", *Jurnal Mitra Manajemen*, Vol. 4 No.4 . April 2020
- [12] D. I. Suwondo, E. M . Sutanto, " Hubungan Lingkungan Kerja, Disiplin Kerja dan Kinerja Karyawan", *Jurnal Manajemen dan Kewirausahaan*, Vol. 17 No.2, Hal. 135-144. September 2015

# Perencanaan Kebutuhan Material Emergency Slide Raft Untuk Memenuhi Tingkat Safety Stock di PT.X

Primahasmi Dalulia

Jurusan Teknik Industri Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia  
[primahasmi.dalulia@unmer.ac.id](mailto:primahasmi.dalulia@unmer.ac.id) (Penulis Korespondensi)

*Abstrak*— *Emergency Slide Raft* adalah suatu komponen dalam pesawat yang berfungsi untuk penyelamatan darurat apabila terjadi pendaratan darurat. *Slide raft* termasuk jenis komponen *no go item*, yaitu apabila komponen ini tidak ada, pesawat tidak boleh terbang. Pesawat yang diperbolehkan terbang tanpa *slide raft* di area yang tidak terdapat *slide raft* harus dikosongkan yang dapat mengakibatkan *lost sales*. Pengadaan *Break Down Part* (BDP) yang menyusun komponen *slide raft* ini harus selalu ada tepat waktu dan akurat agar tidak menyebabkan *suspended component*, yaitu *component* yang tidak bisa di *overhaul* atau diperbaiki. Nilai kebutuhan BDP didapat dari perkalian antara jumlah *removal* komponen *slide raft* pada periode tertentu, *ratio* perencanaan jumlah pesawat pada periode tertentu (*fleet plan*), jumlah BDP dalam tiap komponen, dan probabilitas penggantian tiap BDP.

*Kata kunci*— *Break Down Part, Emergency Slide Raft, komponen, persediaan, safety stock*

*Abstract*— *Emergency Slide raft* is a component in an airplane functions as emergency rescuing when emergency landing occurs. *Slide raft* is considered as a *no-go item*, which means that if the component is not available in the airplane, the airplane will not be allowed to fly. Airplane that is allowed to fly without *slide raft* in the area where *no slide raft* is available must be emptied and this causes *lost sales*. Thus, provisioning of *Break Down Part* (BDP) that constructs *slide raft* component has always be available at any time and accurately to avoid *suspended component*, a component that cannot be *overhauled* or fixed. The value of the needed BDP is obtained from the multiplication of *slide raft removal* component in a certain period, the ratio of airplane quantity planning in a certain period (*fleet plan*), the value of BDP in every component, and the probability of replacement of every BDP.

*Keywords*— *Break Down Part, Component Emergency Slide Raft, inventory, safety stock*

## I. PENDAHULUAN

PT. X adalah suatu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak di bidang *maintenance, repair* dan *overhaul* (MRO) pada pesawat terbang. Salah satu bagian dari struktur organisasi PT.X adalah unit *Component Maintenance* atau yang biasa disebut dengan TC. Unit *Component Maintenance* ini, mempunyai sub unit yang menangani perencanaan dan pengendalian produksi untuk perbaikan komponen pesawat. Sub unit ini bernama *Component Maintenance Support* atau yang biasa disebut dengan TCS. TCS adalah suatu unit yang menangani perencanaan dan pengendalian produksi untuk perbaikan komponen pesawat. *Component* adalah bagian dari pesawat selain *engine* dan *aircraft*. Penggantian dilakukan apabila komponen atau perawatan sudah tidak bisa diperbaiki, komponen mudah didapat, penggantian dirasa lebih menguntungkan dibanding perbaikan dan penggantian tidak susah dilakukan. Pada kegiatan penggantian diperlukan *part* (*Break Down Part*) atau yang biasa disingkat dengan BDP, yang mendukung adanya kegiatan tersebut. BDP merupakan material atau part penyusun komponen. Part tersebut bisa berupa part yang sudah tersedia sebelumnya ataupun part yang harus terlebih dahulu dipesan dari *vendor*. Pada proses pengadaan dari part yang dibutuhkan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan kebutuhan BDP berdasarkan jenis komponennya. Pada PT. X, proses perhitungan kebutuhan BDP disebut dengan *provisioning*.

Aktivitas pemeliharaan memiliki berbagai definisi. Salah satu definisinya, menurut [1], pemeliharaan merupakan kegiatan yang sangat penting dilakukan dalam manajemen operasional yang bertujuan untuk memelihara kemampuan sistem dan mengendalikan

biaya sehingga sistem harus dirancang dan dipelihara untuk mencapai standar mutu dan kinerja yang diharapkan.

Kegiatan *maintenance* pesawat terbang meliputi, *repair*, *overhaul*, inspeksi dan modifikasi untuk mempertahankan kondisi pesawat terbang sehingga pesawat terbang layak dioperasikan. [2]. Aktivitas pemeliharaan *emergency slide raft* terdiri atas 3 jenis, yaitu *check*, *repair*, dan *overhaul*. *Check* adalah pengecekan kelayakan terbang komponen, termasuk inspeksi dan serangkaian tes untuk mencari apakah komponen berada dalam kondisi siap melanjutkan penerbangan [3].

Siklus material *planning* ini diawali dengan perhitungan jumlah *removal* komponen per tahun, dilakukan perhitungan kebutuhan material (BDP), pembelian material (BDP), kedatangan material, penggunaan material sampai pada *inventory*. *Removal* komponen adalah waktu turun komponen dari pesawat untuk diperbaiki pada *workshop*. Pada bagian dari siklus – siklus tersebut, selalu dilakukan control agar tidak terjadi kesalahan. Kesalahan yang sering terjadi adalah pada pengidentifikasian *removal plan*. Kesalahan mengidentifikasi *removal plan* ini berpengaruh terhadap kesalahan perencanaan material.

Salah satu komponen yang ditangani pada kegiatan provisioning ini adalah komponen berjenis *no go item*. Komponen *no go item* adalah komponen yang harus ada ketika pesawat diterbangkan, apabila komponen tersebut tidak tersedia, maka pesawat tidak diperbolehkan untuk terbang. Oleh karena itu perencanaan material (*provisioning*) harus dilakukan secara teliti untuk menghindari terjadinya *shortage* atau *surplus inventory*. Apabila part tidak tersedia ketika dibutuhkan, maka waktu untuk pengerjaan akan melebihi *Turn Around Time* (TAT). TAT adalah waktu komponen ketika turun dari pesawat, dibawa ke *workshop*, diperbaiki hingga komponen tersedia kembali untuk dipasang di pesawat. Setiap jenis komponen mempunyai standar TAT yang berbeda, bergantung pada proses perbaikan komponen tersebut. Standar TAT yang terpenuhi berdampak pada kepuasan konsumen dan terpenuhinya *service level*. Objek penelitian ini adalah *emergency slide raft*. *Emergency slide raft* adalah suatu komponen dalam pesawat yang berfungsi untuk penyelamatan darurat apabila terjadi pendaratan darurat. Komponen *emergency* digolongkan sebagai *no go item* karena pada saat pesawat terbang, komponen ini harus ada [4]. Apabila komponen ini tidak ada di salah satu bagian pesawat, maka pada bagian itu, kursi – kursi penumpang akan dikosongkan. Pengosongan kursi ini berdampak pada *lost sales* dari maskapai penerbangan tersebut. Oleh karena itu, komponen ini harus tetap terjaga keberadaannya di pesawat. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana merencanakan kebutuhan material (BDP) pada komponen *emergency slide raft* agar tidak terjadi peningkatan komponen yang *suspend* serta mendukung kelancaran proses produksi. Tujuan dari penelitian ini antara lain, menentukan metode penentuan *removal* sebagai input perencanaan kebutuhan BDP, merencanakan kebutuhan BDP untuk komponen *emergency slide raft*, menentukan jumlah pembelian material pada komponen *emergency slide raft*.

$$Q = \text{Removal} \times \text{fleet plan ratio} \times \text{qty per assy} \times \text{probability for replace} \quad (1)$$

Dengan nilai Q adalah jumlah kebutuhan material atau BDP. *Ratio fleet plan* didapatkan dari perbandingan jumlah pesawat tahun ini dengan tahun sebelumnya. *Ratio fleet plan* berfungsi sebagai faktor yang mengakomodasi perubahan jumlah pesawat. *Ratio fleet plan* dapat dicari dengan :

$$\text{Ratio Fleet Plan} = \frac{\text{Fleet Plan tahun ini}}{\text{Fleet Plan tahun sebelumnya}} \quad (2)$$

Quantity per assy adalah jumlah material (*break down part*) yang dibutuhkan untuk menyusun satu buah komponen, dalam hal ini *emergency slide raft*. *Probability for replace* adalah nilai probabilitas berapa kali suatu material dalam komponen mengalami penggantian ketika komponen tersebut mengalami shop visit atau perbaikan.

Persediaan pengaman (*Safety Stock*) adalah jumlah persediaan bahan minimum yang harus dimiliki oleh perusahaan untuk menjaga kemungkinan keterlambatan datangnya bahan baku, sehingga tidak terjadi stagnansi. *Safety stock* berfungsi untuk melindungi kesalahan dalam memprediksi permintaan selama lead time. Persediaan pengaman akan berfungsi apabila permintaan yang terjadi lebih besar dari nilai rata – rata tersebut.[5]

Menurut [6] *Erratic demand* adalah permintaan yang tidak mempunyai pola tertentu dan variabilitas permintaan per periode tinggi. Forecasting permintaan erratic bisa dilakukan dengan berbagai cara. Menurut [7], peramalan permintaan erratic bisa dilakukan dengan exponential smoothing, Croston method serta pengembangan dari Croston method yang disebut dengan *approximation method*. Dari ketiga metode tersebut dibandingkan nilai errornya. Nilai error yang paling kecil adalah metode *forecast* yang paling akurat. *Exponential Smoothing* Perhitungan peramalan dengan metode *exponential smoothing* adalah dengan menggunakan formula

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha) F_t \quad (3)$$

Dimana,

$F_{t+1}$  = Ramalan untuk periode berikutnya

$D_t$  = Demand aktual pada periode t

$F_t$  = Peramalan yg ditentukan sebelumnya untuk periode t.

Metode Croston digunakan untuk melakukan peramalan permintaan dengan karakteristik *lumpy demand*. *Lumpy demand* adalah nilai permintaan dimana banyak terdapat nilai nol dalam beberapa periode. Formulasi dalam metode Croston adalah [7] :

$p_t = p_{t+1}$

$z_t = z_{t+1}$

$q = q+1$

else

$p_t = p_{t+1} + \alpha(q - p_{t+1})$

$z_t = z_{t+1} + \alpha(y_t - p_{t+1})$

$q = 1$

Nilai *approximation method* dari Croston dapat dicari dengan

$$y_t = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{z_t}{p_t}$$

## II. METODE

Tahap awal dari pengolahan data ini adalah menentukan jumlah *removal overhauled* komponen *emergency slide raft* pada setiap periode. Jumlah *removal* dicari dengan dua macam cara. Cara pertama adalah melakukan peramalan *removal* dari data *historical removal*. Data *historical removal* disetarakan dengan data permintaan karena *removal* dalam arti lain adalah permintaan akan suatu komponen untuk dipasang di pesawat ketika komponen di dalamnya diperbaiki. Cara kedua adalah melakukan *record* terhadap data *removal* pada *digital filling* PT.X yang ada pada AAT (*Airworthiness Approval Tag*) yaitu sertifikat yang menandakan bahwa komponen tersebut telah selesai diperbaiki (*serviceable*). Dari kedua metode ini dibandingkan mana yang sesuai untuk menentukan jumlah *removal*. Jumlah *removal* yang digunakan untuk perencanaan jumlah material (BDP) dipengaruhi oleh perubahan perencanaan jumlah pesawat (*fleet plan*) yang akan didekati *fleet plan ratio*. *Fleet plan ratio* ini berbeda untuk setiap jenis pesawat. Jumlah *removal* komponen dikalikan

dengan *fleet plan ratio* per periode digunakan sebagai input untuk menentukan kebutuhan BDP per periode. [8]

Setelah diketahui jumlah kebutuhan BDP pada tiap periode, dilakukan penelusuran terhadap *historical demand* dari masing – masing BDP tersebut untuk menghitung *safety stock* masing – masing BDP tersebut..

## II. HASIL

### I. Peramalan *Removal* Komponen

Setelah dilakukan peramalan *removal* dengan menggunakan *exponential smoothing*, dilakukan perbandingan dengan data *removal* dari AAT [8]. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan antara data *removal* hasil peramalan dengan *removal* AAT. Apabila kedua *removal* tersebut tidak berbeda atau perbedaan yang ada sangat kecil, *removal* hasil peramalan dapat digunakan. Perbandingan untuk mengetahui perbedaan kedua cara ini dilakukan dengan Anova one way dengan menggunakan software Minitab. Hipotesa untuk perbandingan ini adalah *smoothing*, Croston dan *approximation method*. Dengan  $H_0$  = Tidak ada perbedaan antara *removal exponential smoothing* dan *removal AAT*.

$H_a$  = Ada perbedaan antara kedua metode tersebut.

Nilai p value untuk perbandingan kedua metode pada tiap komponen dapat dilihat pada Tabel II

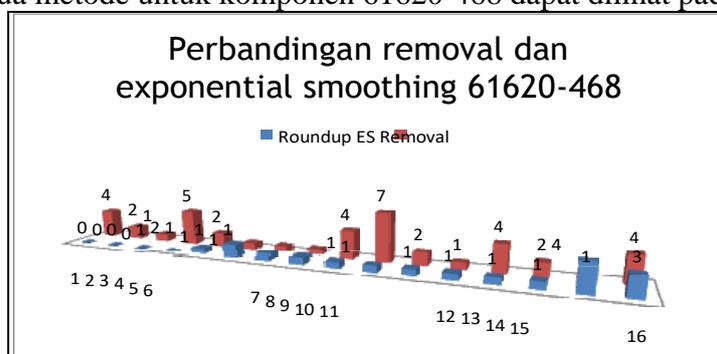
TABEL I  
PERBANDINGAN HASIL FORECAST

Periode	Demand 61620-468	Ft						
		ES	q	pt	zt	Croston	Approximation	
1	0	0	1	0	0	0	0	
2	0	0	2	0	0	0	0	
3	0	0	3	0	0	0	0	
4	2	0	1	0.3	0.6	2	1.7	
5	3	0.6	1	0.51	1.32	2.588.235	2.2	
6	0	1.32	2	0.51	1.32	2.588.235	2.2	
7	0	0.924	3	0.51	1.32	2.588.235	2.2	
8	0	0.6468	4	0.51	1.32	2.588.235	2.2	
9	0	0.45276	5	0.51	1.32	2.588.235	2.2	
10	0	0.316932	6	0.51	1.32	2.588.235	2.2	
11	0	0.221852	7	0.51	1.32	2.588.235	2.2	
12	1	0.155297	1	0.657	1.224	1.863.014	1.583.561.644	
13	2	0.408708	1	0.7599	14.568	1.917.094	1.629.530.201	
14	11	0.886095	1	0.83193	431.976	5.192.456	4.413.587.682	
15	0	3.920.267	2	0.83193	431.976	5.192.456	4.413.587.682	
16	4	2.744.187	1	0.882351	4.223.832	478.702	4.068.967.112	
		8.676.631				3.387.723	2.879.564.664	
MAD		0.542289				2.117.327	1.799.727.915	

TABEL II  
HASIL HIPOTESIS TIAP KOMPONEN

Komponen	P-value	Keterangan
101659-203	0.325	Tdk ada perbedaan
101659-205	0.059	Tdk ada perbedaan
10-1659-205AD	0.658	Tdk ada perbedaan
101660-103	0.559	Tdk ada perbedaan
10-1660-103AD	0.559	Tdk ada perbedaan
5A3307-5	0.154	Tdk ada perbedaan
60B50087-7	0.325	Tdk ada perbedaan
61620-468	0.008	Ada perbedaan
61621-469	0.124	Tdk ada perbedaan
7A1323-113	1	Tdk ada perbedaan
7A1418-21	0.325	Tdk ada perbedaan
7A1418-22	0.002	Ada perbedaan
7A1418-23	0.325	Tdk ada perbedaan
7A1418-24	0.325	Tdk ada perbedaan
7A1467-21	0.207	Tdk ada perbedaan
7A1467-22	0.002	Ada perbedaan
7A1467-23	0.325	Tdk ada perbedaan
7A1467-24	0.024	Ada perbedaan
7A1469-14	0.061	Tdk ada perbedaan

Perbandingan kedua metode tersebut dapat dilakukan dengan melakukan plotting data pada histogram untuk mengetahui persebaran *removal*. Apabila persebarannya terhadap rentang waktu dan jumlah berbeda, metode peramalan tidak dapat digunakan. Apabila persebarannya tidak jauh berbeda, metode peramalan dapat digunakan. Histogram persebaran waktu *removal* kedua metode untuk komponen 61620-468 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan Removal

Dari Gambar 1 terlihat bahwa persebaran *removal* terhadap waktu pada kedua metode tidak sama, pada metode *removal*, *removal* komponen tersebut tersebar pada semua periode dengan jumlah *removal* yang relatif tinggi pada tiap periode. Sedangkan pada metode *exponential smoothing*, persebaran *removal* tidak merata pada setiap periodenya dan jumlahnya jauh lebih sedikit dari pada *removal* aktual. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya *suspended* komponen akibat kesalahan pada peramalan *removal*. Dengan demikian, perhitungan kebutuhan material menggunakan data *removal actual* dari AAT sebagai input. Hal ini menghindari terjadinya keterlambatan pengerjaan komponen persebaran waktu *removal* yang berbeda antara metode *exponential smoothing* dan *removal actual* dari AAT.

## II. Perencanaan Material

Berikut adalah contoh perhitungan untuk kebutuhan material pada salah satu komponen, yaitu *emergency slide raft* dengan part number 61620-468 untuk kebutuhan material pada

bulan Januari. Formula yang digunakan dalam perhitungan ini adalah formula 1. Perhitungan kebutuhan material pada komponen *emergency slide raft* yang lain akan disajikan dalam Tabel III

Dengan,

Jumlah removal pada Januari = 3 Fleet Plan ratio untuk B737 C = 0.51

1. Kebutuhan material cement (M11628)  $Q = 3 \times 0.51 \times 1 \times 10 \% = 1$
2. Kebutuhan material Frangible link (C19347-104)  $Q = 3 \times 0.51 \times 3 \times 50 \% = 3$
3. Kebutuhan material Frangible link (C19347-105)  $Q = 3 \times 0.51 \times 2 \times 50 \% = 2$
4. Kebutuhan material Frangible link (C19347-119)  $Q = 3 \times 0.51 \times 1 \times 50 \% = 1$

Berikut adalah ringkasan kebutuhan material untuk komponen yang di-overhaul *emergency slide raft* dengan part number 61620-468 pada bulan Januari.

TABEL III  
KEBUTUHAN MATERIAL 61620-48

Fleet Plan ratio	Removal	BDP PART NUMBER	DESCRIPTION	Qty Assy	Probability for Replace	Total qty required
		M11628	Cement	1	10%	1
		C19347-104	Frangible Link	3	50%	3
		C19347-105	Frangible Link	2	50%	2
		C19347-119	Frangible Link	1	50%	1
		B14056-912	O Ring	1	100%	2
		B14056-916	O Ring	2	100%	4
		B14056-904	O Ring	1	100%	2
		B18115-1	Seat Ball (B14246-1)	1	25%	1
		B13984-3	Fusible Plug	1	25%	1
		B14056-906	O Ring (see 1000-0030-906)	1	100%	2
0.51	3	1054-0001-002	Filler Valve	1	25%	1
		B14056-015	O Ring (see 1000-0030-15)	1	100%	2
		64236-3	Reservoir	1	20%	1
		B14056-008	O Ring	1	100%	2
		1002-0030-008	Back up Ring	1	100%	2
		B14268-1	Rupture Disc	1	10%	1
		B14056-112	O Ring	1	100%	2
		B14056-019	O Ring (see 1000-0030-19)	1	100%	2
		B42099SP1	Seat Ball	1	25%	1

### III. Perhitungan *Safety Stock*

Contoh perhitungan *safety stock* dilakukan untuk BDP O ring (B14056-912) pada *emergency slide raft* dengan *part number* 61620-468 dengan nilai  $Q = 2$ . Data *historical demand* dari BDP O ring (B14056-912). Nilai *service level* yang diinginkan adalah 99%, maka nilai  $Z$  nya adalah 2,32. Dari Tabel IV, didapatkan standar deviasi 2,644.

TABEL IV  
HISTORICAL DEMAND O-RING

Bulan	Demand
Jan	1
Feb	4
Mar	4
Apr	7
May	2
Jun	8
Jul	6
Aug	2
Sep	5
Oct	1
Nov	0
Dec	1

Nilai *Safety Stock*

$$\begin{aligned} SS &= Z \times Sd \times (1) \\ &= 2.32 \times 2.644 \times 1 \\ &= 7 \end{aligned}$$

Dari perhitungan *safety stock* untuk BDP O ring (B14056-912) didapatkan bahwa nilai *safety stock* yang harus tersedia untuk BDP tersebut adalah 7 buah. Nilai *service level* 99% menunjukkan bahwa pengadaan material untuk komponen *emergency slide raft* diharapkan tidak terjadi *shortage*. *Shortage* material ini akan menyebabkan adanya *suspended component* yang dapat mengakibatkan terganggunya keberadaan *emergency slide raft* pada pesawat. Jumlah material lebih baik berlebih daripada terjadi kekurangan. Hal ini untuk tetap menjaga keberadaan *emergency slide raft* di dalam pesawat.

### IV. PEMBAHASAN

Dari perbandingan – perbandingan yang dilakukan, dapat dilihat bahwa penggunaan metode *exponential smoothing* tidak begitu sesuai dengan kondisi aktual. Perbandingan tidak dapat hanya dilakukan dengan menggunakan nilai  $p$  value sebagai parameter, meskipun pada perbandingan *removal* semua komponen sebagian besar adalah terima  $H_0$ , namun ketika dibandingkan dengan histogram untuk melihat persebarannya terhadap waktu, metode *exponential smoothing* jauh berbeda dengan *removal actual*.

Penentuan *removal* harus dilakukan dengan tepat agar tidak terjadi kesalahan dalam melakukan perhitungan kebutuhan material. Kesalahan dalam perhitungan kebutuhan material akan mengakibatkan adanya *suspended component* dan kemunduran *Turn Around Time* pengerjaan komponen. *Suspended component* dan kemunduran *Turn Around Time* berpengaruh terhadap produktivitas *Emergency Work Center* dan unit *Electro Mechanical Component Maintenance* (TCE).

Dengan demikian, perhitungan kebutuhan material menggunakan data *removal actual* dari AAT sebagai input. Hal ini menghindari terjadinya keterlambatan pengerjaan komponen persebaran waktu *removal* yang berbeda antara metode *exponential smoothing* dan *removal actual* dari AAT.

Komponen emergency slide raft merupakan jenis hard time component. Hard time component adalah komponen yang waktu removal nya sudah pasti karena umur komponen itu sendiri atau karena umur *Break Down Part* (BDP) yang menyusun komponen tersebut. Umur BDP yang mempengaruhi turunnya komponen emergency slide raft antara lain adalah umur *slide raft* itu sendiri, ,apabila umur *emergency slide raft (time since new)* sudah 15 tahun, maka emergency slide raft akan turun ke workshop setiap tahun untuk dikenai *annually inspection*. [8]. Selain itu, *removal emergency slide raft* juga dipengaruhi oleh umur material (*break down part*) penyusunnya. BDP penyusun *emergency slide raft* yang mempengaruhi removal antara lain survival kit, reservoir atau regulator, baterai atau power unit. Umur dari masing – masing material ini bervariasi berdasarkan tahun pembuatan dan produsennya. Namun, perhitungan *removal* ini tidak dapat dilakukan secara manual dengan cara menambahkan tanggal install yang terdapat di SAP dengan umur BDP penyusunnya. Terdapat ketidakcocokan apabila dibandingkan dengan waktu removal berdasarkan AAT (*Airworthiness Approval Tag* ).

Perencanaan kebutuhan material adalah perhitungan berapa jumlah material yang dibutuhkan dalam setiap periode tertentu serta berapa jumlah material yang harus dibeli.[9] Nilai perhitungan kebutuhan material (BDP) ini tidak merata pada setiap periodenya..

Input perhitungan kebutuhan ini adalah jumlah removal komponen pada periode tersebut kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan *bill of material* yang ada. Perhitungan dilakukan dengan cara mengalikan jumlah removal komponen *emergency slide raft* dengan *ratio fleet plan, quantity per assembly* dan *probability for replace*. Dari hasil perhitungan jumlah kebutuhan material, untuk mengetahui jumlah material yang harus dibeli dengan cara membandingkan nilai kebutuhan dengan nilai safety stock dan nilai current stock. [10].

Nilai kebutuhan BDP dari komponen *emergency slide raft* tidak merata pada tiap periodenya. [11]. Penyediaan BDP untuk suatu komponen tidak dapat disediakan dalam setiap waktu, kecuali untuk komponen yang sering mengalami removal. Komponen yang sering *removal* dapat dilihat dari data historis *removal* komponen tersebut. Sehingga untuk BDP dari komponen tersebut sebaiknya disediakan pada tiap periodenya. Pada komponen *emergency slide raft*, komponen yang jumlah *removal* nya merata pada tiap periodenya misalnya adalah komponen *emergency slide raft* dengan part number 61620-468 dan 61620-469.

Pada perhitungan *safety stock*, perhitungan dilakukan dengan kondisi bahwa permintaan bervariasi tiap periodenya dan *lead time* yang konstan. Hal ini dapat dilihat dari data *historical usage* dari BDP. *Lead time* pada proses pengadaan material pada PT.X adalah 30 hari atau satu bulan. *Lead time* ini diasumsikan sama untuk tiap BDP, hal ini dikarenakan semua BDP memiliki *lead time* yang sangat beragam dan jumlah BDP yang banyak variasinya. *Lead time* sepanjang 30 hari ini sudah termasuk proses administrasi pembelian material oleh PT.X maupun proses kedatangan material dari *vendor* ke gudang.

Nilai *service level* dalam penentuan *safety stock* adalah 99%. Menurut bagian purchasing yang menangani pembelian BDP dari komponen, *service level* yang ada selama ini adalah sekitar 70%. Dengan nilai *service level* sebesar 99% harapannya tidak lagi terjadi *shortage*, yang dapat menyebabkan *suspended component*. Selain itu nilai *service level* yang tinggi mengindikasikan bahwa pengadaan material untuk komponen *emergency slide raft* tidak boleh terjadi *shortage*. Hal ini disebabkan, keberadaan komponen *emergency slide raft* di pesawat sangatlah penting karena *emergency slide raft* tergolong dalam *no go item*.

Perhitungan nilai kebutuhan material pada umumnya dilakukan dengan cara peramalan atau *forecast*. Pada komponen *emergency slide raft*, kebutuhan BDP sangat tergantung pada jumlah removal komponen tersebut. Pada suatu komponen *emergency slide raft* yang mempunyai waktu *removal* yang sudah pasti.

## V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah bahwa penentuan removal komponen tidak dapat dilakukan dengan menggunakan peramalan dengan metode *exponential smoothing*. Metode ini dilihat dari output ANOVA tidak berbeda signifikan dengan metode *actual removal* dari AAT. Kebutuhan *Break Down Part* (BDP) untuk komponen *emergency slide raft* bergantung pada removal komponen tersebut per periodenya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada PT. X yang telah memberikan kesempatan dalam pengambilan data dan Program Studi Teknik Industri Unmer Malang yang telah memberikan kesempatan untuk mengikuti seminar nasional SISTEK.

## REFERENSI

- [1] Dwiningsih, N. 2007. Pemeliharaan Reliabilitas serta Konsep Manajemen Proyek. Bahan Ajar Mata Kuliah STEKPI, Jakarta.
- [2] Li, Rui, et al, (2020). Toward a Methodology of Requirements Definition for Prognostics and Health Management System to Support Aircraft Predictive Maintenance. *Aerospace Science and Technology*.
- [3] Kilpi, J. 2008. Sourcing of Availability Services: Case Aircraft Components Support. E-Version Helsinki School of Economics Working Paper. Finlandia: HSE Print 2008.
- [4] Skultety, Filip and Natalia Stalmasekova, (2018). Pre-Flight Inspection of Aircraft Emergency Equipment via RFID Technology. *International Conference on Air Transport. Transportation Research Procedia* 35. Page 279-286.
- [5] Pujawan, I N. (2017). *Supply Chain Management Edisi Pertama*. Surabaya Indonesia: Guna Widya.
- [6] Eaves, Andrew. 2002. *Forecasting, Ordering and Stock Holding for Erratic Demand*. Lancaster University
- [7] Ghobbar, A.A. dan Friend, C.H. (2002). Sources of Intermittent Demand for Aircraft Spareparts within Airline Operations. *Journal of Air Transport Management* 8 Page 221-331
- [8] Amala, B. (2009). Pengembangan Alat Bantu Pengambilan Keputusan Pengelolaan Sparepart pada Provisioning 737 NG (Studi Kasus PT. GMF Aeroasia). Tugas Akhir Teknik Industri, Surabaya
- [9] Melis, Damien J. et al, (2020). The Effect of Airline Passanger Anthropometry on Aircraft Emergency Evacuations. *Safety Science* Volume 128.
- [10] Silver, E, dkk. (1998). *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*. Edisi Kedua. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [11] Vinh, dang Quang. Forecasting Irregular Demand for Spare Parts Inventory. Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Busan 609 735. Korea.

# Pendekatan *Periodic Review System* Suku Cadang Mesin PLTU.

Vetty Kartikasari

Jurusan Teknik Industri Universitas Merdeka Malang

Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia

vetty.kartikasari@unmer.ac.id

*Abstrak— Mesin PLTU di PG X berperan mendistribusikan 90% aliran listrik dilingkup produksi. Oleh sebab itu pemeliharaan mesin PLTU mendapat perhatian agar operasional berlangsung dengan baik. Untuk menjaga performansi dan keandalan mesin PLTU PG X melakukan pemeliharaan diantaranya melalui preventive maintenance (planned maintenance) dan corrective maintenance (unplanned maintenance) dan salah satu faktor berhasilnya maintenance yakni availability suku cadang dalam jumlah yang memadai. Permasalahan yang sering terjadi pada kegiatan MRO adalah terkait pengendalian persediaan suku cadang, situasi overstock maupun shortage merupakan kondisi yang ingin dicegah oleh perusahaan melalui manajemen persediaan yang efektif dan efisien. Suku cadang consumable kelas B pada mesin PLTU, beberapa periode terakhir mengalami shortage saat diperlukan dalam corrective maintenance. Penundaan perbaikan karena menunggu pemesanan dan pengiriman suku cadang membuat aktivitas produksi terhambat. Dampaknya adalah pada service level perusahaan yang rendah serta terhambatnya kegiatan operasional seperti memanjangnya waktu produksi. Hal ini terkait kebijakan perusahaan yang tidak ingin menyimpan suku cadang kelas B dan C sebagai inventory. PG X tidak memiliki sistem persediaan yang baik untuk mengatasi permasalahan ini. Penelitian ini bertujuan memberikan usulan dengan membandingkan metode perusahaan dengan pendekatan periodic review system untuk menghitung biaya yang lebih efisien diantara keduanya. Periodic Review digunakan untuk mengatasi permasalahan dengan menentukan interval review secara teratur dan tetap pada periode (T), menentukan order quantity (Q) sehingga mencapai level persediaan maksimum (R) yang optimal dan biaya persediaan yang minimum. Hasil perhitungan biaya persediaan dengan pendekatan periodic review system untuk untuk 3 jenis suku cadang kelas B mesin PLTU didapat penghematan biaya pada persediaan suku cadang Gland 25%, Limit Switch 34%, dan Pressure Switch 3% dibandingkan metode persediaan di perusahaan.*

**Kata Kunci :** *Corrective Maintenance, Suku Cadang, Periodic Review*

*Abstract— The PLTU machine at PG X plays a role in distributing 90% of the electricity in production. Therefore, the maintenance of PLTU machines gets attention so that operations can run well. To maintain the performance and reliability of the PG X PLTU machine, maintenance is carried out through preventive maintenance (planned maintenance) and corrective maintenance (unplanned maintenance) and one of the factors in successful maintenance is the availability of spare parts in sufficient quantities. Problems that often occur in MRO activities are related to spare parts inventory control, overstock and shortage situations are conditions that companies want to prevent through effective and efficient inventory management. Spare parts consumable class B on PLTU machines, the last few periods have experienced shortages when needed in corrective maintenance. Delays in repairs due to waiting for ordering and delivery of spare parts hampered production activities. The impact is on the company's low service level as well as delays in operational activities such as lengthening production time. This is related to the company's policy of not wanting to store class B and C spare parts as inventory. PG X doesn't have a good inventory system to solve this problem. This study aims to provide a suggestion by comparing the company method with the periodic review system approach to calculate a more efficient cost between the two. Periodic Review is used to solve the problem by determining the regular and fixed review interval at period (T), determining the order quantity (Q) so as to achieve optimal maximum inventory level (R) and minimum inventory costs. The results of the calculation of inventory costs using the periodic review system approach for 3 types of class B spare parts for the PLTU engine, obtained cost savings on Gland spare parts inventory of 25%, Limit Switch 34%, and Pressure Switch 3% compared to the company's inventory method.*

**Keywords:** *Corrective Maintenance, Spare Parts, Periodic Review*

## I. PENDAHULUAN

Manajemen persediaan yang efektif dan efisien merupakan salah satu hal yang menjadi perhatian perusahaan, mulai dari perusahaan manufaktur, jasa, konstruksi, telekomunikasi, transportasi dan lain sebagainya. Berbeda dengan persediaan *work in process* (WIP), *raw material* ataupun *finish good* yang tinggi rendahnya dipengaruhi permintaan dan laju produksi, suku cadang disimpan untuk mendukung aktivitas perbaikan dan pemeliharaan [1].

Pemasalahan persediaan merupakan fenomena tersendiri bagi perusahaan, keadaan *overstock* maupun *shortages* pada persediaan merupakan kondisi yang tidak diinginkan oleh perusahaan. Status *overstock* kadang terjadi untuk mencegah risiko *shortage*, namun disisi

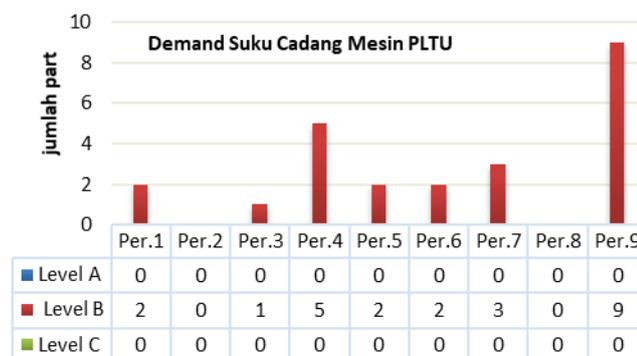
lain justru membebani *financial* perusahaan. Sedangkan tidak mempunyai stok persediaan yang cukup juga akan menghambat kelancaran operasional perusahaan terutama jika terjadi kerusakan dan perlu penggantian *part*. Dalam perencanaan persediaan yang bersifat *probabilistic* terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti *leadtime* (l), jumlah pemesanan ekonomis (Q), interval waktu pemesanan (T) dan *safety stock* (SS). Pada proses perencanaan pengadaan suku cadang, *purchase requisition* (PR) harus mulai diterbitkan jika stok mencapai titik *level* yang disebut *Re-Order Point* (ROP). Kondisi *probabilistic* pada variabel *leadtime* dan *demand* menjadi parameter penting dalam memilih dan mempertimbangkan model persediaan yang tepat.

PG X merupakan BUMN yang memproduksi dan mensupply kebutuhan gula skala lokal. Dalam operasionalnya PG X memakai mesin PLTU sebagai pemasok 90% aliran listrik diperusahaan. Karena peran vital mesin PLTU tersebut, maka performansi serta keandalan mesin diharapkan dalam keadaan prima dan terjaga. Salah satu faktor yang diperlukan dalam menjaga peralatan adalah dengan melakukan MRO (*Maintenance Repair Overhaul*) dimana keberhasilan MRO perlu ditunjang *availability* suku cadang dalam jumlah tertentu saat dibutuhkan. Berdasarkan jenisnya kelompok suku cadang dapat dibedakan menjadi 3 yaitu *repairable*, *rotable* dan *consumeable* [2].

Dari 50 jenis suku cadang *consumeable* mesin PLTU di PG X diklasifikasikan berdasarkan *criticality* levelnya yaitu suku cadang kelas A yang merupakan komponen sangat kritis sehingga persediaannya wajib dimonitor secara intensif karena dapat menyebabkan *plant stop* dan kehilangan kesempatan produksi. Suku cadang kelas B disebut sebagai komponen kritis, meskipun tidak sekritis suku cadang kelas A tetapi dapat menyebabkan *unit derating* (mengancam derating) dan suku cadang kelas C merupakan komponen dengan *criticality level* rendah dimana *availability*-nya tidak berdampak langsung bagi operasi. Dari kelompok suku cadang tersebut diatas, masing-masing terdiri 10 suku cadang kelas A, 15 suku cadang kelas B dan 25 suku cadang kelas C.

PG X menerapkan *preventive maintenance* yang terschedule dari *maintenance* rutin yang bersifat ringan hingga *overhaul* selama 6 bulan sekali untuk memastikan keadaan mesin dalam kondisi prima saat berproduksi (musim giling). Permasalahan yang terjadi pada kegiatan MRO sering berkaitan dengan pengendalian persediaan suku cadang. Kondisi dilapangan sangat erat dengan ketidakpastian, membuat perusahaan harus memikirkan *availability* suku cadang untuk mensupport aktivitas MRO, karena probabilitas *failure* pada fungsi mesin ketika produksi dan memerlukan perbaikan serta *replacement* suku cadang akan selalu ada.

Menurut catatan perusahaan terdapat beberapa kali *failure* pada komponen mesin PLTU dan memerlukan *replacement* suku cadang seperti pada gambar 1



Gambar 1. Grafik Demand Suku Cadang Mesin PLTU

Gambar 1 menampilkan informasi bahwa suku cadang kelas A dan B belum pernah *shortage* saat musim giling (produksi) dalam beberapa periode terakhir, sedang untuk suku cadang kelas B hampir disetiap periode terdapat kejadian *failure* dan memerlukan *replacement* suku cadang. Tabel 1 menunjukkan rincian *demand* dari suku cadang kelas B namun dalam kondisi *shortage* karena status *inventory* pada item material tersebut *stockout* digudang.

TABEL I  
DEMAND SUKU CADANG KELAS B MESIN PLTU

Periode	Corrective maintenance		
	Frekuensi	Jenis Suku cadang	Stock
I	2	Gland Oli	0
II	0	-	0
III	1	Pressure Switch	0
IV	5	Gland Oli	0
V	2	Limit switch	0
VI	2	Pressure Switch	0
VII	3	Gland Oli	0
VIII	0	-	0
IX	9	Limit Switch	0

Pada Tabel 1 terjadi beberapa kali *failure* pada mesin PLTU selama proses giling dan memerlukan tindakan *replacement* pada 3 jenis suku cadang kelas B. Proses perbaikan sering tertunda cukup lama karena perusahaan tidak memiliki *stock* di gudang sehingga untuk *replacement* menunggu pemesanan dan pengiriman dari *supplier* dengan *leadtime* 60 hari. Disamping itu parameter kebijakan suku cadang *consumeable* pada mesin PLTU di PG X ditentukan berdasarkan pendekatan *best practice*.

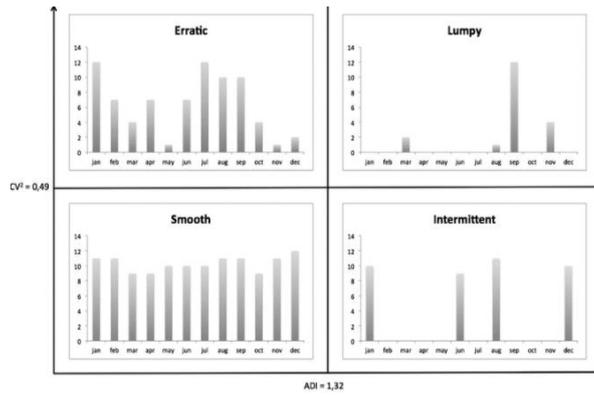
Faktanya PG X mengalami permasalahan dan kesulitan dalam menetapkan kebijakan pengendalian persediaan suku cadang kelas B secara efektif dan efisien. Permasalahan tersebut terkait bagaimana menentukan interval waktu pemesanan (T), jumlah pemesanan ekonomis (Q), titik kelas pemesanan (ROP) serta nilai *inventory level* maksimum sehingga dapat memenuhi *service kelas* (Z) yang diharapkan perusahaan dengan *minimum cost*. Kondisi *demand* yang tidak merata dalam waktu dan jumlah, ditengarai menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kesulitan dalam mengestimasi jumlah suku cadang kelas B untuk *corrective maintenance*, sehingga perlu dilakukan pemilihan model *forecasting* sesuai pola dan karakteristik *demand*. Penelitian ini bertujuan memberikan usulan solusi pengendalian persediaan suku cadang kelas B yang tepat bagi perusahaan sehingga didapatkan level *inventory* maksimum dan *cost* yang minimum.

## II. METODE

Objek dalam penelitian ini adalah suku cadang kelas B pada mesin PLTU di PG X yang sering *stockout* ketika memerlukan *replacement*, pada saat dilakukan *corrective maintenance*. Beberapa tahap yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan di PG X untuk menentukan persediaan suku cadang kelas B dalam *support* aktivitas *corrective maintenance* adalah sebagai berikut:

### A. Klasifikasi *Demand Pattern*

Pengklasifikasian *demand* bertujuan untuk mengetahui pola *historical* data sehingga dapat ditetapkan metode *forecasting* yang tepat dan sesuai pola data. Berdasarkan *interval* kemunculan permintaan, suatu material dapat digolongkan menjadi *Continuous* material maupun *Intermittent* material. Selanjutnya berdasarkan *pattern material* dapat diklasifikasikan menjadi 4 *demand pattern* [3] seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Demand Patern Material

Berdasarkan grafik diatas klasifikasi *demand patern* terbagi menjadi 4 yaitu

1) *Intermittent demand*

Permintaan tiap periode relatif tetap dan terdapat banyak periode tanpa permintaan, cenderung tidak fluktuatif (Jika  $CV \leq 0.49$  dan  $ADI > 1.32$ )

2) *Erratic demand*

Permintaan dengan pola tidak menentu dan ditandai dengan tingginya variasi ukuran permintaan tiap periode (Jika  $CV > 0.49$  dan  $ADI \leq 1.32$ )

3) *Lumpy demand*

Permintaan nol secara acak dalam jangka waktu yang panjang dan memiliki kecenderungan permintaan yang fluktuatif ( Jika nilai  $CV > 0.49$  nilai  $ADI > 1.32$ )

4) *Slow Moving*

Variasi *demand* kecil, antara kebutuhan dan kuantitas permintaan (Jika  $CV \leq 0.49$  dan  $ADI \leq 1.32$ ).

Klasifikasi material berdasarkan pola pemakaiannya dapat dilihat dari nilai ADI (*Average Demand Interval*) yang menunjukkan rentang ukuran permintaan rata-rata pada periode tertentu dan CV (*Coefficient of Variations*) [4]. Nilai ADI dan CV dihitung dengan persamaan :

$$ADI = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad (1)$$

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\epsilon_i - \bar{\epsilon})^2}{N}}}{\bar{\epsilon}} \quad (2)$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{\sum_{i=1}^N \epsilon_i}{N} \quad (3)$$

Keterangan

$\epsilon_i$  = Demand periode i

$\bar{\epsilon}$  = Rata-rata *demand* semua periode

B. Metode Croston's

Dari hasil klasifikasi demand maka dapat dipilih metode *forecasting* yang sesuai dengan *demand pattern*. Croston's menggunakan perhitungan jumlah permintaan dengan mempertimbangkan waktu *interarrival* antara permintaan dan dianggap dapat menangani kesulitan untuk pola permintaan *intermittent* [5]. Metode ini dapat dipakai untuk permintaan yang bersifat lumpy dengan memisahkan permintaan yang diperbarui ( $Z_t$ ) dan interval permintaan ( $q$ ). Pada periode t jika tidak ada permintaan pada periode tersebut maka estimasi besarnya permintaan dan waktu *interarrival* pada akhir waktu t,  $Z_t$  dan masing-masing tetap tidak berubah. Persamaan 4 berikut adalah formulasi dari model Croston's

$$\begin{aligned}
p_t &= p_{t+1} \\
z_t &= z_{t+1} \\
q &= q + 1 \\
&\text{else} \\
p_t &= p_{t+1} + \alpha(q - p_{t+1}) \\
z_t &= z_{t+1} + \alpha(y_t - p_{t+1}) \\
q &= 1 \\
\hat{y}_t &= \frac{z_t}{p_t}
\end{aligned} \tag{4}$$

Keterangan:

$Y_t$  = *Demand* material pada periode t

$p_t$  = Rata-rata interval antar transaksi

$z_t$  = Rata-rata ukuran *demand*

$\hat{y}_t$  = Rata-rata *demand* tiap periode (*forecast*)

$q$  = Interval waktu sejak *demand* terakhir

$\alpha$  = *Smoothing constant*

### C. Persediaan Probabilistik

Persediaan merupakan *idle resource* yang menunggu untuk dilakukan pemrosesan lebih lanjut. Situasi *Overstock* persediaan menyebabkan beban *financial* bagi perusahaan seperti tingginya *holding cost* akibat penumpukan material/part digudang persediaan. Terdapat berbagai biaya dalam pengendalian persediaan antara lain biaya simpan (*holding cost*), biaya pesan (*ordering cost*) dan *shortage cost* (biaya kekurangan stok).

Model persediaan *probabilistic* merupakan parameter yang menunjukkan ketidakpastian variabel baik *demand* maupun *leadtime*. Yang perlu dicermati dalam model *probabilistic* adalah bagaimana menganalisis perilaku persediaan selama *leadtime* dengan menentukan besarnya *safety stock* (*SS*) dengan memakai persamaan 5

$$SS = Z \times s_{dl} \tag{5}$$

Dalam menentukan nilai *safety stock* dipengaruhi oleh variabel  $Z$  yang merupakan suatu nilai tabel distribusi normal yang berkorelasi dengan probabilitas tertentu, semisal *service kelas* yang ditetapkan perusahaan. Sedangkan nilai  $s_{dl}$  (*standard deviasi leadtime*) diperoleh dengan memperhatikan interaksi *leadtime* suku cadang yang sifatnya konstan dan permintaan yang fluktuatif [6].

$$s_{dl} = s_d \sqrt{l} \tag{6}$$

Nilai *reorder point* (*ROP*) diperoleh dari hasil kali *demand* rata-rata per periode ( $d$ ) dengan *leadtime* ( $l$ ) kemudian dijumlahkan dengan nilai *safety stock* (*SS*) pada persamaan 6. Perhitungan nilai *ROP* dicari dengan menggunakan persamaan 7.

$$ROP = d \times l + SS \tag{7}$$

### D. Periodic Review System

Metode *periodic review system* atau sistem P adalah pengendalian persediaan dengan jarak waktu antara dua pemesanan tetap sedangkan jumlah bahan yang dipesan berubah-ubah yang didasarkan pada tinjauan periodik terhadap posisi persediaan.

*Periodic review* memerlukan *safety stock* yang relatif besar dibandingkan metode *continues review* karena *stock* mencakup variasi permintaan selama *leadtime* dan periode *review* namun dari sisi biaya lebih murah dibandingkan *continues review*.

Pada metode ini status persediaan di gudang ditentukan pada *interval* yang teratur dan tetap ( $T$ ) dan memesan *order quantity* ( $Q$ ) yang dibutuhkan sehingga mencapai *level* persediaan yang ( $R$ ) maksimum. Untuk menghitung nilai  $T$ ,  $Q$  dan  $R$  berturut-turut diperoleh melalui persamaan 8, 9 dan 10.

$$T = \frac{Q}{D} \quad (8)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot A \cdot D}{H}} \quad (9)$$

$$R = D(T+L)+SS \quad (10)$$

Keterangan

Q = Jumlah Pesanan (*Order Quantity*)

T = *Interval* Antar Pemesanan

A = Biaya Pesan

H = *Holding Cost* / Biaya Simpan

D = *Demand*

R = *Inventory* Maksimum

L = *Lead time*

SS = *Safety Stock*

Untuk menentukan total biaya persediaan dalam penelitian ini dilakukan dengan solusi *Metode Hadley-Within* memakai persamaan 11.

$$TC = \frac{A}{T} + \left( R - DL - \frac{DT}{2} \right) h + \frac{C_u \cdot N}{T} \quad (11)$$

Keterangan:

TC = Total *Cost* Persediaan

A = biaya pesan

T = Interval antar pemesanan

h = biaya simpan

C<sub>u</sub> = Biaya kekurangan stok

N = ekspektasi jumlah kekurangan

Perhitungan nilai N (ekspektasi jumlah kekurangan) didapatkan dengan mensubstitusikan persamaan 12,13 dan 14 berikut ini

$$N = \sigma D \sqrt{T + L} (f(z_\alpha) - (z_\alpha \times \omega_{z_\alpha})) \quad (12)$$

Dimana:

$$f(z_\alpha) = \text{NORMDIST}(z_\alpha, 0, 1, 0) \quad (13)$$

$$\omega_{z_\alpha} = \text{NORMDIST}(\omega_{z_\alpha}, 0, 1, 0) - (z_\alpha (1 - \text{NORMDIST}(z_\alpha, 0, 1, 1))) \quad (14)$$

Sedangkan Nilai  $\alpha$  dapat dicari dengan mempergunakan persamaan 15

$$\alpha = \frac{h \cdot x \cdot T}{C_u} \quad (15)$$

### III. HASIL

#### A. Klasifikasi *Demand* Suku Cadang Kelas B

Pengklasifikasian *demand* pada suku cadang kelas B dilakukan untuk mengetahui pola dan karakteristik *demand* dengan memakai ADI (*Average Demand Interval*) dan CV (*Coefesien Variance*) sehingga diperoleh hasil seperti pada tabel 2

TABEL II  
KLASIFIKAS DEMAND SUKU CADANG KELAS B

NO	SUKU CADANG	PERIODE									ADI	MEAN	CV	POLA DEMAND	KARAKTERISTIK	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX						
1	GLAND	2	0	0	5	0	0	3	0	0	3	1,11	1,32	Intermitent	Lumpy	
2	NUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
3	LIMIT SWITCH	0	0	0	0	2	0	0	0	0	9	4	1,22	2,13	Intermitent	Lumpy
4	PRESSURE SWITCH	0	0	1	0	0	2	0	0	0	3	0,33	0,60	Intermitent	Lumpy	
5	AUXILIARY RELAY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
6	PACKING CASE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
7	PRESSURE GAUGE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
8	LABYRINT PACKING	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
9	HYDRAULIC SM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
10	OIL SEAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
11	SPRING	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
12	SPINDLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
13	FUSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
14	WORM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	
15	TEMP. INDICATOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	Intermitent	Slow moving	

Dari 15 jenis suku cadang hanya ada 3 jenis yang memiliki permintaan dengan karakteristik permintaan *lumpy*, selanjutnya suku cadang tersebut yang akan dihitung sebagai persediaan pada suku cadang kelas B.

#### B. Metode Croston's

Untuk menentukan kebijakan pengendalian persediaan yang efektif dan efisien, pada tahap awal dilakukan peramalan dengan metode croston's pada 3 jenis suku cadang kelas B yang merupakan suku cadang dengan karakteristik *lumpy demand* yaitu *gland*, *pressure switch* dan *limit switch* dan dapatkan hasil seperti pada tabel 3.

TABEL 3  
HASIL FORECAST SUKU CADANG KELAS B

PERIODE	GLAND				LIMIT SWITCH				PRESURE SWITCH			
	Demand	$\alpha=0.3$	$\alpha=0.7$	$\alpha=0.1$	Demand	$\alpha=0.3$	$\alpha=0.7$	$\alpha=0.1$	Demand	$\alpha=0.3$	$\alpha=0.7$	$\alpha=0.1$
I	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
II	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
III	0	2	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1
IV	5	3,765	4,308	3,579	0	0	0	0	0	1	1	1
V	0	3,765	4,308	3,579	2	2	2	2	0	1	1	1
VI	0	3,765	4,308	3,579	0	2	2	2	2	1,588	1,7692	1,5263
VII	3	3,416	3,367	3,365	0	2	2	2	0	1,588	1,7692	1,5263
VIII	0	3,416	3,367	3,365	0	2	2	2	0	1,588	1,7692	1,5263
IX	0	3,416	3,367	3,365	9	4,333	6	3,8571	0	1,588	1,7692	1,5263
X		4	4	4		5	6	4		2	2	2
MAD		2,223	2,268	2,186		1,185	1	1,2381		0,797	0,8376	0,7836

Peramalan dilakukan dengan menggunakan beberapa nilai alfa yang berbeda tergantung dari derajat kesalahan dan kebutuhan penelitian.

### C. Periodic Review System

Kebijakan periodic review (R,s,S) yang dipakai dalam penelitian ini merujuk beberapa literatur yang menyatakan bahwa kebijakan persediaan ini efektif diaplikasikan pada suku cadang/material yang *slowmoving* atau *fast moving* [7]. Pada *Periodic Review* status persediaan di gudang ditentukan interval yang teratur dan tetap (T) dan memesan *order quantity* (Q) yang dibutuhkan sehingga mencapai kelas persediaan maksimum (R). Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Mulai dengan menghitung nilai Q dengan memakai persamaan 9
- 2) Tahap selanjutnya nilai Q dipakai untuk mencari interval waktu (T) dengan menggunakan persamaan 8
- 3) Nilai R (inventory maksimum) dihitung dengan memakai persamaan 10, Sedangkan perhitungan nilai *safety stock* (SS), Sdl (*standar deviasi leadtime*) dan ROP (*Reorder Point*) dicari memakai persamaan 5,6 dan 7. *Service kelas* yang diharapkan perusahaan adalah 99%, dengan nilai korelasi pada tabel Z = 2,33. Untuk *leadtime* seluruh part konstan dengan tenggang waktu 2 bulan atau 60 hari (0.1667 tahun).
- 4) Menghitung total biaya persediaan dengan memakai solusi *Hadley Within* [7], Adapun masukan data yang diperlukan dari perusahaan adalah seperti pada tabel 3

TABEL III  
DATA HARGA SUKU CADANG DAN BIAYA PERSEDIAAN

NAMA	KETERANGAN
Gland (price)	Rp. 330.000,00
Pressure switch (price)	Rp. 929.000,00
Limit switch (price)	Rp. 343.300,00
Holding Cost	25 % dari Harga Part
Ordering Cost	Rp. 25.000,00
Shortage cost	30% dari harga part

Sedangkan Langkah-langkah yang dilakukan untuk mencari nilai total biaya persediaan yakni:

- 1) Menghitung nilai N (ekspektasi *stockout*) memakai persamaan 12, dimana untuk mencari nilai  $f(z_\alpha)$  dapat dicari dengan persamaan 13, sedangkan nilai dari  $\omega_{z_\alpha}$  diperoleh melalui persamaan 14 dan nilai  $\alpha$  didapatkan dengan menggunakan persamaan 15.
- 2) Untuk perhitungan total biaya persediaan dilakukan lakukan seluruh step 1 diatas, selanjutnya disubstitusikan ke persamaan 11.
- 3) Ulangi perhitungan langkah tersebut pada suku cadang yang lain.

Berdasarkan langkah-langkah tersebut diatas maka didapatkan rekapitulasi hasil perhitungan pada seluruh suku cadang kelas B menggunakan pendekatan *periodic review* seperti pada tabel 4

TABEL4  
REKAPITULASI PERHITUNGAN PERSEDIAAN SUKU CADANG DENGAN *PERIODIC REVIEW*

Suku Cadang	Waktu (T)/Tahun	Inventory Maksimum (R)	Safety stock (ss)	ROP	Total Cost
Gland	0.389	4	2	3	Rp.372.784
Limit switch	0,311	6	4	5	Rp.530.561
Pressure switch	0.329	2	1	1	Rp.504.549

### D. Skenario Persediaan di PG X.

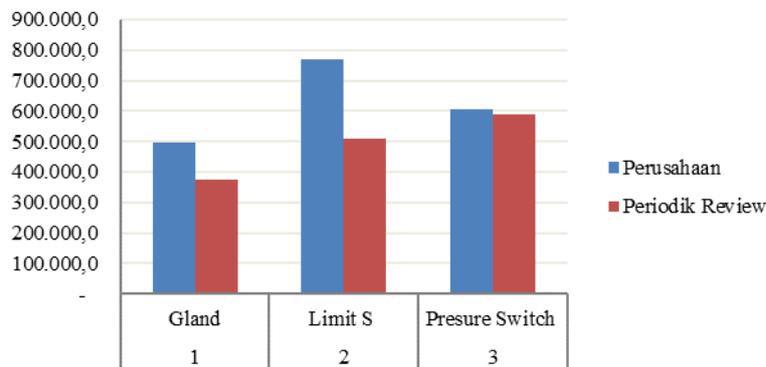
Untuk menentukan biaya persediaan perusahaan diperlukan masukan terkait estimasi *demand* yang tidak dapat dipenuhi disebabkan perusahaan tidak memiliki stok suku cadang. Sehingga dilakukan simulasi disesuaikan dengan kondisi *actual* diperusahaan menggunakan

berbagai asumsi untuk mendapatkan hasil yang dapat dijadikan referensi bagi perusahaan dalam mengambil kebijakan. Apakah PG X akan menerapkan *periodik review system* atau tetap pada kebijakan perusahaan (*best practice*) dengan tidak menyimpan persediaan suku cadang kelas B. Hasil perhitungan dari ilustrasi/skenario tersebut dapat dilihat pada tabel 5

TABEL 5  
ILUSTRASI TOTAL BIAYA PERSEDIAAN PERUSAHAAN

Nama	Demand /tahun	Shortage	Ordering cost	Total cost
Gland	4	Rp. 99.000	Rp. 25.000	Rp496.000
Press. Switch	6	Rp. 102.990	Rp. 25.000	Rp767.940
Limit Switch	2	Rp. 278.700	Rp. 25.000	Rp607.400

Tahap selanjutnya melakukan perbandingan antara total biaya persediaan dengan memakai *periodic review system* dengan sistem perusahaan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan Metode Perusahaan dan *Periodik Review System*

#### IV. PEMBAHASAN

Setelah beberapa tahapan pengolahan data dengan memakai berbagai metode yang relevan disesuaikan dengan kondisi lapangan, maka didapatkan hasil perhitungan sehingga dapat dilakukan analisa yang mendalam untuk mendapatkan solusi dari permasalahan yang di hadapi oleh PG X.

Berdasarkan pengolahan data dapat diidentifikasi bahwa dari 15 jenis material B yang bersifat *intermittent demand*, terdapat 12 item material yang berkarakteristik *slow moving* dan 3 diantaranya berjenis *lumpy* terlihat dari nilai ADI dan CV nya seperti pada tabel 2. Tiga *part* tersebut adalah *Gland*, *Limit switch* dan *Pressure Switch* kemudian dari 3 jenis *part* tersebut dilakukan peramalan dengan metode *croston's* untuk mengetahui estimasi *demand* dari masing masing *part* dalam 1 periode. Sebagaimana diketahui bahwa metode *croston's* tepat digunakan pada *demand* material yang berpola *intermittent* atau *lumpy* [8].

Pemilihan *forecasting* dengan model *Croston's* didasari beberapa pendapat yang menyatakan metode tersebut tepat untuk *demand* dengan karakteristik *lumpy* dan menghasilkan estimasi *demand* dengan *error* yang relatif kecil dibanding hasil ramalan dengan memakai metode *eksponensial smoothing* [4]. Hasil *forecast* dengan model *Croston's* pada *part gland*, *limit switch* dan *pressure switch* masing-masing adalah 4, 6 dan 2 *part*. Hasil ramalan dipilih berdasarkan nilai MAD yang terkecil dari beberapa variabel alfa yang berbeda.

Penggunaan kebijakan *periodic review system* memakai tiga buah parameter sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan persediaan. Parameter tersebut adalah *interval review*, *reorder point* dan *inventory maksimum* [9]. Penerapan *Periodic review system* di PG X memberikan hasil perhitungan waktu *interval review* (T) pada suku cadang *Gland* = 0.389 tahun, *limit switch* = 0.311 dan *pressure switch* = 0.329 dan nilai *inventory*

maksimum (R) pada masing- masing part adalah 4, 6 dan 2 item selanjutnya nilai *safety stock* dari ketiga suku cadang tersebut masing-masing adalah 2,4 dan 1pc.

Pemeriksaan status persediaan hanya dilakukan saat periode *review* untuk memastikan persediaan dalam keadaan aman atau tidak. Apabila pada waktu *review* jumlah item *gland*, *limit switch* dan *pressure switch* tersebut mencapai angka 3pc, 5pc dan 2 pc maka dilakukan *reorder point* (ROP) sehingga mencapai *inventory* maksimum.

Berdasarkan asumsi umum mengenai pola permintaan dan biaya-biaya, kebijakan *periodic review system* mampu menghasilkan total biaya persediaan yang lebih rendah dari metode yang lain [9]. Dari hasil perhitungan total biaya persediaan suku cadang mesin PLTU di PG X dengan menggunakan solusi *Hadley Within* diperoleh biaya persediaan pada suku cadang *Gland* Rp 372.784, *limit switch* Rp 530.561 dan untuk *Pressure switch* sebesar Rp 504.594. Dimana perhitungan biaya tersebut lebih rendah dibandingkan simulasi biaya perusahaan dengan penghematan pada part *gland* sebesar 25%, *limit switch* 34% dan *pressure switch* 3%.

## V. KESIMPULAN

Perhitungan dengan pendekatan *Periodic Review system* pada suku cadang kelas B di PG X dihasilkan interval waktu *review* untuk suku cadang *Gland* selama 0.389 Tahun/142 hari dengan total cost Rp. 372.784, pada part *Limit Switch* 0,269 Tahun/98 hari dengan total cost Rp.530.561, dan pada part *Pressure Switch* 0.328 Tahun/119 hari dengan nilai total cost Rp.587.033. Dari sisi total biaya persediaan yang dihasilkan melalui pendekatan *periodic review system* relatif lebih rendah dibandingkan simulasi biaya persediaan perusahaan, dengan persentase penghematan pada part *Gland* sebesar 25%, *limit switch* sebesar 34% dan *pressure switch* sebesar 3%.

## VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama saya ucapkan puji syukur kepada Allah Ta'ala, karena atas ridhoNya tulisan ini dapat terselesaikan. Selanjutnya terimakasih kepada Prodi Teknik Industri Universitas Merdeka Malang serta seluruh kolega/reka sejawat di Prodi Teknik Industri Unmer Malang yang telah memberikan *support* dan semangat baik moril dan materiil. Ungkapan terimakasih juga saya sampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang yang telah memfasilitasi adanya Seminar Nasional sehingga menjadi wadah bagi kami untuk menulis dan berkarya.

## REFERENSI

- [1] Mahardika, A.P., Ardiansyah, M.N., Yunus, Efrata D.S “*Pengendalian Persediaan untuk Mengurangi Biaya Total Persediaan dengan Metode Periodic Review (R,s,S) Power Approximation Pada Suku Cadang Consumeable*” Jurnal Rekayasa Sistem Industri Vol.4, No.1, 2015
- [2] Willemain, T.R., Smart C.N., Schwarz, H.F., “*A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories*”, International Journal of Forecasting, Journal of thr Operational Research Society, Vol. 56, No. 5, hal. 495-503. 2004
- [3] Ghobbar, Adel A and Friend, Chris, “*The Material Requirement Planning System for Aircraft Maintenance and Inventory Control*,” Journal of Air Transport Management 10. Page 217-221. 2004.
- [4] Leven, E., dan Segerstedt, A., “*Inventory control with a modified Croston procedure and Erlang distribution*”, International Journal of Production Economics ; 90: 361-7. 2004
- [5] Syntetos, A.A., Boylan, J.E., Croston, J.D., “*On the categorization of demand patterns*”. Vol. 20, No. 3, hal. 375-387. 2005
- [6] S Pujawan, I Nyoman., *Supply Chain Management*, Edisi Kedua. Surabaya : Guna Widya,2010
- [7] Silver, E. P., David F, & Peterson, R. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. New York: JohnWiley & Son.1998
- [8] Boylan, J., E. dan Syntetos, A., A, “*The accuracy of a modified Croston procedure*”, International Journal of Production Economics;107:511-7.2007
- [9] Babai, M. Z., Syntetos, A. A., & Teunter, R. “*On the Empirical Performance of (T, s, S) Heuristics*.” European Journal of Operational Research(202), 466-472.2010.

# Analisis Pewarnaan dari Limbah Sayur dan Buah pada Material Aluminium 6061 Hasil Anodizing

Pungky Eka Setyawan<sup>1\*</sup>, Elta Sonalitha<sup>2</sup>, Dewi Izzatus Tsamroh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Elektro Universitas Merdeka Malang

Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia

pungky.setya@unmer.ac.id

*Abstrak*— Anodizing merupakan proses elektrokimia sederhana yang mulai dikembangkan pada abad ke-20 dengan membentuk sebuah lapisan pelindung aluminium oksida pada permukaan aluminium. Proses anodizing pada aluminium dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanis maupun estetis dari permukaan. Proses tersebut menghasilkan lapisan oksida tipis yang berpori bersifat keras dan tahan korosi. Pori tersebut dapat dimanfaatkan untuk memberikan pewarnaan yang beragam bila diisi zat pewarna. Perwarnaan dalam proses anodizing dapat dilakukan dengan pewarna kimia maupun pewarna alami. Proses pewarnaan pada anodizing dapat menggunakan larutan dari bahan anorganik atau larutan kimia maupun organik. Larutan kimia menghasilkan limbah yang dapat membahayakan bagi lingkungan, oleh karena itu diharapkan sebuah terobosan menggunakan larutan pewarna yang tidak menghasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan yaitu dengan digunakannya zat pewarna yang dihasilkan dari limbah buah dan sayur seperti kulit buah naga, dan kol ungu dengan penambahan bahan – bahan yang ramah lingkungan guna menghasilkan warna yang menarik. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan analisa zat pewarna alami yang dihasilkan dari limbah buah dan sayur seperti kulit buah naga, dan kol ungu pada proses pewarnaan aluminium 6061 hasil anodizing melalui struktur mikro, uji intensitas warna dan ketebalan lapisan pewarna alami berbahan limbah sayur dan buah tersebut.

*Kata kunci*— Aluminium, Anodizing, Limbah Buah, Limbah Sayur, Pewarnaan.

*Abstract*— Anodizing is a simple electrochemical process that was developed in the 20th century by forming a protective layer of aluminum oxide on the aluminum surface (ESTAL: 2015). The anodizing process on aluminum is carried out to improve the mechanical and aesthetic properties of the surface. This process produces a thin, porous oxide layer that is hard and corrosion resistant. These pores can be used to provide a variety of coloring when filled with dyes. The anodizing process can be done with chemical dyes or natural dyes. The anodizing staining process can use a solution of inorganic materials or chemical or organic solutions. Chemical solutions produce waste that can be harmful to the environment, therefore it is hoped that a breakthrough using a dye solution that does not produce waste that is harmful to the environment is the use of dyes produced from fruit and vegetable waste such as dragon fruit peel, and purple cabbage with the addition of ingredients. - environmentally friendly materials for attractive colors. The purpose of this study is to analyze natural dyes produced from fruit and vegetable waste such as dragon fruit peel and purple cabbage in the anodizing process of aluminum 6061 through microstructure, test the color intensity and thickness of the natural dye layer made from vegetable and fruit waste.

*Keywords*— Aluminum, Anodizing, Fruit Waste, Vegetable Waste, Staining.

## I. PENDAHULUAN

Anodizing merupakan proses elektrokimia sederhana yang mulai dikembangkan pada abad ke-20 dengan membentuk sebuah lapisan pelindung aluminium oksida pada permukaan aluminium (ESTAL, 2015). Proses tersebut, menghasilkan lapisan oksida tipis yang berpori-pori bersifat keras dan tahan korosi. Lapisan berpori-pori tersebut dapat dimanfaatkan untuk memberikan pewarnaan yang beragam bila diisi zat pewarna. Perwarnaan dalam proses anodizing dapat dilakukan dengan pewarna kimia. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat fisik meliputi perubahan kecerahan warna dan ketebalan lapisan warna pada aluminium setelah proses pewarnaan pada proses anodizing.

Alumunium memiliki jumlah komposisi unsur yang sangat banyak, lebih dari 300 komposisi unsur paduan pada aluminium. Alumunium 6061 umumnya diaplikasikan untuk automotif dan alat-alat konstruksi karena memiliki machine ability, corrosion, konduktivitas thermal dan elektrik yang cukup baik. Magnesium dan Silikon membentuk senyawa Mg<sub>2</sub>Si (Magnesium Silisida) yang memberikan kekuatan tinggi pada paduan aluminium 6061.

Dalam melakukan proses pewarnaan alami dilakukan pewarnaan pada aluminium dengan proses anodizing menggunakan bahan dari daun teh sebagai pewarna (Aminuddin Wahono Suprayitno, 2006). Warna yang dihasilkan juga sangat tergantung dari waktu pencelupan dan kepekatan larutan teh yang digunakan. Teh hitam yang digunakan menghasilkan warna kuning keemasan hingga kuning kecoklatan. Semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka menghasilkan warna yang semakin gelap. Sementara itu, penelitian juga dilakukan dengan melakukan pewarnaan aluminium dengan proses anodizing menggunakan bahan pewarna dari daun pandan wangi (Rudiyanto, Eddy, 2012). Warna yang dihasilkan dari daun pandan wangi adalah warna hijau. Hasil anodizing tergantung dari waktu pencelupan dan konsentrasi larutan daun pandan wangi yang digunakan. Hasil yang didapat adalah semakin tinggi konsentrasi larutan konsentrasi yang digunakan maka semakin terang warna yang dihasilkan. Penelitian lain menggunakan ekstraksi dari kulit manggis sebagai pewarna alami dalam proses anodizing. Warna yang dihasilkan dari ekstraksi kulit manggis tersebut mulai dari warna kuning muda sampai kuning kecoklatan. Konsentrasi warna yang semakin tinggi menghasilkan warna yang semakin gelap (Ngatin, A dan Mulyono, E.W.S., 2013).

Penelitian sebelumnya yaitu menggunakan kunyit sebagai pewarna alami pada proses anodizing dengan konsentrasi larutan 5 gram, 10 gram, 15 gram dan 20 gram per liter (Anggara, A.D, dkk, 2010). Penelitian tersebut menghasilkan warna yang belum seragam dan berbeda-beda. Menurut beberapa hasil penelitian di atas menunjukkan konsentrasi larutan pewarna yang digunakan pada proses dyeing sangat mempengaruhi hasil dari kecerahan warna. Namun dari penelitian tersebut belum diketahui sifat mekanisnya. Penelitian ini dilakukan Untuk mengetahui pengaruh dyeing dari bahan kunyit terhadap struktur makro permukaan, kekasaran permukaan, ketebalan lapisan oksida, dan laju keausan hasil anodizing.

## II. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental laboratorium. Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu persiapan, proses perlakuan (anodizing), proses pewarnaan menggunakan limbah sayur yaitu kol ungu dan limbah buah dari kulit buah naga kemudian dilakukan pengujian terhadap spesimen penelitian. Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu paduan aluminium 6061 dengan dimensi 10 mm x 33 mm x 22 mm. Diagram alir penelitian dapat ditunjukkan seperti Gambar 1.

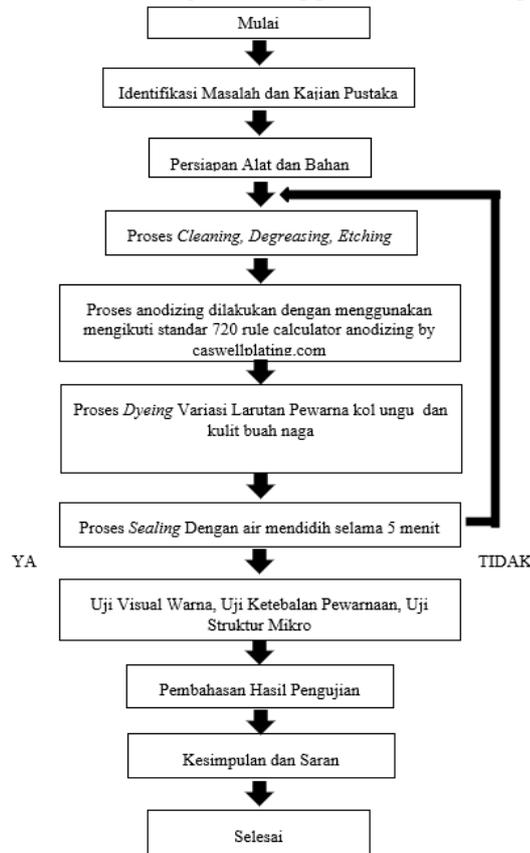
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa variabel bebas seperti variasi jenis pewarna yaitu kol ungu dan kulit buah naga di campur dengan asam nitrat dan aquadest kemudian diproses destilasi dan pewarna makanan dengan komposisi yang berbeda. Untuk arus, voltase dan waktu anodizing mengikuti standar 720 rule calculator anodizing by caswellplating.com. Tabel 1 berikut menunjukkan penomoran spesimen dan jenis perlakuan yang dilakukan.

TABEL I  
PENOMORAN SPESIMEN DAN JENIS PERLAKUAN

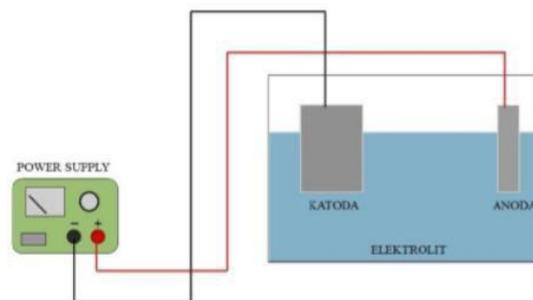
Nomor Spesimen	Kode Spesimen	Perlakuan
1	1u	15 ml pewarna makanan ungu, 100 ml destilat kol ungu, 885 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna)
2	2u	30 ml pewarna makanan ungu, 100 ml destilat kol ungu, 870 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna)
3	4u	45 ml pewarna makanan ungu, 100 ml destilat kol ungu, 855 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna)
4	1	15 ml pewarna makanan merah, 100 ml destilat buah naga, 885 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna)
5	2	30 ml pewarna makanan merah, 100 ml destilat buah naga, 870 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna)
6	4	45 ml pewarna makanan merah, 100 ml destilat buah naga, 855 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna)

Anodizing merupakan proses pembentukan lapisan oksida ( $Al_2O_3$ ). Benda kerja dipasang pada anoda (+) dan lembaran timah hitam (Pb) dipasang pada katoda (-). Larutan yang

digunakan pada proses ini ialah asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Rangkaian proses anodizing ditunjukkan pada Gambar 2. Proses anodizing dilakukan dengan menggunakan mengikuti standar 720 rule calculator anodizing by caswellplating.com menggunakan arus DC, sedangkan proses pewarnaan dilakukan dengan menggunakan kol ungu dan kulit buah naga.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Rangkaian proses anodic oxidation  
(Sumber: Ahmad Yulizal Untung, 2016)

### a. Tahapan Proses Anodizing dengan Pewarna Kol Ungu dan Kulit Buah Naga

Tahapan Proses Anodizing specimen aluminium 6061 dengan pewarna kol ungu dan kulit buah naga antara lain:

#### 1. Degreasing

Degreasing merupakan proses pembersihan benda kerja dari kotoran- kotoran dan minyak yang menempel pada aluminium sebelum dilakukan proses etching. Larutan yang digunakan adalah asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Selanjutnya adalah rinsing cleaning yaitu proses pembilasan benda kerja dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium setelah proses cleaning dengan menggunakan aquades.

## 2. Etching

Etching merupakan proses menghilangkan lapisan oksida pada permukaan aluminium secara kimiawi yang tidak dapat dihilangkan dari proses cleaning dan bertujuan untuk memperoleh permukaan benda kerja yang lebih rata dan halus. Proses ini menggunakan bahan soda api (NaOH). Selanjutnya adalah rinsing etching yaitu proses pembilasan benda kerja setelah proses etching dengan menggunakan aquades dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium.

## 3. Dyeing/Coloring

Dyeing adalah proses pewarnaan pada pori-pori lapisan oksida yang terbentuk setelah proses anodizing, sehingga akan menghasilkan warna yang menarik pada permukaan aluminium. Perwarna yang digunakan ialah kol ungu dan kulit buah naga yang dicampur dengan asam nitrat aquades dan pewarna makanan.

## 4. Sealing

Sealing adalah proses penting untuk menghasilkan lapisan yang baik. Proses ini berfungsi menutup pori-pori lapisan oksida yang dihasilkan dari proses anodizing yang masih terbuka. Sealing juga mencegah pewarna keluar dari pori-pori lapisan oksida sehingga warna sulit untuk memudar. Setelah proses sealing maka struktur lapisan akan menjadi halus dan rata. Proses ini menggunakan larutan asam asetat atau asam cuka (CH<sub>3</sub>COOH).

## 5. Rinsing Sealing

Proses rinsing sealing adalah proses pembersihan benda kerja aluminium setelah proses sealing dengan menggunakan aquades dari bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium, sehingga tidak ada sisa bahan kimia yang menempel pada permukaan aluminium.

### *b. Pengujian Spesimen*

Pengujian material hasil anodizing pewarnaan dengan kol ungu dan kulit buah naga meliputi 3 macam pengujian yaitu sebagai berikut:

#### 1. Uji Visual Warna

Uji visual warna melalui analisis gambar yang banyak melibatkan persepsi visual. Proses ini mempunyai data masukan dan data luaran yang berbentuk gambar. Gambar digital dapat diperoleh secara otomatis dari sistem penangkap gambar digital yang melakukan penjelajahan gambar dan membentuk suatu matriks, dimana elemen-elemen matrik tersebut menyatakan nilai intensitas cahaya pada suatu himpunan diskrit dari titik-titik gambar. Perhitungan parameter indeks warna R, G, dan B diperoleh dari tiap-tiap pixel pada gambar. Pembangkitan karakteristik dari gambar dapat juga didasarkan atas nilai indeks warna RGB (Red, Green, Blue) menggunakan *Software colour analysis*.

#### 2. Uji Ketebalan Pewarnaan

Pengujian selanjutnya adalah pengambilan data ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium 6061 dengan menggunakan *Thickness Gun*.

### 3. Uji Struktur Mikro

Pengamatan Struktur Mikro dilakukan pada permukaan specimen hasil pewarnaan dengan kol ungu dan kulit buah naga hasil anodizing menggunakan mikroskop optic merk Nikon dengan perbesaran 200x dan di analisis 3D menggunakan software Image-J.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Visual Warna

Spesimen yang telah dianodizing dengan variasi konsentrasi larutan pewarna kol ungu dan kulit buah naga dilakukan menggunakan pengujian kecerahan warna (RGB) menggunakan *Software colour analysis* dimana akan didapatkan data hasil visual. Berikut hasil pengujian kecerahan warna dengan brightness auto level.

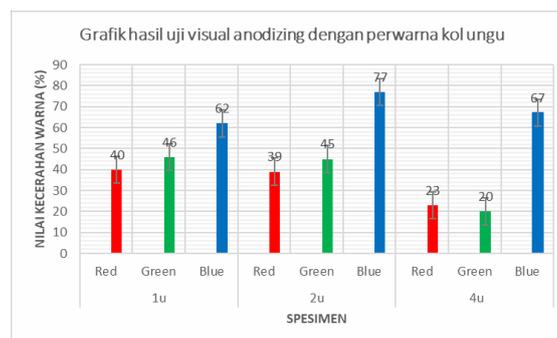
TABEL II  
HASIL UJI VISUAL ANODIZING DENGAN PEWARNA KOL UNGU

No	Spesimen	Red	Green	Blue	Percent	Colour grup
1	 Spesimen 1u	40	46	62	45,27903	Cyan-Blue
2	 Spesimen 2u	39	45	77	86,39999	Cyan-Blue
3	 Spesimen 4u	23	20	67	58,83595	Cyan-Blue

TABEL III  
HASIL UJI VISUAL ANODIZING DENGAN PEWARNA KULIT BUAH NAGA

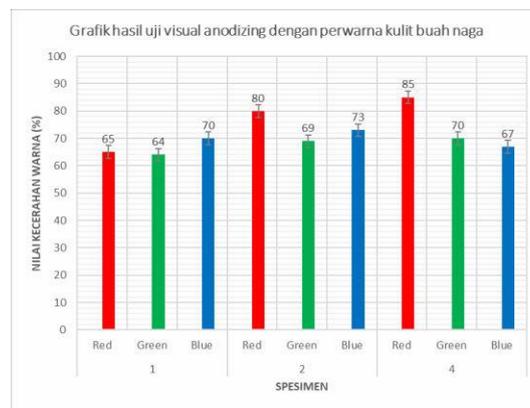
No	Spesimen	Red	Green	Blue	Percent	Colour grup
1	 Spesimen 1	65	64	70	33,22661	Cyan-Blue
2	 Spesimen 2	80	69	73	50,70666	Magenta-Pink
4	 Spesimen 4	85	70	67	55,627281	Magenta-Pink

Hasil kecerahan warna (RGB) pada proses anodizing menggunakan pewarna kol ungu yaitu



Gambar 3. Grafik hasil kecerahan warna (RGB) pada proses anodizing menggunakan pewarna kol ungu

Gambar 3 menunjukkan hasil kecerahan warna (RGB) pada proses anodizing menggunakan pewarna kol ungu specimen 1u R 40%, G 46%, B 62%, untuk specimen 2u R 39%, G 45%, B 77%, dan untuk specimen 4u R 23%, G 20%, B 67% Grafik tersebut menjelaskan komposisi warna yang dominan adalah warna Blue disebabkan oleh pori-pori lapisan oksida yang terisi dengan larutan pewarna dengan bahan dasar kol ungu yang digunakan pada penelitian ini. Kemudian, untuk kecerahan tertinggi pada spesimen 2u dengan 86,39999% (table 2 ) didominasi dengan warna cyan – blue dengan R 39%, G 45%, B 77%, dan memang warna yang dihasilkan lebih bagus dan merata dibandingkan dengan specimen 1u dan specimen 4u. Jadi dengan komposisi 30 ml pewarna makanan ungu, 100 ml destilat kol ungu, dan 870 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) menghasilkan warna yang paling bagus. Hal itu diduga terdapat residu dari komposisi larutan kol ungu tersebut yang terdifusi pada permukaan aluminium. Hal ini terbukti secara empirik, warna yang dihasilkan lebih terang pada aluminium disebabkan adanya perbedaan komposisi dari campuran larutan.



Gambar 4. Grafik hasil kecerahan warna (RGB) pada proses anozing menggunakan pewarna kulit buah naga

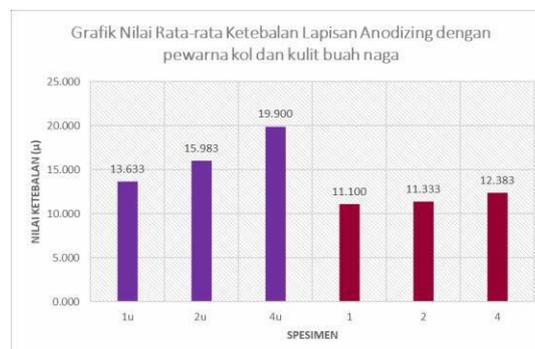
Gambar 4 menunjukkan hasil kecerahan warna (RGB) pada proses anodizing menggunakan pewarna kol ungu specimen 1 R 65%, G 64%, B 70%, untuk specimen 2 R 0%, G 69%, B 73%, dan untuk specimen 4 R 85%, G 70%, B 67% Grafik tersebut menjelaskan komposisi warna yang dominan adalah warna Red disebabkan oleh pori-pori lapisan oksida yang terisi dengan larutan pewarna dari bahan dasar kulit buah naga yang digunakan pada penelitian ini. Kemudian, untuk kecerahan tertinggi pada spesimen 4 dengan 55,627821% (table 3.1) didominasi dengan warna magenta-pink dengan R R 85%, G 70%, B 67%, dan memang warna yang dihasilkan lebih bagus dan merata dibandingkan dengan specimen 1 dan specimen 2. Jadi dengan komposisi 45 ml pewarna makanan merah, 100 ml destilat kulit buah naga, 855 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) menghasilkan warna yang paling bagus. Hal itu diduga terdapat residu dari komposisi larutan kulit buah naga yang terdifusi pada permukaan aluminium. Hal ini terbukti secara empirik, Warna yang dihasilkan lebih terang pada aluminium disebabkan adanya perbedaan komposisi dari campuran larutan.

*b. Ketebalan Pewarnaan*

Data hasil ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium 6061 yang telah dianodizing dengan variasi larutan pewarna kol ungu dan kulit buah naga menggunakan Thickness Gun dapat dilihat pada tabel 4.

TABEL IV  
DATA KETEBALAN HASIL ANODIZING DENGAN PEWARNA KOL UNGU DAN KULIT BUAH NAGA

Ketebalan Pewarnaan									
No.	Spesimen	Gambar	Hasil Ketebalan ( $\mu$ )						Rata-rata Ketebalan ( $\mu$ )
			Permukaan atas			Permukaan bawah			
1	1u		12.3	11.1	13.6	14.9	7.4	22.5	13.633
2	2u		22.5	6.1	7.4	27.5	8.6	23.8	15.983
3	4u		12.3	39.8	20	16.2	12.3	18.8	19.900
4	1		12.3	6.1	11.1	14.9	13.6	8.6	11.100
5	2		13.6	12.3	14.9	16.2	6.1	4.9	11.333
6	4		8.6	16.2	9.9	6.1	9.8	23.7	12.383



Gambar 5. Grafik nilai ketebalan lapisan anodizing dengan pewarna kol dan kulit buah naga

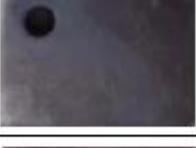
Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa ketebalan lapisan tertinggi hasil anodizing menggunakan larutan pewarna kol ungu yaitu pada specimen 4u dengan 45 ml pewarna makanan warna ungu, 100 ml destilat kol ungu, 855 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) dengan nilai ketebalannya 19,900  $\mu\text{m}$  akan tetapi warna yang dihasilkan kurang merata. Sedangkan ketebalan lapisan tertinggi hasil anodizing menggunakan larutan pewarna kulit buah naga yaitu pada specimen 4 dengan komposisi 45 ml pewarna makanan warna merah, 100 ml destilat kulit buah naga, 855 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) dengan nilai ketebalan 12,383  $\mu\text{m}$ . Variasi konsentrasi larutan pewarna tidak berpengaruh terhadap ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan. Lapisan oksida dan ukuran pori dipengaruhi oleh temperatur, kuat arus listrik, voltase, konsentrasi larutan dan waktu pencelupan pada larutan elektrolit ketika proses anodizing. Sehingga factor yang sangat

berpengaruh terhadap kualitas difusi larutan pewarna adalah ukuran pori dan ketebalan lapisan oksida yang tepat sehingga pewarna bisa melekat sempurna pada permukaan specimen tersebut.

*c. Struktur Mikro*

Dilakukan pada permukaan specimen hasil pewarnaan dengan kol ungu dan kulit buah naga hasil anodizing menggunakan mikroskop optic merk Nikon dengan perbesaran 200x dan di analisis 3D menggunakan software Image-J. Data hasil pengamatan struktur mikro pada permukaan aluminium 6061 yang telah dianodizing dengan variasi larutan pewarna kol ungu dan kulit buah naga menggunakan mikroskop optic merk Nikon dengan perbesaran 200x dapat dilihat pada tabel 5.

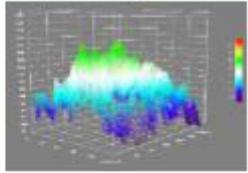
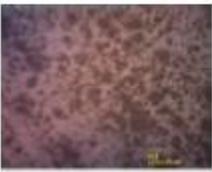
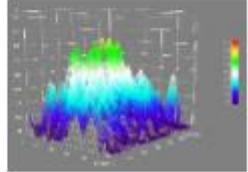
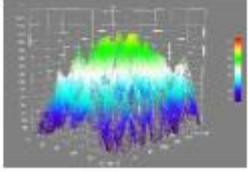
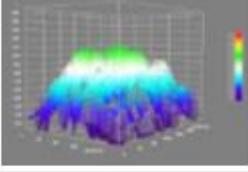
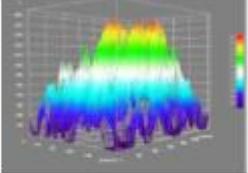
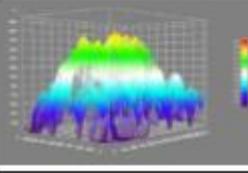
TABEL V  
DATA STRUKTUR MIKRO HASIL ANODIZING DENGAN PEWARNA KOL UNGU DAN KULIT BUAH NAGA

Ketebalan Pewarnaan					
No.	Spesimen	Hasil Uji Struktur Mikro	%partikel		
			% Al	% pori	
1	1u			71.582	28.418
2	2u			49.355	50.645
3	4u			50.800	49.200
4	1			67.218	32.782
5	2			63.154	36.846
6	4			57.842	42.158

Berdasarkan tabel 6 menunjukkan bahwa ada korelasi antara % pori terhadap kecerahan warna. Semakin seragam pori dan % semakin besar maka daya serap specimen terhadap pewarna semakin tinggi dan warna semakin terang. Pada specimen 2u anodizing menggunakan pewarna kol ungu dengan komposisi 30 ml pewarna makanan warna ungu, 100 ml destilat kol ungu, 870 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) mempunyai % pori yang besar yaitu 50,645% dan ukuran pori yang seragam hal ini berpengaruh terhadap

daya serap specimen terhadap pewarna. Daya serap yang maksimal akan menghasilkan warna cyan - blue yang merata pada permukaan specimen. Begitu juga pada specimen 4 anodizing menggunakan pewarna kulit buah naga dengan komposisi 45 ml pewarna makanan warna merah, 100 ml destilat kulit buah naga, 855 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) juga mempunyai % pori yang besar yaitu 42,158% dan ukuran pori yang seragam hal ini berpengaruh terhadap daya serap specimen terhadap pewarna. Daya serap yang maksimal akan menghasilkan warna magenta - pink yang merata pada permukaan specimen.

TABEL VI  
FOTO MIKRO PERBESARAN 200X ANODIZING MENGGUNAKAN PEWARNA KOL UNGU DAN KULIT BUAH NAGA DAN ANALISI 3D MENGGUNAKAN IMAGE-J

Ketebalan Pewarnaan					
No.	Uji Struktur Mikro Mikroskop Optik	Interactive 3D Surface Plot Image-J	%partikel		
			% Al	% pori	
1	1u			71.582	28.418
2	2u			49.355	50.645
3	4u			50.800	49.200
4	1			67.218	32.782
5	2			63.154	36.846
6	4			57.842	42.158

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang berjudul Analisis Pewarnaan dari Limbah Sayur dan Buah pada Material Aluminium 6061 Hasil Anodizing maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

Kecerahan warna (RGB) tertinggi anodizing menggunakan pewarna kol ungu yaitu pada spesimen 2u dengan tingkat kecerahan 86,39999% didominasi warna cyan-blue dengan R 39%, G 45%, B 77%, yang berarti lebih terang daripada specimen 1u dan 4u.

Kecerahan warna (RGB) tertinggi anodizing menggunakan pewarna kulit buah naga yaitu pada spesimen 4 dengan tingkat kecerahan 55,627821% didominasi warna magenta-pink dengan R 85%, G 70%, B 67%, yang berarti lebih terang daripada specimen 1 dan 2.

Ketebalan lapisan tertinggi hasil anodizing menggunakan larutan pewarna kol ungu yaitu pada specimen 4u dengan 45 ml pewarna makanan warna ungu, 100 ml destilat kol ungu, 855 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) dengan nilai ketebalannya 19,900  $\mu\text{m}$ .

Ketebalan lapisan tertinggi hasil anodizing menggunakan larutan pewarna kulit buah naga yaitu pada specimen 4 dengan komposisi 45 ml pewarna makanan warna merah, 100 ml destilat kulit buah naga, 855 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) dengan nilai ketebalan 12,383  $\mu\text{m}$ .

Pada specimen 2u anodizing menggunakan pewarna kol ungu dengan komposisi 30 ml pewarna makanan warna ungu, 100 ml destilat kol ungu, 870 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) mempunyai % pori yang terbesar yaitu 50,645%.

Pada specimen 4 anodizing menggunakan pewarna kulit buah naga dengan komposisi 45 ml pewarna makanan warna merah, 100 ml destilat kulit buah naga, 855 ml aquadest (1000 ml larutan pewarna) mempunyai % pori yang terbesar yaitu 42,158%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada LPPM Universitas Merdeka Malang, Yayasan Perguruan Tinggi Merdeka Malang, dan Universitas Merdeka Malang yang telah memberikan hibah internal 2020.

#### REFERENSI

- [1] Ahmad Muslim, 2018, Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Pewarna Kunyit Terhadap Kecerahan Warna, Kekasaran Permukaan, Struktur Makro, Ketebalan Lapisan Oksida Dan Keausan Pada Hasil Anodizing Aluminium, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [2] Adrian Haris Kristianto, 2017, Pengaruh Variasi Konsentrasi 10-15% Larutan Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) Pada Proses Anodizing Aluminium, Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- [3] Ahmad Haryono, 2013, Pengaruh Variasi Suhu Dan Waktu Proses Anodizing Pada Bahan Aluminium, Teknik Mesin Politeknik Pratama Mulia Surakarta.
- [4] Anggara, A.D, dkk. "Penggunaan Kunyit sebagai Alternatif Pewarnaan pada Anodising Aluminium yang Ramah Lingkungan" PKM. Malang: Universitas Negeri Malang. 2010.
- [5] Aminudin Wahono Suprayitno. "Penggunaan Teh Untuk Dyeing pada Proses Dekoratif pada Aluminium dengan Proses Anodizing, sebagai Bahan Alternatif yang Ramah Lingkungan". Malang: Lembaga Penelitian UM. 2006
- [6] Estal. Aluminum Anodizing European Association for Surface Treatment of Aluminum. 2015: 1-3.
- [7] Hutasoit, F.M., 2008, Pengaruh Penambahan Konsentrasi Asam Oksalat Terhadap Ketebalan Lapisan Oksida pada Aluminium Foil Hasil Proses Anodisasi. Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia Wikipedia 2020
- [8] Ngatin, A dan Mulyono, E.W.S. "Ekstraksi Zat Warna dari Kulit Manggis dan Pemanfaatannya untuk Pewarna Logam Aluminium Hasil Anodisasi" dalam IRWNS. Bandung: Politeknik Negeri Bandung. 2013: 268-272.
- [9] Rudiyanto, Eddy, 2012. "Kajian Pewarna Daun Pandan Wangi pada Proses Pencelupan Komponen Otomotif". Jurnal Teknik Mesin. Malang: Universitas Negeri Malang. 2012; 20(1): 35-41.
- [10] Sidharta, B.W., 2013, Pengaruh Konsentrasi Elektrolit dan Waktu Anodasi Terhadap Ketahanan Aus, Kekerasan serta Ketebalan Lapisan Oksida Paduan Aluminium pada Material Piston, Tesis, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [11] Taufiq, T., 2011, Anodizing Pada Logam Aluminium dan Paduannya. Makalah, Program Studi Magister Rekayasa Fakultas Teknik Pertambangan Dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung, Bandung.

# *Austenitic Stainless Steel* dengan Penambahan Unsur Ni dan Mn Sebagai Penstabil Fasa Austenit Setelah Las MIG Semi Otomatis terhadap Sifat Daerah Lasan Model Butt Joint Single V

Djoko Andrijono\*, Pungky Eka Setyawan, Dewi Izzatus Tsamroh

*Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang (Institusi)  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia*

\*djoko.andrijono@unmer.ac.id (penulis korespondensi)

pungky.setya@unmer.ac.id

dewi.tsamroh@unmer.ac.id

**Abstrak**— Baja tahan karat austenitik dengan komposisi kimia 0,0015 % C, 7,96 % Ni dan 17,49 % Cr merupakan kelompok baja tahan karat 304. Baja tahan karat austenitik terbentuk pada sistem larutan padat Fe-Cr setelah melakukan penambahan unsur penstabil fasa  $\gamma$  seperti Ni dan Mn. Fungsi kedua unsur tersebut, untuk menstabilkan fasa  $\gamma$  dan menambah luas daerah fasa  $\gamma$  serta mempersempit daerah fasa  $\alpha$ . Baja tahan karat austenitik setelah proses las MIG semi otomatis dan dilanjutkan pendinginan udara dari temperatur 680 ° C ke 480 ° C terbentuk Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> yang mengendap di batas butir. Metode penelitian memakai kawat las pejal KST-308L dengan komposisi kimia 9,6% Ni dan 19,3 % Cr. Las MIG menggunakan gas pelindung argon, kuat arus listrik 150 A, sambungan kampuh V tunggal yang selanjutnya terbentuk tiga daerah lasan terdiri dari: logam induk merupakan daerah tidak terpengaruh panas yang letaknya setelah HAZ, deposit las merupakan daerah yang lumer saat menerima energi panas akibat las MIG dan pada daerah ini menerima energi panas yang sangat tinggi dan HAZ merupakan daerah yang letaknya berdekatan dengan deposit las dan energi panas yang diterima HAZ lebih rendah dibanding deposit las. Hasil penelitian sifat kekerasan logam induk 86 HR<sub>B</sub>, deposit las 82 HR<sub>B</sub>, dan HAZ 78 HR<sub>B</sub>. Struktur mikro logam induk terbentuk partikel karbida dan austenit, deposit las terbentuk austenit equiaksial dan partikel karbida, HAZ terbentuk ferit, austenit dan dendrit. Kesimpulan sifat kekerasan ketiga daerah lasan semakin menurun, keuletannya semakin meningkat dan struktur mikro secara umum terbentuk ferit, austenit equiaksial, austenit, partikel karbida, dendrit.

**Kata kunci**— las MIG, baja tahan karat austenitik, kekerasan, struktur mikro

**Abstract**— *Austenitic stainless steels with a chemical composition of 0.0015% C, 7.96% Ni and 17.49% Cr are a group of 304 stainless steels. Austenitic stainless steels are formed in a solid solution of Fe-Cr after adding a phase stabilizer  $\gamma$  like Ni and Mn. The function of these two elements is to stabilize the phase  $\gamma$  and increase the area of the phase  $\gamma$  and narrow the phase  $\alpha$ . Austenitic stainless steel after the semi-automatic MIG welding process and continued with air cooling from a temperature of 680 ° C to 480 ° C formed Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> which settled at the grain boundaries. The research method used solid welding wire KST-308L with a chemical composition of 9.6% Ni and 19.3% Cr. MIG welding uses argon shielding gas, an electric current of 150 A, a single seam connection V which then forms three weld areas consisting of: the main metal is an area that is not affected by heat which is located after HAZ, the weld deposit is an area that melts when it receives heat energy due to welding MIG and in this area receive very high heat energy and HAZ is an area that is close to the weld deposit and the heat energy received by HAZ is lower than the weld deposit. The results of this study were the hardness properties of the parent metal 86 HR<sub>B</sub>, welding deposits of 82 HR<sub>B</sub>, and HAZ 78 HR<sub>B</sub>. The microstructure of the parent metal is formed particles of carbide and austenite, weld deposits are formed equiaxial austenite and carbide particles, HAZ is formed by ferrite, austenite and dendrite. The conclusion is that the hardness properties of the three weld areas are decreasing, the ductility is increasing and the microstructure is generally formed by ferrite, equiaxial austenite, austenite, carbide particles, and dendrites.*

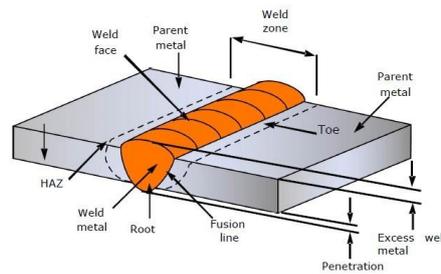
**Keywords**— MIG welding, austenitic stainless steel, hardness, microstructure.

## I. PENDAHULUAN

Sambungan las (*weld joint*) merupakan proses penyambungan atau menyatukan dua logam atau lebih bersifat permanen menggunakan energy panas dan logam pengisi (*filler metal*) berbentuk kawat las, dan elektroda, akibatnya terjadi ikatan metalurgi antara logam yang dilas dengan logam pengisi. Menurut standar DIN (*Deutch Industrie Normen*) las merupakan

ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Berdasarkan definisi tersebut, pengertian las merupakan proses penyambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Sambungan las dibedakan 5 (lima) macam terdiri dari: (a) sambungan tumpul, (b) sambungan sudut, (c) sambungan tumpang, sambungan T dan (d) sambungan tekuk (Wirjosumarto, 2000). Konstruksi sambungan las disebut hasil lasan atau daerah lasan (*weldment*) (Gambar 1) apabila sudah terbentuk 4 (empat) daerah (Hicks, 1999, Wirjosumarto, 2000) terdiri dari: Logam induk atau logam dasar (*parent metal or base metal*), daerah pengaruh panas (*heat affected zone*) disingkat HAZ, deposit las atau endapan las (*weld metal*), dan batas cair atau batas fusi (*fusion line*). Logam induk merupakan daerah tidak terpengaruh panas yang letaknya setelah HAZ. Daerah ini menerima panas lebih rendah daripada HAZ, deposit las dan tidak terjadi perubahan sifat kekerasan dan struktur mikro apabila dilakukan proses pendinginan cepat (*quenching*) atau lambat (*non quenching*) (Hicks, 1999, Wirjosumarto, H. 2000).

HAZ merupakan daerah yang letaknya dekat dengan deposit las dan energi panas yang diterima HAZ lebih rendah dibanding deposit las. Energi panas tersebut, dapat merubah struktur mikro dan sifat kekerasan hasil lasan apabila dikenakan proses pendinginan cepat atau lambat dengan laju pendinginan tertentu (Cary, Howard B, 2005, Wirjosumarto, H. 2000). Deposit las merupakan daerah yang lumer (mencair) saat menerima energi panas akibat proses pengelasan dan pada daerah ini menerima energi panas yang sangat tinggi. Batas cair merupakan daerah batas antara deposit las dengan HAZ (Hicks, 1999, Wirjosumarto, 2000).

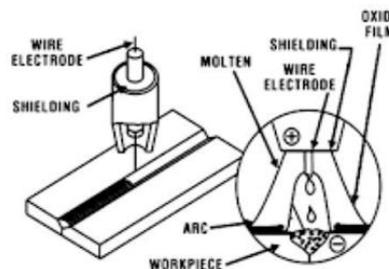


Gambar 1 Sambungan tumpul dengan kampuh V tunggal  
Sumber: <https://www.pengelasan.net/bagianbagianlasan/>

## II. METODE

### a. Las GMAW

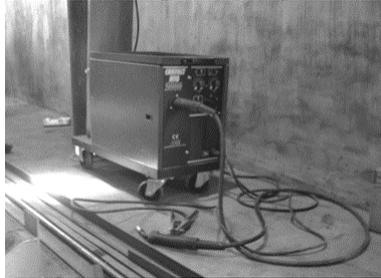
GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) merupakan proses pengelasan cair (*fusion welding*) menggunakan logam pengisi berbentuk kawat las (*wire electrode*) dan gas pelindung seperti argon (Ar), helium (He) dan carbondioksida (CO<sub>2</sub>) (Lincoln Electric, 1994, Wirjosumarto, 2000).



Gambar 2 Kawat las dan gas pelindung  
Sumber: <https://belajarmesinbutcnc.blogspot.com/2016/03/proses-las-gmaw-gas-metal-arc-welding.html>

GMAW dapat bekerja secara semi-otomatis atau otomatis. Asap dan percikan las yang terjadi pada GMAW relatif sedikit dan tidak ada terak (slag) yang harus dibersihkan setelah pengelasan selesai. GMAW ditinjau dari penggunaan gas pelindung dibedakan menjadi 2

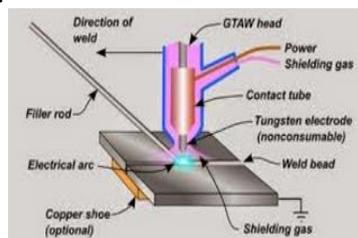
(dua) macam: (a) GMAW menggunakan gas pelindung Argon (Ar) disebut MIG (Metal Inert Gas), (b) GMAW menggunakan ataupun gas pelindung carbondioksida (CO<sub>2</sub>) disebut MAG (Metal Active Gas). Pada las MIG pada prinsipnya sama dengan las GMAW, yang membedakan kedua pengelasan ini terdapat pada gas pelindung (Lincoln Electric, 1994).



Gambar 3 Las MIG semi otomatis  
Sumber: PT. Bromo Steel Indonesia Pasuruan

### b. Gas Pelindung

Gas pelindung berfungsi melindungi deposit las saat proses pengelasan berlangsung agar tidak terkontaminasi dengan udara atmosfer, karena deposit las sangat rentan terhadap difusi hidrogen yang dapat menyebabkan cacat porositas. Cacat porositas merupakan cacat las berbentuk lubang lubang kecil pada bagian permukaan luar maupun dalam deposit las. Gas pelindung yang digunakan las MIG adalah gas mulia (*inert gas*) seperti: Ar, He atau He dicampur dengan Ar, atau dapat menggunakan gas CO<sub>2</sub> sebagai gas pelindung (Gambar 3) (Weman, 2003). Pada las MAG menggunakan gas CO<sub>2</sub> sebagai gas pelindung dan kawat las pejal sebagai logam (Gambar 5).



Gambar 4 Las MAG

Sumber: <https://belajarmesinbutcnc.blogspot.com/2016/03/proses-las-gmaw-gas-metal-arc-welding.html>

### c. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat merupakan baja paduan mengandung minimal 10,5 % Cr atau 12 % Cr dan pemilihan baja tahan karat ditentukan oleh ketahanan karat dan sifat mekanis dipengaruhi lapisan *film chromium oxide* (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (Smith, 1990; Weman, 2003). Lapisan *film* Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tidak mudah pecah dan tidak terlihat secara visual. Lapisan *film* Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat mengalami rusak dan terbentuk kembali apabila bersenyawa dengan oksigen.

Baja tahan karat austenitik merupakan material terbentuk pada system larutan Fe-Cr dengan melakukan penambahan unsur penstabil fasa austenit ( $\gamma$ ) seperti nikel (Ni) dan mangan (Mn). Fungsi kedua unsur tersebut, untuk menstabilkan fasa  $\gamma$  dan menambah luas daerah fasa  $\gamma$  dan mempersempit daerah fasa ferit ( $\alpha$ ). Penambahan 8 % Ni pada paduan Fe-Cr dapat membentuk fasa  $\gamma$  yang stabil pada temperatur kamar. Di samping unsur Ni tersebut, dengan penambahan unsur Mangan (Mn) dan Nitrogen (N) pada paduan Fe-Cr dengan jumlah tertentu dapat akan membentuk matrik dengan fasa  $\gamma$  yang stabil pada berbagai temperatur. Sifat baja tahan karat austenitik meliputi: (a) non magnetik, (b) mampu bentuk, (c) ulet pada temperatur rendah, (d) mampu las, (e) tahan karat, dan (f) sifat kekuatan dapat ditingkatkan dengan cara proses *cold working*, *precipitation hardening*, atau *substitutional solid solution strengthening* (Cary, 1993).

d. *Kampuh Las*

Kampuh las merupakan bagian dari sambungan las tumpul yang berfungsi untuk menampung cairan logam pengisi agar kedua permukaan logam yang disambung dapat menyatu (Groover, 2007).

e. *Logam Pengisi pada Las MIG*

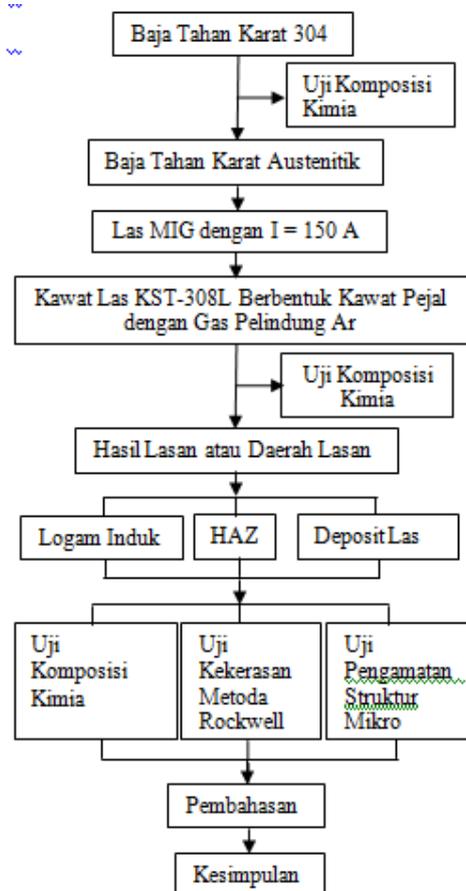
Logam pengisi pada las MIG berbentuk kawat pejal jenis KST-308L yang berfungsi sebagai elektroda dan logam pengisi. Komposisi kimia kawat las Kiswel KST-308 L (Tabel 1).

TABEL I  
DATA HASIL UJI KOMPOSISI KIMIA KAWAT LAS KST-308L

No	Unsur Kimia	Komposisi Kimia (%)
1	C	0,03
2	Mn	0,84
3	P	0,023
4	S	0,016
5	Si	0,8
6	Cr	19,3
7	Ni	9,6
8	Cu	0,3
9	Mo	0,2
10	Fe	68,89

Sumber: www.kiswelusa.com

f. *Diagram Alir Penelitian*



Gambar 5. Diagram alir penelitian

g. *Peralatan Penunjang Penelitian*

1. Mesin-mesin: las MIG, *quantometer*, *rockwell hardness number*, mikroskop logam, *pregrinder*, *polishing*, *mounting press*, *film processing apparatus*, dan mesin sekrup.
2. Peralatan penunjang lain: jangka sorong, kawat las KST-308L, tabung gas Ar, ragum, gergaji tangan, keselamatan kerja las, kertas gosok grade # 300 s.d # 1000, bludru, dan alkohol.

h. *Variabel Pengujian*

1. Sambungan tumpul dengan kampuh V tunggal dengan tebal plat baja tahan karat austenitik 6 mm dengan sudut kampuh  $60^{\circ}$ , jarak akar 2 mm, dan tinggi akar 2 mm (Wirjosumarto. 2000).
2. Spesimen uji komposisi kimia baja tahan karat austenitik (logam induk) sebelum di las MIG dengan ukuran panjang 100 mm, lebar 50 mm, tebal 5 mm.
3. Spesimen uji komposisi kimia kawat las Kisel KST-308L dengan diameter 1,2 mm berbentuk kawat pejal.
4. Spesimen uji komposisi kimia HAZ dan deposit las dengan ukuran masing-masing panjang 10 mm, lebar 6 mm dan tebal 6 mm.
5. Spesimen uji komposisi kimia HAZ dengan ukuran masing-masing panjang 10 mm, lebar 6 mm dan tebal 6 mm.
6. Spesimen uji kekerasan dan uji pengamatan struktur mikro pada logam induk, HAZ dan deposit las masing-masing dengan ukuran yang sama panjang 15 mm, lebar 6 mm dan tebal 6 mm.
7. Gas pelindung menggunakan jenis Ar.
8. Kuat arus listrik (I) pada las MIG 150 A (konstan).
9. Tegangan (V) 220 volt.
10. Temperatur pemanasan awal  $200^{\circ}\text{C}$  (konstan).
11. Gerakan kawat las mendatar.
12. Daerah lasan menggunakan pendinginan udara.
13. Larutan etsa: 100 ml alkohol, 20 ml  $\text{HNO}_3$ , 60 ml HCL.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut akan disajikan beberapa tabel yang merupakan hasil penelitian dengan beberapa jenis pengujian.

TABEL II  
DATA HASIL UJI KOMPOSISI KIMIA LOGAM INDUK

No	Unsur Kimia	Komposisi Kimia (%)
1	C	0,015
2	Mn	1,36
3	P	0,036
4	S	0,005
5	Sii	0,331
6	Sn	0,004
7	Al	0,012
8	Cr	17,49
9	Cu	0,078
10	Ni	7,960
11	Nb	0,010
12	V	0,083
13	Ca	0,00009
14	Mo	0,010

15	Co	0,244
16	Fe	72,37

Sumber: PT. Ispat Indo Sidoarjo

TABEL III  
DATA HASIL UJI KOMPOSISI KIMIA DEPOSIT LAS

No	Unsur Kimia	Komposisi Kimia (%)
1	C	0,027
2	Mn	1,23
3	P	0,029
4	S	0,0041
5	Si	0,585
6	Sn	0,0068
7	Al	0,012
8	Cr	18,40
9	Cu	0,084
10	Ni	9,17
11	Nb	0,027
12	V	0,014
13	Ca	0,00023
14	Mo	0,055
15	Co	0,197
16	Fe	70,05

Sumber: PT. Ispat Indo Sidoarjo

Hasil uji komposisi kimia pada logam induk diperoleh 0,0015 % C, 7,96 % Ni, dan 17,49 % Cr (Tabel 2) termasuk baja tahan karat austenitik (*austenitic stainless steel*) yang merupakan kelompok baja tahan karat 304. Baja tahan karat 304 merupakan salah satu jenis baja tahan karat yang mempunyai struktur atom FCC (*Face Center Cubic*) (ASM International, 2003).

Unsur paduan dalam baja tahan karat 304 menentukan sifat mekanis dan ketahanan karat. Baja tahan karat 304 mempunyai unsur kimia: 0,08 % C (mak), 2,0 % Mn (mak), 0,75 % Si (mak), 0,045 % P (mak), 0,03 % S (mak), 18 % - 20 % Cr, 8 % - 10,5 % Ni dan 0,1 % N (mak) ([www.emeraldinsight.com](http://www.emeraldinsight.com)).

TABEL IV  
DATA HASIL UJI KOMPOSISI KIMIA HAZ

No	Unsur Kimia	Komposisi Kimia (%)
1	C	0,012
2	Mn	1,02
3	P	0,033
4	S	0,0034
5	Si	0,527
6	Sn	0,0044
7	Al	0,012
8	Cr	17,33
9	Cu	0,070
10	Ni	7,84
11	Nb	0,010
12	V	0,14
13	Ca	0,00008
14	Mo	0,026
15	Co	0,225
16	Fe	72,75

Sumber: PT. Ispat Indo Sidoarjo

Unsur Cr yang paling tinggi dapat membentuk lapisan film  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  bersifat protektif, sehingga dapat meningkatkan sifat tahan karat dan unsur C yang rendah dapat menurunkan sensitivitas akibat proses pengelasan. Baja tahan karat austenitik sebagai logam induk merupakan material yang memiliki struktur kristal utamanya fasa  $\gamma$  (Sedricks, 1979 ; Weman, 2003).

Baja tahan karat austenitik terbentuk apabila pada sistem larutan padat Fe-Cr dipengaruhi adanya unsur 7,96 % Ni dan 1,36 % Mn (Tabel 2) sebagai penstabil fasa  $\gamma$  dan menambah luas daerah fasa  $\gamma$  tetapi mempersempit daerah fasa  $\alpha$ . Fasa  $\alpha$  merupakan fasa larutan padat yang memiliki struktur atom BCC (*body centered cubic*) yang sifatnya ulet. Fasa  $\alpha$  dalam keadaan setimbang terjadi pada temperatur ruang, yaitu alpha-ferrite (<http://krisnayanarina.blogspot.com/2014/09/stainless-steel.html>). Kelarutan C di dalam fasa  $\alpha$  relatif lebih rendah dibanding dengan kelarutan C di dalam fasa larutan padat lain di dalam baja, yaitu fasa  $\gamma$ . Cr merupakan unsur penstabil  $\alpha$ . dengan struktur BCC akan memperluas daerah fasa  $\alpha$  dan mempersempit daerah fasa  $\gamma$ , akibatnya terbentuk *loop*.

Pada sistem larutan padat Fe-Cr dengan Cr di atas 12 % tidak terjadi transformasi fasa  $\gamma$  ke  $\alpha$  (<http://krisnayanarina.blogspot.com/2014/09/stainless-steel.html>). Baja tahan karat austenitik dengan 17,49 % Cr (Tabel 2) terbentuk lapisan *film*  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  bersifat protektif, sehingga dapat meningkatkan sifat tahan karat dan 0,015 % C (Tabel 2) memberikan pengaruh semakin menurunnya sensitivitas setelah proses las MIG. Baja tahan karat austenitik setelah dilakukan proses las MIG dan dilanjutkan proses pendinginan udara dari  $680^\circ\text{C}$  ke  $480^\circ\text{C}$  akan terbentuk  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  yang mengendap di batas butir. Endapan ini terjadi pada temperatur  $650^\circ\text{C}$  dan akibat penurunan temperatur tersebut, dapat menurunkan sifat tahan karat dan sifat kekerasan (Tabel 5).

Deposit las merupakan daerah yang lumer (mencair) saat menerima energi panas akibat proses las MIG dan pada daerah ini menerima energi panas yang sangat tinggi dibanding HAZ (Wiryosumarto. 2000). Deposit las berasal kawat las Kisel KST-308L dengan diameter 1,2 mm berbentuk kawat pejal dengan komposisi kimia 0,03 % C, dan 19,3 % Cr (Tabel 4), maka atom-atom Ni akan bereaksi dengan atom-atom C membentuk endapan  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  pada batas butir (*grain boundary*), di mana struktur batas butir akan kekurangan Cr bebas akibatnya disekitar batas butir akan terjadi lapis lindung Cr, sehingga batas butir akan mudah mengalami karat yang mengakibatkan terjadinya korosi batas butir (*intergranular corrosion*). Deposit las dengan 18,4 % Cr (Tabel 3) terbentuk lapisan  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  bersifat protektif, sehingga dapat meningkatkan sifat tahan karat dan 0,03 % C (Tabel 3) semakin menurunkan sensitivitas setelah proses las MIG.

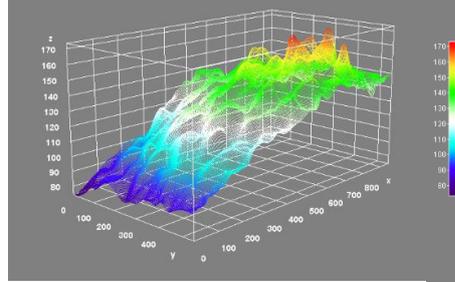
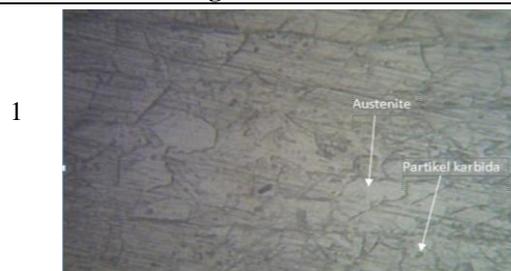
HAZ merupakan daerah berdekatan dengan deposit las dan energi panas yang diterima lebih rendah dibanding deposit las dan selama proses pengelasan mengalami siklus pemanasan akibat energi panas dari proses las MIG dan proses pendinginan lambat (Wiryosumarto,2000). Komposisi kimia HAZ 0,012 % C dan 7,84 % Cr (Tabel 3), maka atom-atom 7,84 % Cr akan bereaksi dengan atom-atom 0,012 % C membentuk endapan  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  pada batas butir di mana di sekitar batas butir akan kekurangan krom bebas akibatnya di sekitar batas butir terjadi lapis lindung krom, sehingga batas butir akan mudah terserang korosi yang mengakibatkan terjadi korosi batas butir.

TABEL V  
DATA HASIL UJI KEKERASAN

No	Hasil Lasan	Angka Kekerasan (HRB)	HR <sub>B</sub> Rata-2
1	Logam Induk	86	86
		86	
		86	
		86	
		82	
2	Deposit Las	82	82
		82	
		82	
		83	
		81	
3	HAZ	77	78
		78	
		79	
		78	
		78	

TABEL VI  
DATA HASIL UJI PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

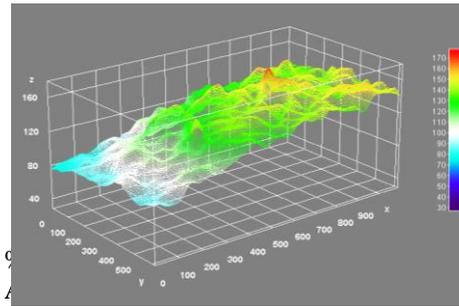
No	Hasil lasan Foto Struktur Mikro Logam Induk
----	---



% Partikel  
Austenit **94,873 %**  
Partikel karbida **5.127 %**

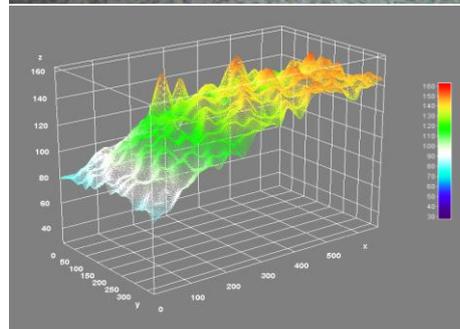
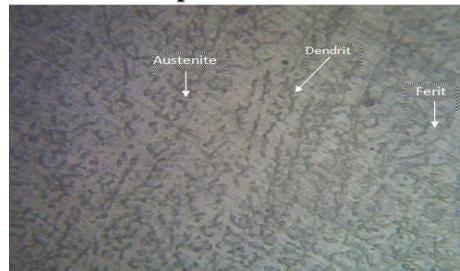
**HAZ**





Partikel karbida **7,450 %**

### Deposit Las



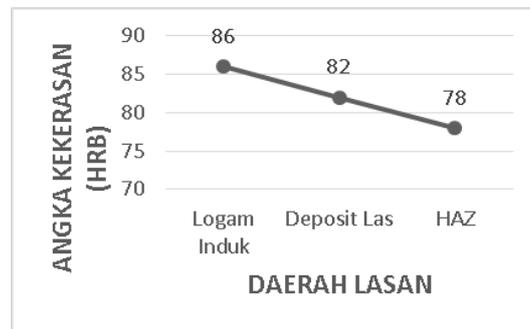
% Partikel	
Austenit	<b>66,665 %</b>
Denrit	<b>18,709 %</b>
Ferit	<b>14,626 %</b>

3

Pada HAZ dengan 7,84 % Cr terjadi transformasi fasa  $\gamma$  ke  $\alpha$ , hal ini disebabkan Cr pada HAZ kurang 12 % seperti pada sistem larutan padat pada Fe-Cr. Cr merupakan unsur penstabil  $\alpha$ . Cr dengan struktur BCC akan memperluas daerah fasa  $\alpha$  dan mempersempit daerah fasa  $\gamma$ . HAZ dengan 7,84 % Cr (Tabel 3) kurang dari 12 % Cr sehingga menghambat pembentukan lapisan *film*  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , akibatnya menurunkan sifat tahan karat dibanding logam induk dan deposit las. Lapisan film  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  tidak mudah pecah dan tidak terlihat secara visual dan lapisan tersebut, dapat rusak dan terbentuk kembali apabila bersenyawa dengan oksigen. Unsur 7,84 % Ni dan 1,02 % Mn merupakan unsur penstabil fasa  $\gamma$  dan menambah daerah fasa  $\gamma$  serta mempersempit daerah fasa  $\alpha$  pada HAZ.

Hasil uji kekerasan pada logam induk 86 HR<sub>B</sub>, deposit las 82 HR<sub>B</sub>, dan HAZ 78 HR<sub>B</sub> (Tabel 5) secara umum angka kekerasan mengalami penurunan, akibatnya sifat keuletan (*ductility*). HAZ dan deposit las semakin meningkat (Grafik 1). Angka kekerasan logam induk 86 HR<sub>B</sub> dan HAZ 78 HR<sub>B</sub>, angka kekerasannya pada kedua daerah tersebut, semakin menurun atau angka kekerasannya semakin menurun 9,302 %. Penurunan tersebut, dipengaruhi energi panas berasal las MIG dengan kuat arus listrik 150 A dan pendinginan udara, sehingga menyebabkan besar butir semakin kasar (*coarse grain*). Pendinginan udara

pada HAZ menyebabkan terjadinya rekristalisasi sehingga meningkatkan sifat keuletan HAZ. Faktor lain penurunan angka kekerasan disebabkan adanya unsur 1,36 % Mn pada logam induk (Tabel 1) lebih rendah dibanding unsur 1,02 % Mn pada HAZ (Tabel 3).



Grafik 1 Angka kekerasan vs daerah las

Angka kekerasan deposit las 82 HR<sub>B</sub> lebih rendah dibanding angka kekerasan logam induk 86 HR<sub>B</sub>, angka kekerasan kedua daerah tersebut semakin menurun atau angka kekerasannya semakin menurun 4,65 %, hal ini disebabkan deposit las merupakan daerah lumer (mencair) saat proses las MIG paling tinggi menerima energi panas dibanding logam induk dan HAZ, sehingga terjadi siklus pemanasan yang tidak seragam, akibatnya terjadi tegangan sisa (*residual stress*) (Wiryosumarto, 2000). Akibat energi panas mendorong terjadi pertumbuhan butir (*grain growth*) pada deposit las dan besar butirnya semakin kasar, sehingga sifat HAZ semakin ulet. Penurunan deposit las juga dipengaruhi oleh 1,36 % Mn pada logam induk (Tabel 1) lebih rendah dibanding 1,23 % Mn pada deposit las (Tabel 2).

Struktur mikro logam induk terbentuk fasa  $\gamma$  memiliki struktur atom FCC dan partikel karbida (Tabel 6). Dalam keadaan setimbang fasa  $\gamma$  terjadi pada temperatur tinggi yang memiliki sifat non magnetik dan ulet. Kelarutan atom C di dalam larutan padat  $\gamma$  lebih besar dibanding dengan kelarutan atom C pada fasa  $\alpha$  (Kalpakjian, 2001).

Struktur mikro HAZ terdiri dari partikel karbida dan austenit equiakial (Tabel 6). Austenit equiakial terbentuk setelah pemanasan kembali dengan temperatur pemanasan yang lebih tinggi. Butiran austenit equiakial pada HAZ tampak lebih besar daripada logam induk, hal ini disebabkan pengaruh energi panas dari proses las MIG yang mengakibatkan terjadinya rekristalisasi terdiri dari delta ferit, presipitat karbida, dan matrik austenit.

Struktur mikro deposit las terbentuk fasa  $\alpha$ , fasa  $\gamma$  dan dendrit (Tabel 6). Dendrit terbentuk setelah cairan kawat las mengalami pendinginan udara pada proses las MIG. Fasa  $\alpha$  merupakan larutan padat yang memiliki struktur. Fasa  $\alpha$  dalam keadaan setimbang dapat diketahui pada temperatur kamar, yaitu alpha-ferrite (pada temperatur tinggi, yaitu delta-ferrite). Kelarutan C di dalam fasa  $\alpha$  relatif lebih kecil dibanding dengan kelarutan C di dalam fasa  $\gamma$  (<http://krisnayanarina.blogspot.com/2014/09/stainless-steel.html>); Kalpakjian, Serope, 2001).

#### IV. KESIMPULAN

Baja tahan karat austenitik setelah proses las MIG dan pendinginan udara terbentuk tiga daerah meliputi: logam induk, HAZ dan deposit las dengan angka kekerasan pada ketiga daerah semakin menurun, sehingga sifat hasil lasan semakin ulet. Struktur mikro logam induk terbentuk, kecuali deposit las terbentuk fasa  $\gamma$ , fasa  $\alpha$ , dendrit, HAZ terbentuk austenite equiakial dan partikel karbida.

#### REFERENSI

- [1] ASM International, 2003. *Trends in Welding Research*. Materials Park, Ohio: ASM International. ISBN 0-87170-780-2.

- [2] Cary, 1993. *Modern Welding Technology*. New Jersey: Prentice Hall.
- [3] Cary, Howard B, 2005. *Modern Welding Technology*. Upper Saddle River, [New Jersey](#): Pearson Education. [ISBN 0-13-113029-3](#).
- [4] Groover, P.M, 2007. *Fundamentals of Modern Manufacturing*. Third Edition. John Wiley & Sonc, INC: Lehigh University.
- [5] Hicks, John 1999. *Welded Joint Design*. [New York](#): Industrial Press. [ISBN 0-8311-3130-6](#).
- [6] Kalpakjian, Serope, 2001. *Manufacturing Engineering and Technology*. Prentice Hall. [ISBN 0-201-36131-0](#).
- [7] [Lincoln Electric](#), 1994. *The Procedure Handbook of Arc Welding*. [Cleveland](#): Lincoln Electric. [ISBN 99949-25-82-2](#).
- [8] Smith, W,F. 1990. *Principles of Materials Science and Engineering*. Second Edition. McGraw-Hill International Editions: New York. Wiley & Sonc, Inc: Lehigh University.
- [9] Weman, Klas,2003. *Welding Processes Handbook*. New York, NY: CRC Press LLC. [ISBN 0-8493-1773-8](#).
- [10] Wiryosumarto, H. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan ke delapan, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- [11] Sedricks, A. John, 1979. *Corrosion of Stainless Steels*, John Wiley & Sons, Inc., NewYork

# Analisis Nilai Kekerasan Pada Baja ST37 Pasca Proses *Pack Carburizing* Sebagai Material Dasar *Sprocket*

Ilham Pangestu, Agus Suprpto, Ike Widyastuti\*

*Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Jawa Timur Indonesia*

\*ike.widyastuti@unmer.ac.id

*Abstrak*— Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses *pack carburizing* dengan penambahan proses lanjutan *cryogenic* dengan raw material ST37 sebagai material dasar pembuatan *sprocket*. Juga mencari perbandingan nilai kekerasan *sprocket* original, Kw 1, dan Kw 2 dari sepeda motor. Proses penelitian dilakukan dengan lebih dulu melakukan proses *carburizing* terhadap baja ST37 dengan metode *pack carburizing* dengan suhu 900°C selama 2 jam, kemudian memberikan perlakuan *cryogenic* dengan mencelupkan pada Nitrogen cair selama 2 jam. Selanjutnya di lakukan uji kekerasan menggunakan metode Rockwell skala A pada permukaan spesimen baik baja ST37 maupun ketiga *sprocket* yang sudah ditentukan. Pada *sprocket* yang diteliti dilakukan pula pengamatan struktur mikro untuk melihat ketebalan lapisan case hardeningnya serta membandingkannya satu sama lain. Dari kedua proses pengujian yang dilakukan mendapatkan hasil antara lain, baja ST37 mendapat nilai kekerasan paling tinggi sebesar 93 HRA dibandingkan *sprocket* original yang hanya sebesar 89 HRA, Kw 1 sebesar 88 HRA dan juga Kw 2 sebesar 92 HRA. Untuk hasil dari pengamatan ketebalan lapisan menggunakan pengamatan struktur mikro dapat disimpulkan bahwa *sprocket* yang memiliki lapisan paling tebal adalah *sprocket* original dengan nilai ketebalan 35,140  $\mu\text{m}$ , dibandingkan dengan *sprocket* lain yang hanya 8,914  $\mu\text{m}$  dari *sprocket* Kw 1 dan Kw 2 sebesar 7,583  $\mu\text{m}$ .

*Kata kunci*— *Pack Carburizing, Cryogenic, ST37, Sprocket, Rockwell, Struktur Mikro.*

*Abstract*— This research aims to find out the effect of the carburizing pack process with the addition of advanced cryogenic processes with raw material ST37 as the basic material of sprocket making. Also look for comparisons of the original sprocket, Kw 1, and Kw 2 hardness values of motorcycles. The research process was carried out by carburizing the ST37 steel with a pack carburizing method with a temperature of 900°C for 2 hours, then providing cryogenic treatment by dipping in liquid Nitrogen for 2 hours. Furthermore, the hardness test was conducted using the A-scale Rockwell method on the specimen surface of both the ST37 steel and the three designated sprockets. In the sprocket studied, micro-structure observations were observed to see the thickness of the hardening case layer and compare it with each other. From both testing processes, st37 steel received the highest hardness score of 93 HRA compared to the original sprocket which was only 89 HRA, Kw 1 by 88 HRA and also Kw 2 for 92 HRA. For the result of observation of layer thickness using microstruction observation it can be concluded that the sprocket that has the thickest layer is the original sprocket with a thickness value of 35,140  $\mu\text{m}$ , compared to other sprockets which are only 8,914  $\mu\text{m}$  of sprocket Kw 1 and Kw 2 of 7,583  $\mu\text{m}$ .

*Keywords*— *Pack Carburizing, Cryogenic, ST37, Sprocket, Rockwell, Micro-Structure.*

## I. PEMBAHASAN

### 1) Latar Belakang

Baja merupakan meterial yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Dalam jenisnya ada beberapa jenis salah satunya ialah baja karbon rendah dimana dikelompokkan berdasarkan kadar karbon yang tekandung. Untuk baja karbon rendah, kadar karbon yang terkandung hanya kurang dari 2%. Maka dalam aplikasinya sebagai material dasar komponen mesin perlu dilakukan pengerasan setelah proses pengerjaan mesin. Baja karbon rendah yang sering digunakan dalam industri pembuatan komponen mesin adalah baja ST37 mengingat harga dan persediaan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan.

Baja ST37 dalam hal ini difungsikan sebagai material dasar pembuatan *sprocket* yang kemudian diberikan perlakuan panas (Heat Treatment) baik secara menyeluruh maupun permukaan saja (Surface Treatment). Baja ST37 memiliki keuletan yang tinggi, jika dilakukan perlakuan panas pada permukaannya dalam hal ini karburasi/*carburizing* maka akan didapatkan baja dengan kekarasan luar yang tinggi namun tetap memiliki keuletan

dibagian dalam sehingga tahan aus namun tidak mudah patah. Ini dilakukan untuk meningkatkan sifat material dasar, agar sesuai dengan sifat yang dibutuhkan dari suku cadang itu sendiri ketika difungsikan sebagai komponen pendukung kendaraan bermotor. Memang *sprocket* mengalami gaya gesek yang tinggi di permukaan terutama pada gigi-giginya namun harus kuat apabila dibebani oleh putaran poros dan roda.

Hal tersebut diatas didukung dengan beberapa penelitian sebelumnya, seperti dalam jurnal “Analisa Variasi Waktu Penahanan Karburisasi Dan Perlakuan Cryogenic Terhadap Sifat Mekanis Baja ST37” oleh David Satya (2020) menyatakan semakin lama waktu penahanan proses karburisasi pada baja ST37 maka akan semakin banyak karbon yang berdifusi sehingga nilai kekerasan semakin meningkat, dengan hasil pada penahanan 90 menit + cryogenic 2 jam harga kekerasannya 80,45 HRA. Sementara dalam jurnal penelitian Dewa (2015) dengan judul “*Pack Carburizing* Baja Karbon Rendah” menjelaskan bahwa adanya peningkatan kekerasan pada raw material baja karbon rendah dengan nilai 183,60 HV1 menjadi 368,46 HV1 setelah diberikan perlakuan pack carburizing. Tentu ini menjadi pandangan dasar sebagai rujukan penelitian ini dimana perlakuan panas carburizing mampu meningkatkan kadar karbon dalam baja dengan karbon rendah yang hanya sekitar 0.3%, hingga nilai kekerasannya meningkat lebih dari 100% dari nilai awal. Penelitian Richard (2018) juga mengungkapkan carburizing dengan *potassium hexacyanoferrate* sebagai karbon cair mampu meningkatkan kekerasan sprocket imitasi, dan diperoleh nilai kekerasan tertinggi apabila waktu penahanan 45 menit yaitu 106,48 HRB pada *sprocket* imitasi hitam juga 102,90 HRB.

Baja merupakan material teknik yang berasal dari unsur paduan dengan unsur dasar besi (Fe). Secara sekilas memang tidak terlalu jauh kelihatan perbedaan diantara besi dan juga baja yang membedakan dari segi unsur adalah kadar karbon yang terkandung di dalamnya. Pada baja kadar karbon tidak lebih dari 2%, selebihnya termasuk besi. Kadar karbon dalam baja ini mempengaruhi kekerasannya dimana semakin tinggi kadar karbon yang terkandung maka akan semakin tinggi kekerasan yang dimiliki. Maka dalam kebutuhan tertentu ada proses perlakuan panas tertentu untuk meningkatkan ataupun menurunkan kadar karbon yang dikandung dengan tujuan tertentu pula. Perlakuan panas sendiri merupakan cara memberikan panas dan proses khusus untuk mencapai sifat material yang diperlukan, contoh dalam baja ada *carburizing*.

Pada logam baja biasanya dalam memperoleh sifat tertentu perlu dilakukan proses khusus pada material tersebut, tahapan ini dilakukan dengan pemanasan pada suhu dan waktu tertentu juga sebagian atau keseluruhan bagian material yang sering disebut *Heat Treatment*. Perlakuan panas yang akan dilakukan pada penelitian ini ialah *carburizing* dengan metode *pack carburizing* dimana benda kerja dimasukkan pada wadah logam dan diisi penuh arang sebagai sumber karbon, ditutup rapat kemudian dipanaskan hingga suhu 900°C selama 2 jam selanjutnya di-*quenching* atau didinginkan secara cepat dengan media air.

*Sprocket* merupakan suatu komponen penggerak dalam kendaraan bermotor yang berbentuk lingkaran pipih dengan tepi bergigi dan berpasangan dengan rantai roll sebagai penghubungnya, dapat dijumpai dibanyak kendaraan bermotor roda dua. Fungsi dari komponen ini adalah meneruskan daya yang dihasilkan dari mesin kendaraan menuju roda sehingga kendaraan tersebut dapat melaju. Dalam mekanisme kerjanya gigi-gigi pada sprocket berputar mengikuti putaran porosnya serta dalam waktu yang sama putaran tersebut menarik rantai roll untuk berputar dan menggerakkan *sprocket* belakang. Hal tersebut menimbulkan gesekan antara *sprocket* dengan rantai maka pada sisi yang bersinggungan perlu diberikan perlakuan khusus untuk mencegah proses keausan yang terjadi karena gesekan tersebut, untuk itu dalam penelitian ini ada proses *pack carburizing*.

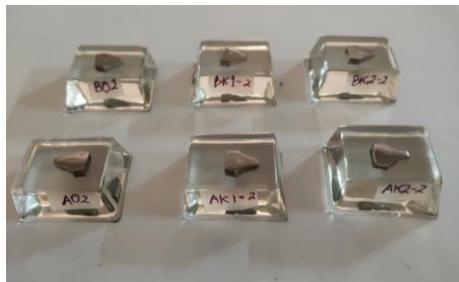


Gambar 1. Sprocket depan sepeda motor

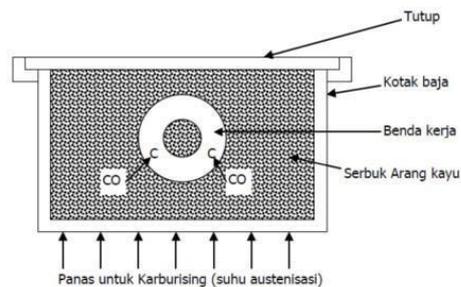
Riset ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari data secara kuantitatif dengan pengujian kekerasan sehingga dapat diambil kesimpulan secara faktual bahwa ada pengaruh dalam proses *pack carburizing* yang dilakukan terhadap baja karbon rendah ST37. Sebagai pembandingan lain dimana baja ST37 dimaksudkan untuk menjadi *raw material* dari *sprocket* maka diambil sampel serupa yaitu *sprocket* dari sepeda motor Honda Supra Fit dengan kualitas Original, Kw 1, dan Kw 2.

## II. METODE

Material yang diteliti dalam riset ini ialah baja karbon rendah dengan kode ST37 yang sudah dipotong agar mempermudah dalam proses pengujian kekerasan, serta sprocket yang dipilih menjadi pembandingan dalam pengujian juga dipotong pada ujung gigi supaya dapat diuji kekerasan permukaannya.



Gambar 2. Gigi sprocket yang sudah dipotong sebagai spesimen uji



Gambar 3. Proses *pack carburizing*

Untuk material baja ST37 dimasukkan dalam kotak baja dengan dipenuhi arang dari batok kelapa dan ditutup rapat kemudian diberi perlakuan panas *pack carburizing* pada dapur pemanas dengan suhu konstan 900°C dengan suhu penahanan 2 jam lalu di *quenching* dengan pendingin air, selanjutnya diberikan perlakuan *cryogenic* dengan dicelupkan pada nitrogen cair selama 2 jam. Sedangkan untuk *sprocket* Honda Supra Fit yang lain dengan kualitas original, Kw 1 dan Kw 2 tidak di berikan perlakuan apapun dikarenakan secara proses pembuatan sudah diberi *treatment* khusus seperti *case hardening*. Sehingga perbandingan pengujian kekerasan permukaan yang dilakukan pada material sama-sama pada sisi yang sudah mengalami proses *case hardening* terkhusus *carburizing*. Metode selanjutnya untuk mengambil data secara kuantitatif dilakukan uji kekerasan Rockwell dengan skala A beban pengujian sebesar 60 kg serta indentor intan atau diamond.

Selain dengan uji kekerasan menggunakan Rockwell skala A dilakukan juga proses pengamatan struktur mikro terhadap spesimen uji yang sudah dipotong pada bagian gigi *sprocket*. Ini dilakukan dengan tujuan melihat ketebalan lapisan hasil *case hardening* yang terbentuk pada permukaan *sprocket*. Mengingat proses pengerjaan pemessinan pada *sprocket* ada tahapan pengerasan permukaan yaitu *pack carburizing*. Perlu adanya persiapan sebelum dilakukannya pengamatan struktur sesuai dengan langkah yang dianjurkan. Adapun langkahnya antara lain yaitu pemotongan bagian yang diuji, dilanjutkan peresinan apabila spesimen kecil maka sulit untuk dipegang langsung, kemudian diampelas sampai halus dan dipoles, hingga terakhir dietsa dengan larutan Asam Nitrat (HNO<sub>3</sub>). Maka dengan langkah yang sudah dilalui tadi pengamatan dengan mikroskop akan memperlihatkan struktur mikro dari spesimen.

### III. HASIL

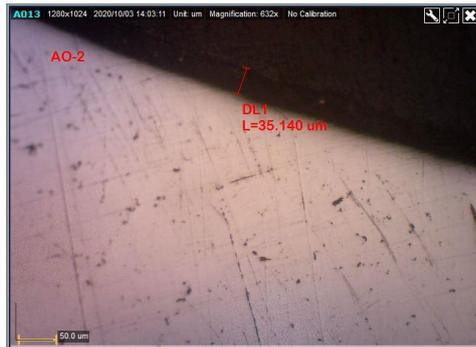
Hasil uji kekerasan baja ST37 dengan ketiga *sprocket* pembanding pada tabel dibawah ini:

TABEL I  
ANGKA KEKERASAN SPROCKET SKALA HRA

	KEKERASAN SPROCKET (HRA)			
	ORIGINAL DEPAN	KW 1 DEPAN	KW 2 DEPAN	ST37
	88.5	80.5	81.5	92
	88.5	82.5	86.5	92
	89	82.5	87.5	92
	89	88	88.5	95
	91.5	89.5	92	94
RATA-RATA	89	88	92	93

Dari data dapat dilihat bahwa nilai kekerasan rata-rata *sprocket* original adalah sebesar 89 HRA, untuk nilai kekerasan rata-rata *sprocket* Kw 1 sebesar 88 HRA juga dapat dilihat untuk *sprocket* Kw 2 memiliki nilai kekerasn sebesar 92. Sedangkan jika dilihat lebih lanjut *sprocket* dengan raw material ST37 memiliki kekerasan sebesar 93 HRA.

Hasil dari pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada spesimen uji menggunakan mikroskop ada pada gambar 4,5, dan 6 berikut ini.



Gambar 4. Foto struktur mikro spesimen sprocket original depan



Gambar 5. Foto struktur mikro spesimen sprocket Kw 1 depan



Gambar 6. Foto struktur mikro spesimen sprocket Kw 2 depan



Gambar 7. Foto struktur mikro spesimen baja ST37

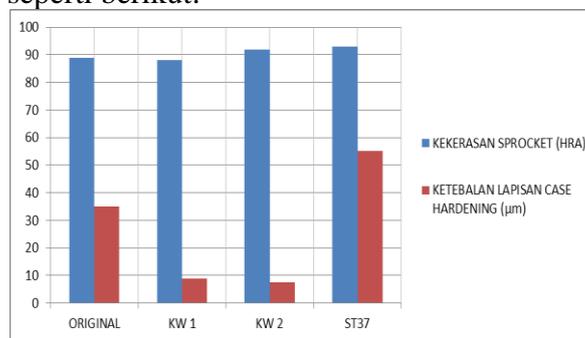
TABEL II  
KETEBALAN LAPISAN HASIL CASE HARDENING

KETEBALAN LAPISAN CASE HARDENING ( $\mu\text{m}$ )			
ORIGINAL	KW 1	KW 2	ST37
35,14	8,914	7,583	55,177

Tabel 2 menunjukkan ketebalan lapisan hasil *case hardening* dari *sprocket* original bagian depan dengan ukuran sebesar 35,140  $\mu\text{m}$ , *sprocket* Kw 1 bagian depan dengan ketebalan sebesar 8,914  $\mu\text{m}$ . Serta ketebalan dari lapisan *case hardening sprocket* Kw 2 sebesar 7,583  $\mu\text{m}$ .

#### PEMBAHASAN

Dari penelitian diatas dapat ditarik grafik hubungan antara kekerasan dengan ketebalan lapisan yang terbentuk, seperti berikut:



Grafik 1. Grafik batang kekerasan dan ketebalan lapisan hasil *Case Hardening*

Menilik hal tersebut diatas perlu dijabarkan terkait dengan hasil dari proses penelitian yang sudah dilakukan. Dilihat dari hasil penelitian yang sudah disajikan dalam tabel diatas, menunjukkan bahwa besaran nilai kekerasan yang paling tinggi justru pada baja ST37 dengan nilai 93 HRA apabila dibandingkan dengan nilai kekerasan pada ketiga *sprocket*. Ini berkesinambungan dengan teori proses perlakuan *carburizing* dimana pada suhu pemanasan antara 850°C-950°C saat *holding time* akan membuka pori-pori baja sehingga karbon yang ada bisa masuk memenuhi lapisan luar sehingga terbentuk lapisan luar yang keras. Selain hal tersebut grafik juga memperlihatkan lapisan luar yang lebih tebal sebesar 55,177  $\mu\text{m}$  dari ST37 dibandingkan dengan *sprocket* lain yang menunjukkan lapisan original 35,140  $\mu\text{m}$ , Kw 1 hanya sebesar 8,914  $\mu\text{m}$  dan Kw 2 sebesar 7,583  $\mu\text{m}$ .

#### KESIMPULAN

Dari uraian data pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa baja ST37 dengan penambahan treatmen *pack carburizing* menghasilkan nilai kekerasan rata-rata 93 HRA merupakan nilai paling tinggi dibanding kekerasan dari sprocket original yang hanya sebesar 89 HRA, Kw 1 sebesar 88 HRA, dan juga Kw 2 sebesar 92 HRA. Hal ini juga menunjukkan bahwa label tidak selalu mempengaruhi kualitas atas dasar bahwa sprocket original dengan nilai kekerasan 89 HRA justru lebih rendah dibandingkan *sprocket* Kw 2 yang memiliki nilai sebesar 92 HRA.

Untuk hasil dari pengamatan ketebalan lapisan menggunakan pengamatan struktur mikro dapat disimpulkan bahwa *sprocket* yang memiliki lapisan paling tebal adalah *sprocket* ST37 dengan nilai ketebalan 55,117  $\mu\text{m}$ , dibandingkan dengan *sprocket* lain yang hanya 35,140  $\mu\text{m}$  dari *sprocket* original, 8,914  $\mu\text{m}$  dari *sprocket* Kw 1 dan Kw 2 sebesar 7,583  $\mu\text{m}$ .

Hubungan antara ketebalan dengan kekerasan adalah berbanding lurus sebagaimana diperlihatkan pada grafik 1 diatas. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tebal lapisan hasil karburasi maka kekerasan permukaan yang dimiliki suatu baja akan semakin tinggi nilainya.

#### REFERENSI

- [1] Available: <http://beritatrans.com/2019/01/09/otoritas-baru-transportasi-di-jabodetabek-sejauh-mana-urgensinya/>.
- [2] N. Dewa, dan M. I Dewa, "Pack Carburizing Baja Karbon Rendah", Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.7, No.1, April 2015.
- [3] M. Richard, dalam skripsi berjudul "Peningkatan Kekerasan Sprocket Imitasi Melalui Proses Karburasi Cair Dengan Suhu 850°C", Yogyakarta, 2018.
- [4] David Satya Hartanto, Agus Suprpto, Ike Widyastuti (2020)" Analisa Variasi Waktu Penahanan Karburisasi Dan Perlakuan Cryogenic Terhadap Sifat Mekanis Baja St37", TRANSMISI, Vol-16 Edisi-1/ Hal.56-64

# Optimasi Parameter Anodizing pada Aluminium 6061 dengan Metode Taguchi

Dewi Izzatus Tsamroh, Agus Suprpto\*, Pungky Eka Setyawan

Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia (Alamat termasuk nama negara)

dewi.tsamroh@unmer.ac.id

\*agus.suprpto@unmer.ac.id (penulis korespondensi)

pungky.setya@unmer.ac.id

**Abstrak**— Aluminium 6061 merupakan salah satu paduan aluminium yang digunakan dalam berbagai bidang. Penggunaan Aluminium 6061 ditemukan pada industri makanan hingga industri otomotif. Hal ini karena aluminium 6061 memiliki berbagai sifat unik, yang mana ia memiliki sifat yang ringan, tahan terhadap korosi, mudah dilas, ditempa, dan dicor. Meskipun demikian, paduan aluminium ini memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Perlakuan anodizing banyak dilakukan untuk meningkatkan kekerasan permukaan material dengan berbagai jenis variasi variabel bebas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan hasil optimasi pada proses anodizing dengan menggunakan metode Taguchi. Metode penelitian ini adalah metode eksperimental dengan pendekatan statistik dengan menggunakan Minitab 16, tiga parameter terkontrol dipilih yaitu jenis larutan ( $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ , dan  $HNO_3$ ), besar tegangan (15, 20, 30V), dan durasi waktu pencelupan (10, 20, 30 menit). Ketebalan lapisan oksida, kekerasan permukaan, dan ketahanan aus aluminium 6061 merupakan karakteristik kualitas. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan *orthogonal arrays* L9 ( $3^3$ ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peringkat parameter yang berpengaruh secara signifikan adalah jenis larutan, durasi waktu pencelupan, dan terakhir adalah besar tegangan.

**Kata kunci**— Anodizing, aluminium 6061, ketebalan lapisan, kekerasan, ketahanan aus, Taguchi.

**Abstract**— Aluminum 6061 is an aluminum alloy that is used in various fields. The use of Aluminum 6061 is found in the food industry to the automotive industry. This is because aluminum 6061 has a variety of unique properties, which are lightweight, resistant to corrosion, easy to weld, hammer and cast. Despite this, aluminum alloy has low hardness and wear resistance. Anodizing treatment is mostly done to increase the surface hardness of the material with various types of independent variable variations. Therefore, this study aimed to describe the optimization results in the anodizing process using the Taguchi method. Methodology of this research was an experimental method with a statistical approach by using Minitab 16, three controlled parameters were selected, which were the solution type ( $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ , and  $HNO_3$ ), the voltages (15, 20, 30V), and the duration of immersion (10, 20, 30 minutes). The oxide layer thickness, surface hardness and wear resistance of aluminum 6061 were quality characteristics. Experiments were carried out using orthogonal arrays L9 ( $3^3$ ). The results showed that the ranking of parameters that had a significant effect were the type of solution, the duration of immersion, and the last was voltage.

**Keywords**— Anodizing, aluminum 6061, thickness coating, hardness, wear resistance, Taguchi.

## I. PENDAHULUAN

Paduan aluminium banyak digunakan di industri, seperti industri otomotif dan pesawat terbang [1]. Penggunaan paduan aluminium dalam industri pesawat terbang mencapai 90% [2]. Saat ini penggunaan paduan aluminium telah meningkat pesat [3], pada tahun 2011 paduan aluminium digunakan sebanyak 68,5 ton, dan terus meningkat sebesar 9,9% pertahun dalam ton [4]. Paduan aluminium 6061 merupakan salah satu jenis paduan aluminium yang telah banyak digunakan dalam industri otomotif sejak tahun 1980. Paduan ini telah diaplikasikan di berbagai bidang, tidak hanya untuk otomotif dan pesawat terbang tetapi juga untuk peralatan rumah tangga, komponen regulator, nuklir, komponen militer dan konstruksi lainnya [5]. Suku cadang otomotif yang bekerja pada suhu tinggi seperti kepala silinder, piston, katup, blok mesin, dll. Sebagian besar terbuat dari paduan aluminium [3], [6]. Aluminium alloy banyak dipilih sebagai material dalam industri otomotif atau pesawat terbang karena sifat khususnya yaitu rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, selain itu material ini memiliki sifat ringan, kekuatan tinggi, murah, ketahanan korosi yang baik, dan mudah dibuat [7]. Namun kekuatan bahan ini lebih rendah dibandingkan dengan bahan komersial lainnya seperti baja, besi tuang, dan tembaga. Paduan aluminium yang

diaplikasikan sebagai komponen otomotif dalam industri seharusnya memiliki kekuatan yang lebih tinggi, sehingga sifat mekaniknya perlu ditingkatkan [8].

Sifat mekanik aluminium dapat ditingkatkan dengan melakukan beberapa perlakuan seperti paduan, perlakuan panas, penuaan, dan juga pengerjaan dingin [3]. Duralium merupakan jenis non ferro-alloy yang terdiri dari aluminium, tembaga, dan magnesium yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut: ringan, tahan korosi baik, tahan aus dan tahan lelah (durability) tinggi [9], [10]. Salah satu jenis perlakuan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanik duralium adalah proses anodizing [11].

Penelitian sebelumnya dengan menggunakan proses anodizing pada paduan aluminium 6061 (AA6061) dalam larutan elektrolit  $H_2SO_4$  merupakan proses penting dalam pembentukan film aluminium oksida anodik (AAO) untuk meningkatkan ketahanan material terhadap korosi. Dalam penelitian ini, pengaruh parameter konsentrasi elektrolit, rapat arus, dan waktu anodisasi terhadap evolusi ketahanan korosi pada paduan AA6061 diselidiki menggunakan metode Taguchi [12].

Penelitian ini akan menggunakan metode Taguchi untuk mengetahui parameter jenis larutan, besar tegangan, serta durasi waktu pencelupan yang paling optimum terhadap respon ketebalan lapisan oksida, kekerasan permukaan, serta ketahanan aus paduan aluminium 6061.

## II. METODE

### a. Metode Taguchi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah proses desain eksperimental yaitu metode desain Taguchi [13]. Metode Taguchi telah banyak diterapkan dalam analisis teknik untuk mengoptimalkan karakteristik kinerja melalui pengaturan parameter desain [10]. Metode Taguchi melibatkan pengurangan variasi dalam proses melalui desain eksperimen yang kuat [14].

### b. Eksperimen

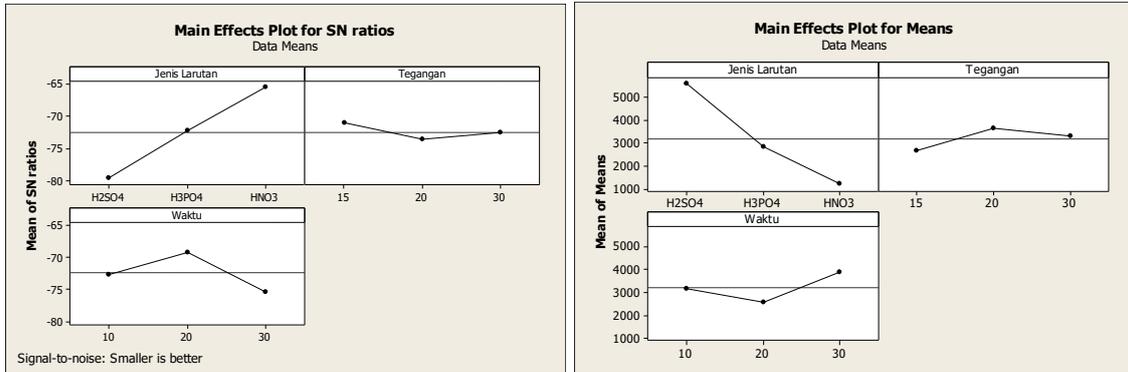
Eksperimen dilakukan sesuai dengan hasil optimasi kemudian dilanjutkan dengan uji sifat mekanik. Spesimen aluminium 6061 dibentuk dengan dimensi 10 mm x 35 mm x 25 mm. Pre-treatment pada specimen dilakukan proses degreasing etching, dan desmutting. Proses anodizing pada penelitian ini menggunakan tiga level untuk tiga faktor. Setelah proses anodizing dilakukan, dilanjutkan dengan proses dying, dan diakhiri dengan pengujian spesimen. Layout standar pada eksperimen ini adalah orthogonal array L9 ( $3^3$ ), parameternya disajikan pada Tabel 1. Sedangkan parameter dan levelnya ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel 3 menunjukkan desain eksperimen untuk setiap proses anodizing dan hasilnya. Faktor/parameter yang meliputi jenis larutan ( $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ ,  $HNO_3$ ), besar tegangan (15, 20, 30V) dan waktu pencelupan (10, 20, 30 menit) pada proses anodizing paduan dicatat dalam kolom OA L9 ( $3^3$ ). Ketebalan lapisan, kekerasan permukaan, dan ketahanan aus merupakan luaran/hasil. Data mean dan S/N ratio digunakan untuk menganalisis data.

Nomor Percobaan	Heat treatment parameters		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

**Tabel 2.** Parameter Anodizing dan levelnya

Level	Jenis Larutan	Tegangan	Waktu Pencelupan
1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15 V	10 menit
2	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	20 V	20 menit
3	HNO <sub>3</sub>	30 V	30 menit

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. S/N Rasio Taguchi

Gambar di atas menunjukkan respon Taguchi terhadap parameter anodizing yang digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan Gambar 1, dapat diketahui jika parameter yang paling optimum pada proses anodizing dalam penelitian ini adalah jenis larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan tegangan 20 V, serta waktu pencelupan selama 30 menit. Berdasarkan analisis Taguchi juga didapatkan hasil sebagai berikut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peringkat parameter yang berpengaruh secara signifikan adalah jenis larutan, durasi waktu pencelupan, dan terakhir adalah besar tegangan.

Penelitian ini selaras dengan penelitian terdahulu yang meneliti mengenai pengaruh proses anodizing terhadap ketahanan korosi sampel AA6061, pada penelitian tersebut tegangan dengan nilai yang konstan 22 V merupakan nilai paling optimum dalam kaitannya pada ketahanan korosi AA6061 [14]. Perilaku tegangan-waktu tipikal untuk film AA6061 yang dianodisasi di bawah kondisi anodisasi berbeda. Umumnya, proses anodizing dapat dibagi menjadi tiga tahap. Tahap pertama adalah pembentukan lapisan penghalang; pada saat yang sama, tegangan meningkat tajam. Ketika tegangan mencapai nilai maksimum, tahap kedua dimulai, dan lapisan berpori terbentuk; jika lapisan berpori tidak terbentuk dengan jelas selama transisi dari tegangan maksimum ke tegangan stabil, maka akan terjadi retak. Selanjutnya, tegangan secara bertahap menurun seiring dengan meningkatnya waktu anodisasi proses anodizing dan tegangan pada akhirnya mencapai nilai yang stabil, yang merupakan awal dari tahap ketiga. Selama tahap ketiga, ketebalan lapisan berpori meningkat seiring dengan waktu anodisasi, sedangkan tegangan tetap konstan [14].

Penelitian sebelumnya mengenai anodizing pada aluminium 6061 menunjukkan bahwa ketebalan lapisan oksida berpengaruh secara signifikan terhadap kekerasan permukaan spesimen. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa ketahanan aus pada spesimen hasil anodizing juga dipengaruhi oleh besar tegangan dan waktu pencelupan [15].

### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan tentang optimasi parameter anodizing pada paduan aluminium 6061 dengan menggunakan metode Taguchi, dapat disimpulkan bahwa parameter yang paling berpengaruh secara signifikan dalam menghasilkan ketebalan lapisan oksida yang optimum, angka kekerasan dan ketahanan aus yang baik adalah jenis larutan pada peringkat 1, kemudian durasi waktu pencelupan pada peringkat 2, dan besar tegangan pada

peringkat 3. Kondisi optimal untuk mendapatkan ketebalan, angka kekerasan, dan ketahanan aus paduan aluminium 6061 pada proses anodizing adalah: jenis larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, waktu pencelupan selama 30 menit, dengan tegangan sebesar 20 V.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Kemenristek Dikti untuk HIBAH PDUPT 2020.

#### REFERENSI

- [1] M. Chacko and J. Nayak, "Aging Behaviour of 6061 Al-15 vol% SiC Composite in T4 and T6 Treatments," *Int. J. Chem. Mol. Nucl. Mater. Metall. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 195–198, 2014.
- [2] P. Rambabu, N. E. Prasad, and V. V. Kutumbarao, "Aerospace Materials and Material Technologies," 2017.
- [3] P. Puspitasari, D. Puspitasari, M. I. N. Sasongko, Andoko, and H. Suryanto, "Tensile strength differences and type of fracture in artificial aging process of duralium against cooling media variation," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1778, pp. 0–4, 2016.
- [4] E. Ghassemieh, "Materials in Automotive Application , State of the Art and Prospects," *New Trends Dev. Automot. Ind.*, pp. 365–394, 2011.
- [5] K. Lee, S. Yang, and J. Yang, "Optimization of heat-treatment parameters in hardening of titanium alloy Ti-6Al-4V by using the Taguchi method," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2016.
- [6] Anne Zulfia, Ratna Juwita, Ari Uliana, I Nyoman Jujur, and Jarot Raharjo, "Proses Penuaan (Aging) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting," *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 13–20, 2010.
- [7] J. Mulyanti, "Pengaruh Temperatur Proses Aging Terhadap Karakteristik Material Komposit Logam Al-SiC Hasil Stircasting," *J. Kompetensi Tek.*, vol. 2, no. 2, pp. 95–104, 2011.
- [8] P. Kumar, K. B. Prateek, M. Shilpa, and C. S. C. Kumar, "Optimization of Heat Treatment Parameters for the A2024 aluminum Alloy Using Taguchi 's Orthogonal Array Approach," vol. 1, no. 3, 2014.
- [9] A. Feni, "Pengaruh Ketebalan Dinding Terhadap Distribusi Kekerasan Dan Porositas Bushing dari Duralumin Powder Metallurgy," pp. 1–10.
- [10] M. Stoicănescu, M. Smeadă, V. Geamăn, and I. Radomir, "The Influence of Work Parameters about the Heat Treatment Applied to AlCu4Mg1,5Mn - Aluminum Alloy," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 62, pp. 886–890, 2012.
- [11] I. Polmear, "Aluminium Alloys--A Century of Age Hardening," *Mater. forum*, vol. 28, pp. 1–14, 2004.
- [12] M. M. Hamasha, A. T. Mayyas, and M. T. Hayajneh, "The Effect of Time , Percent of Copper and Nickel on the Natural Precipitation Hardness of Al – Cu – Ni Powder Metallurgy Alloys Using Design of Experiments," *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 10, no. 6, pp. 479–492, 2011.
- [13] D. I. Tsamroh, P. Puspitasari, Andoko, M. I. N. Sasongko, and C. Yazirin, "Comparison study on mechanical properties single step and three step artificial aging on duralium," vol. 20070, p. 20070, 2017.
- [14] I. C. Chung, C. K. Chung, Y. K. Su, "Effects of anodization parameters on the corrosion resistance of 6061 Al alloy using the Taguchi method," *Microsyst Technol.*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017.
- [15] Agus Suprpto, Pungky Setyawan, Aries Setiawan, Dewi Tsamroh, "The Effect of Anodizing Solution Type Against the Coating Thickness and Wear Rate of Aluminum 6061. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* 10(12), 2019, pp. 57-64.

# Analisis Komparasi Struktur dan Termal Piringan Rem Cakram Berventilasi

Darto\*, I Made Sunada, Roman

Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia

\*darto@unmer.ac.id

*Abstrak*— Komponen kendaraan yang berkaitan dengan sistem pengereman menjadi yang utama untuk diperhatikan dalam produksi sebuah kendaraan dalam hal ini adalah mobil. Pengereman adalah bagian terpenting dalam kendaraan. Rem berfungsi untuk melambatkan dan menghentikan rotasi/putaran roda. Untuk menghentikan putaran roda, kampas rem bekerja secara mekanis terhadap piringan rem cakram pada kedua sisi permukaan. Energi kinetik yang bekerja pada pengereman berubah menjadi energi termal dan membuat putaran roda melambat dan berhenti. Analisis struktur dan termal bertujuan untuk mengetahui kinerja piringan rem cakram pada saat proses pengereman berlangsung. Di dalamnya dapat diketahui persebaran panas dan kekuatan struktur, deformasi dan ekuivalen tegangan pada piringan rem cakram berventilasi. Proses analisis ini menggunakan perangkat lunak ANSYS Workbench 18.1. Hasil yang didapat bahwa temperatur piringan rem cakram akan terus meningkat saat proses pengereman berlangsung. Material grey cast iron dengan variabel uji tekanan 1, 2, 5, dan 10 MPa memiliki nilai deformasi terendah dibandingkan dengan material Al. MMC dan stainless steel dengan rata-rata deformasi 0,36 mm.

*Kata kunci*— Piringan rem cakram berventilasi, struktur, termal, ANSYS Workbench

*Abstract*— Vehicle components related to the braking system become the main focus in the production of a vehicle especially in automobile industries. Braking System is the major part of the vehicle. Brake works to slow and stop rotation / wheels rotation. To stop wheels rotation, braking pads work mechanically by pressing disc brake on both sides of the disc's surface. Kinetic energy which working on the braking system than turns into thermal energy and makes the wheel spin slow-down and stop. Structural and thermal analysis aims to know and determine the performance of disc brake during braking process. On it, it will known about thermal distribution and structural strength, deformation and equivalent stress (von Mises) of ventilated disc brake. The analysis process uses software ANSYS Workbench 18.1. The results obtained that disc brake's temperature will continue to increase when the braking process occurs. Gray cast iron with pressure test variables 1, 2, 5, and 10 MPa has the lowest deformation value compared with Al. MMC and stainless steel with an average deformation of 0.36 mm

*Keywords*— Ventilated Disc Brake, Structure, Thermal, ANSYS Workbench.

## I. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya dunia otomotif saat ini, semakin menuntut para ilmuwan untuk menemukan inovasi-inovasi baru dalam dunia otomotif. Beberapa hal yang menjadi fokus utama dalam membangun sebuah mobil antara lain : pemesinan, kenyamanan, keamanan dan pengaplikasian teknologi dalam sistem kendaraan itu sendiri.

Namun dari hal-hal yang penting di atas faktor keamanan tetap menjadi hal utama yang harus selalu diperhatikan dalam perencanaan sebuah mobil. Salah satunya adalah sistem pengeremannya. Fokus utama dalam pengereman pada suatu mobil yaitu harus dapat mengimbangi performa mesin mobil itu sendiri. Sehingga pada saat kondisi darurat rem dapat bekerja dengan optimal dan keselamatan pengemudi dan pengguna jalan lain tetap terjaga.

Tipe rem yang saat ini digunakan pada sebagian besar kendaraan mobil ada dua yakni tipe rem tromol dan rem cakram. Pada tugas akhir ini penulis mengangkat tema tentang rem cakram berventilasi. Secara garis besar tipe rem cakram itu sendiri terdapat dua jenis, rem cakram tipe solid dan rem cakram tipe berventilasi.

Sebelumnya beberapa peneliti telah melakukan penelitiannya masing-masing yang berhubungan dengan rem baik tipe solid atau berventilasi dan telah diterbitkan dalam jurnal internasional. Penelitian tersebut menjadi masukan penting bagi penulis sebagai variabel penelitian dalam membuat tugas akhir ini. Penelitian tersebut antara lain :

1. Structural and Thermal Analysis of Rotor Disc of Disc Brake yang telah diteliti oleh Manjunath T.V dan Dr. Suresh P.M. Dalam penelitiannya di jelaskan bahwa penggunaan rem

cakram berventilasi lebih baik dibanding dengan rem cakram tipe solid karena nilai tegangan, deformasi, dan temperatur yang lebih baik.

2. Thermal and Structural Analysis using FEA on Pillar Vans Type Ventilated Disc Brake Rotor yang telah diteliti oleh Anurag Patel dan Ankur Malviya. Dalam hasil penelitiannya disebutkan bahwa rem cakram berbahan stainless steel memiliki nilai deformasi yang lebih baik dibanding dengan rem cakram berbahan grey cast iron, sedangkan berdasarkan nilai tegangannya bahan grey cast iron memiliki kemampuan performa yang lebih baik dibanding bahan stainless steel.

3. Design and Analysis of a Vented Disc Brake Rotor yang diteliti oleh Gowrisankar Madu dan Kandula Deepthi. Dalam hasil penelitian struktural dijelaskan nilai intensitas tegangan lebih rendah pada piringan rem cakram tipe ventilasi dibandingkan dengan tipe solid dan untuk material terbaik dalam analisa struktural ialah AL MMC dibandingkan dengan stainless steel dan cast iron. Begitu pula didapatkan pada analisa termal, material AL MMC memiliki nilai termal yang lebih rendah dibandingkan stainless steel dan cast iron

## II. METODE

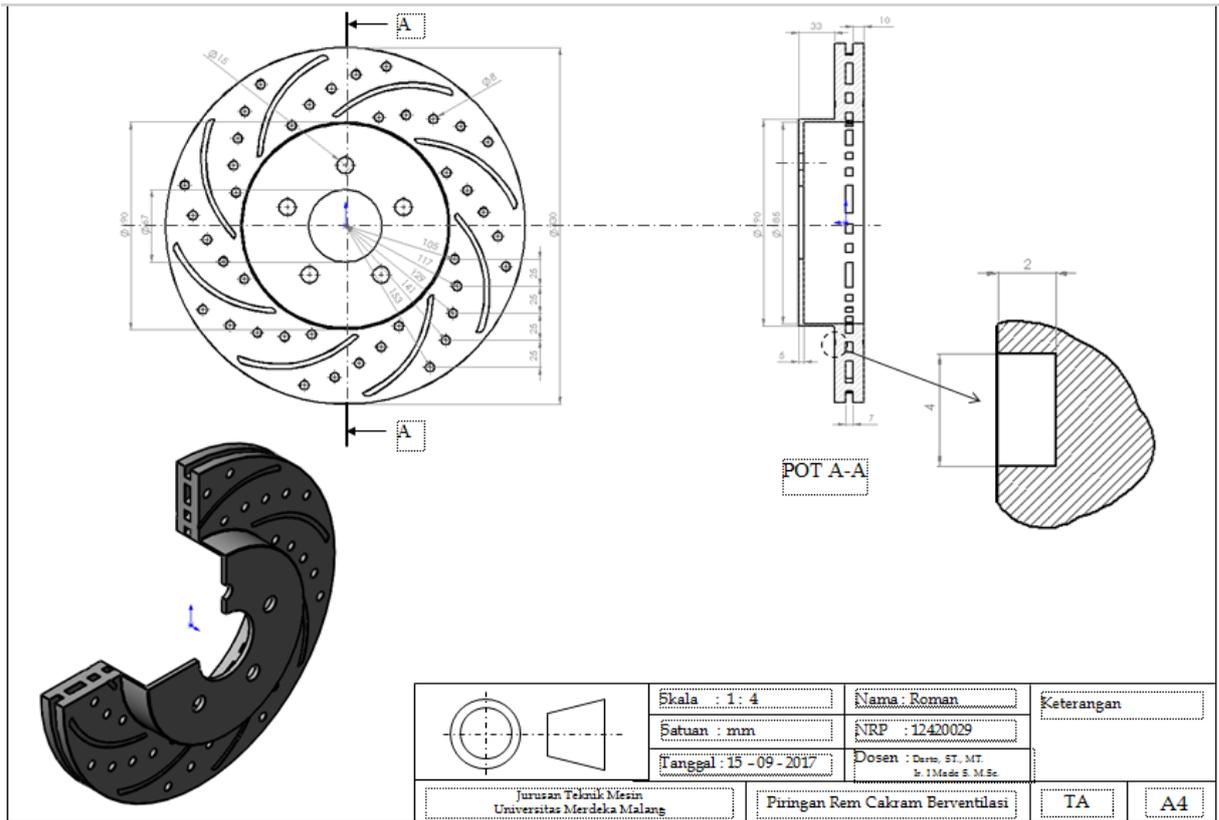
Metode yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah dengan mensimulasikan desain rem cakram berventilasi untuk satu variabel tetap yaitu dimensi rem cakram berventilasi dan variabel tidak tetap berupa jenis material rem cakram yaitu

1. SAE J431 Grade G3000 Grey Cast Iron
2. Al. MMC (Metal Matrix Composite)
3. Stainless Steel

Sedangkan parameter yang dihitung dalam simulasi adalah variabel energi kinetik yang terjadi saat pengereman, jarak pengereman sampai kendaraan berhenti serta daya pengereman total, sehingga mendapatkan hasil kemampuan struktural dan termal pada piringan rem cakram menggunakan perangkat lunak ANSYS 18.1

TABEL I  
MATERIAL PROPERTIES

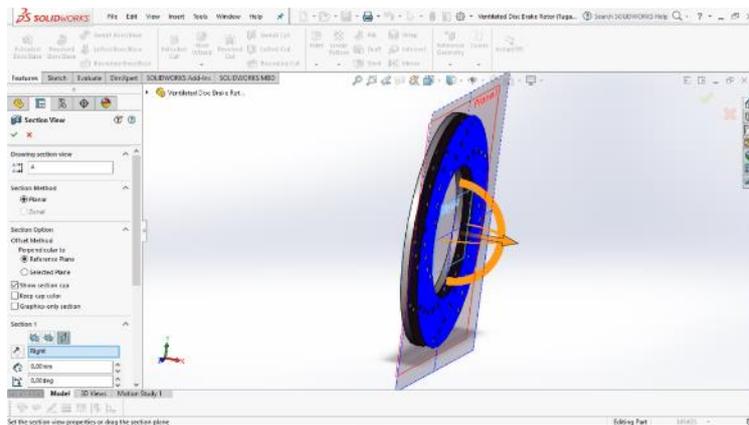
Kekuatan Bahan	Nilai			Satuan
	G.C.I	Al MMC	S.T	
Density ( $\rho$ )	7500	2765,2	7750	kg/m <sup>3</sup>
Elastic (Young's) Modulus (E)	180	98,5	193	Gpa
Thermal Conductivity (k)	54,0	181,65	15,1	W/mk
Poisson Ratio	0,29	0,33	0,31	-
Specific Heat Capacity	490	836,8	500	J/kg-K
Thermal Expansion ( $\alpha$ )	12	17,5	17	$\mu\text{m/m-K}$
Kecepatan sudut ( $\omega$ )	44,91			Rad/s
Tekanan hidrolik total pada piringan (P)	1, 2, 5, 10			MPa
Temperatur piringan rem cakram (T)	22			°C



Gambar 1. Desain Ventilated Disc Brake

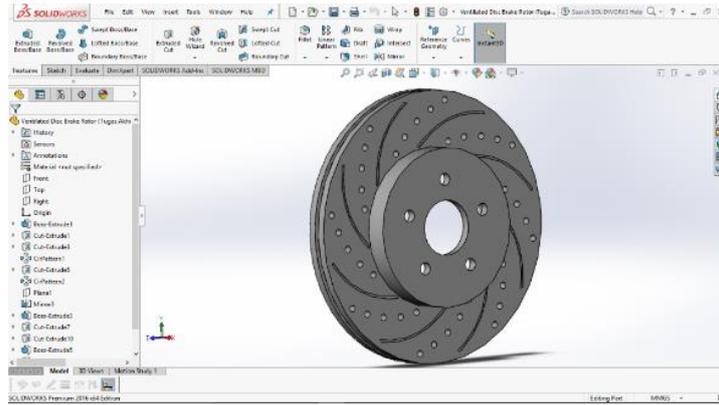
### III. HASIL

Dalam perancangan, piringan rem cakram ini didesain menggunakan perangkat lunak Solidworks 2016 dan kemudian dilanjutkan dengan analisa struktur dan termal menggunakan perangkat lunak ANSYS 18.1.



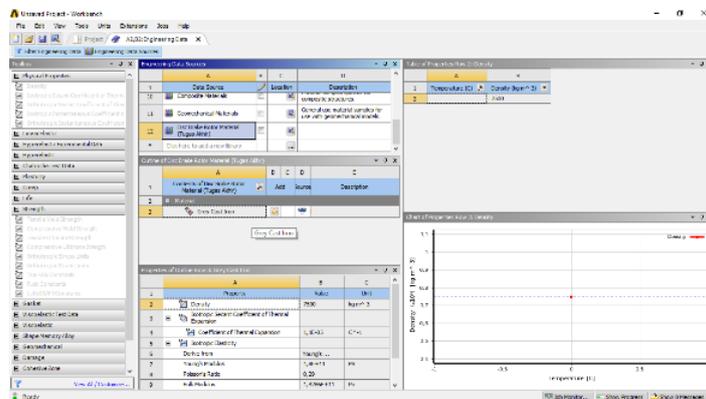
Gambar 2 Pemodelan dengan Solidworks

Proses desain piringan rem cakram berventilasi dilakukan pada perangkat lunak Solidworks dengan dimensi dan ukuran seperti tertera pada tabel 3.



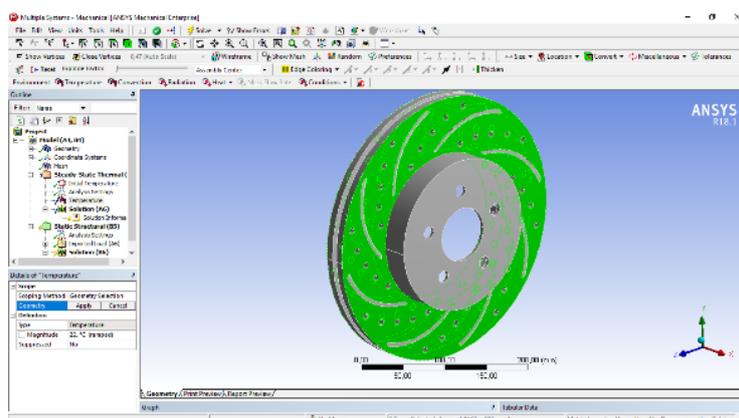
Gambar 3 Bentuk Jadi Piringan Rem Cakram

Hasil dari pemodelan pada solidworks kemudian disimpan dalam format \*.igs agar selanjutnya dapat langsung diimpor pada perangkat lunak ANSYS 18.1 untuk dilakukan analisis struktur dan termal.



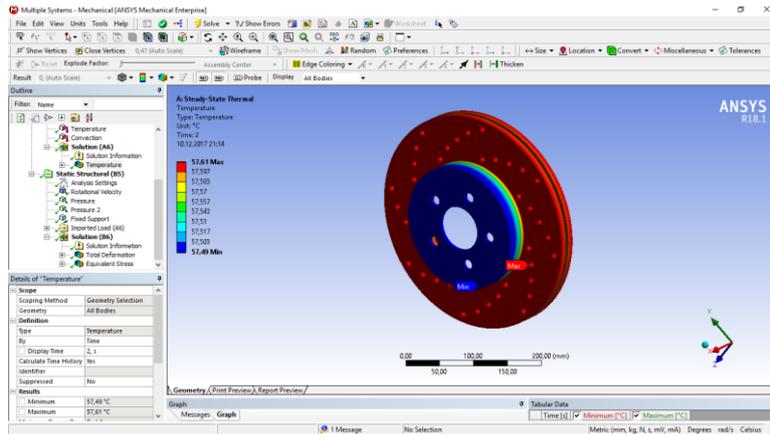
Gambar 4 Engineering Data

Sebelum dilakukan analisa struktur dan termal pada ANSYS, data-data tentang kekuatan bahan material (grey cast iron, Al. MMC, stainless steel) di *input* pada kolom *Engineering Data*.



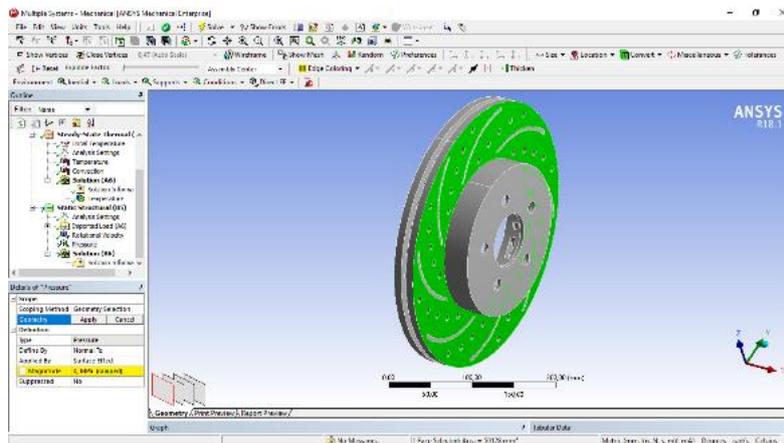
Gambar 5 Environment Termal

Pada tahap *Environment* ini dilakukan input data pendukung penelitian pada analisa termal berupa temperatur awal sebelum pengeraman (22°C), waktu pengeraman (2,4,6,8,10 detik), dan penandaan bidang *convection*.



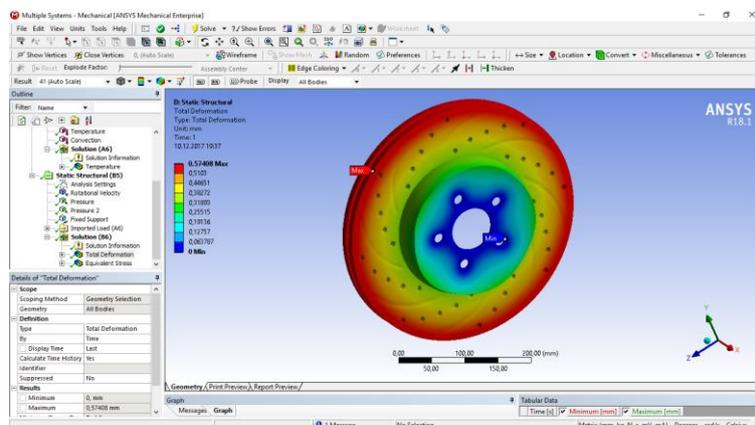
Gambar 6 Hasil Analisis Termal

Hasil yang diperoleh setelah dilakukan analisa termal pada piringan rem cakram berventilasi. Gradien warna yang berbeda menunjukkan tingkat temperatur. Warna merah menunjukkan tingkat temperatur paling tinggi/paling panas berada pada bidang piringan rem cakram, sedangkan warna biru tua menunjukkan tingkat temperatur yang paling rendah berada pada bagian *hat* rem cakram.



Gambar 7 Environment Struktur

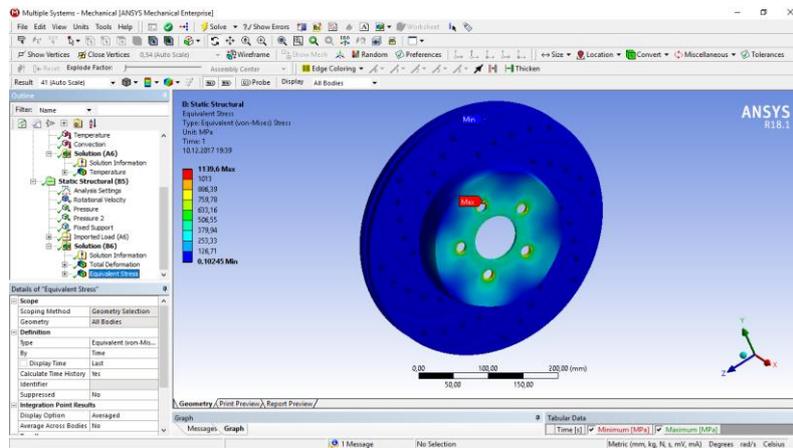
Tahap *Environment* ini dilakukan *input* data pendukung penelitian pada analisa struktur berupa tekanan yang di terima oleh piringan rem cakram (1, 2, 5, 10 MPa), *Fix support* pada bagian *bolt*, dan kecepatan putaran sudut (44,91 Rad/s).



Gambar 8 Hasil Total Deformasi

Hasil yang diperoleh berbentuk gradien warna yang berbeda yang menunjukkan besaran deformasi yang terjadi pada piringan rem cakram berventilasi. Deformasi terbesar terjadi

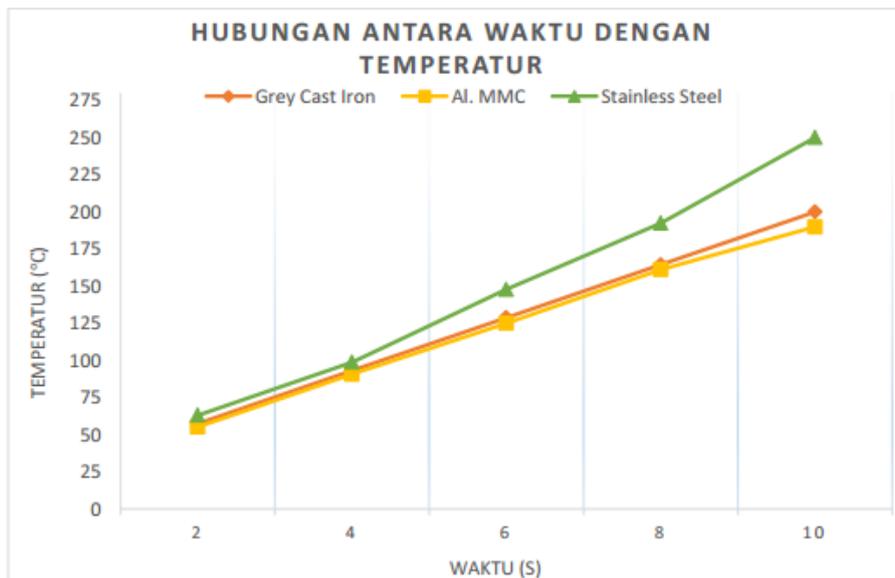
pada ujung/pinggir piringan karena dampak tekanan langsung yang didapat dari gerakan hidrolis piston di kaliper.



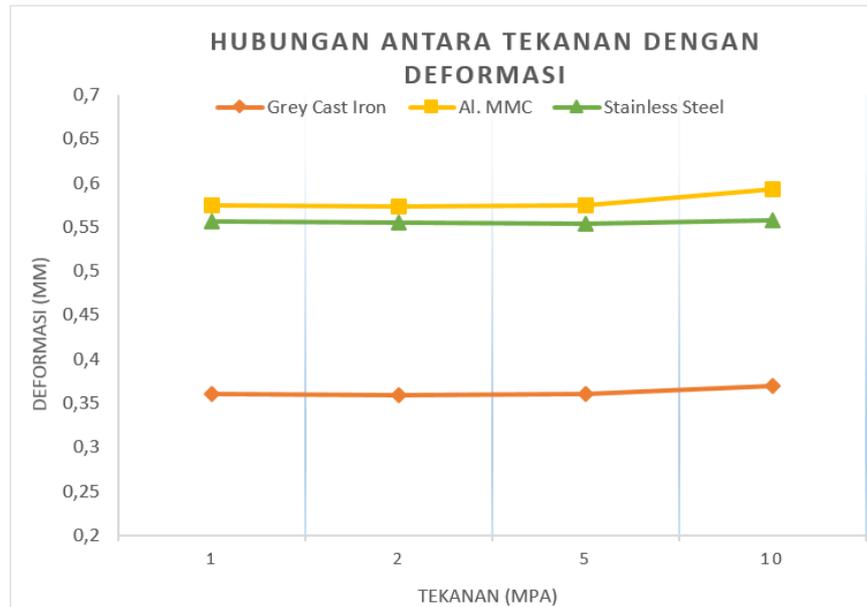
Gambar 9 Hasil Ekuivalen Stress (von Mises)

Terlihat pada hasil simulasi yang dilakukan nilai ekuivalen tegangan dengan nilai terbesar terletak pada bagian lubang bolt, hal ini terjadi karena posisi tersebut berkaitan langsung dengan sambungan yang menghubungkan sistem pengereman dengan bagian poros roda, posisi dimana getaran terbesar pada saat pengereman terjadi.

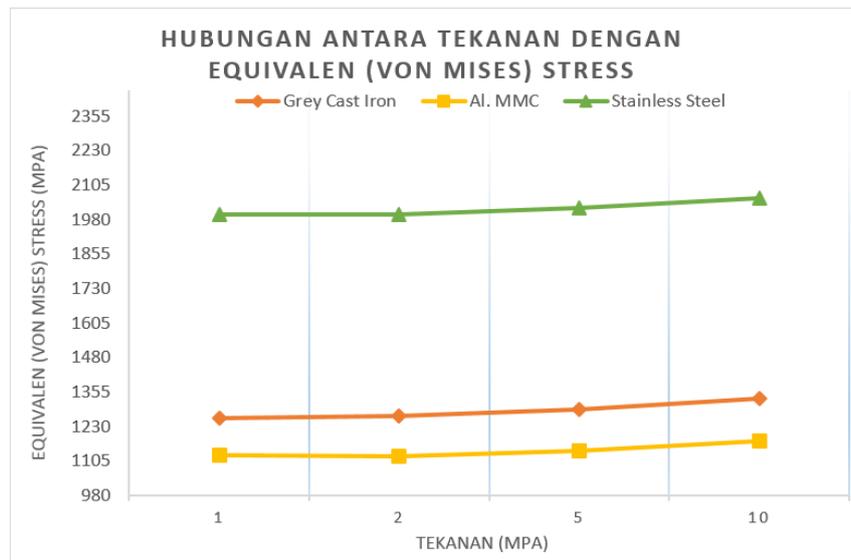
Hasil simulasi yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS Workbench 18.1 dengan kondisi operasional konstan dengan temperatur awal 22 °C , Kecepatan Sudut ( $\omega$ ) = 44,91 Rad/s dengan bahan material piringan rem cakram Grey Cast Iron, Al. MMC., Stainless Steel didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 10. Material Rem Cakram Dengan Waktu Pengereman



Gambar 11. Deformasi Rem Cakram Dengan Tekanan Pengereman



Gambar 12 Tegangan Yang Terjadi Pada Rem Cakram Dengan Tekanan Pengereman

#### IV. PEMBAHASAN

Berdasarkan Gambar 2, material Al. MMC menghasilkan peningkatan temperatur paling rendah dibanding material grey cast iron dan stainless steel karena pada susunan material Al. MMC terdapat SiC (keramik) sebesar 15 % sehingga hasil dari pencampuran aluminium dan keramik ini menghasilkan bahan yang memiliki daya tahan vibrasi sekaligus konduktivitas panas yang paling baik diantara dua material lainnya. Ditambah lagi dengan rem cakram tipe ventilasi yang membuat aliran panas yang terdapat pada material pada saat proses pengereman berlangsung dapat dengan baik didistribusikan keluar.

Berdasarkan Gambar 3, Nilai deformasi pada material grey cast iron paling kecil dibandingkan dengan material Al. MMC dan stainless Steel. Hal ini dikarenakan grey cast iron memiliki derajat kelentingan (resilience) yaitu kemampuan satu bahan dalam menyerap energi dalam fase perubahan elastis yang paling baik dibanding dua material

yang lain. Sehingga perubahan bentuk (deformasi plastis) saat menerima sebuah tekanan dapat di redam.

Berdasarkan Gambar 4, Hasil dari simulasi yang telah dilakukan menunjukkan nilai resultan tegangan (Von Mises) saat pengereman berlangsung mengalami peningkatan seiring bertambahnya tekanan yang diberikan. Hasil yang didapat material Al. MMC memiliki nilai resultan tegangan paling rendah dibandingkan dengan material grey cast iron dan stainless Steel. Hal ini salah satunya dikarenakan Al. MMC memiliki unsur Silikon (SiC) sebesar 15 %, dimana unsur tersebut mempunyai kelebihan yaitu keuletan, kemampuan dan ketangguhan dalam menahan beban yang lebih baik.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah disimulasikan pada perangkat lunak ANSYS Workbench didapat beberapa hasil sebagai berikut temperatur piringan rem cakram akan terus meningkat saat proses pengereman berlangsung, temperatur piringan rem cakram (Al. MMC) rata-rata mengalami kenaikan temperatur yang stabil dan paling rendah dibandingkan dengan grey cast iron dan stainless steel. Hal tersebut terjadi dikarenakan memiliki daya tahan vibrasi sekaligus konduktifitas panas yang paling baik

Material grey cast iron dengan variabel uji tekanan 1, 2, 5, dan 10 MPa memiliki nilai deformasi terendah dibandingkan dengan material Al. MMC dan stainless steel dengan rata-rata deformasi 0,36 mm serta material Al. MMC memiliki nilai Von Mises stress terendah dibandingkan material grey cast iron dan stainless steel dengan rata-rata nilai 1141,65 MPa

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Komputer Program Studi Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang yang telah mendukung penggunaan perangkat lunak dalam menyelesaikan penulisan artikel ini.

#### REFERENSI

- [1] MANJUNATH T.V, DR. SURESH P.M. (2013). *STRUCTURAL AND THERMAL ANALYSIS OF ROTOR DISC OF DISC BRAKE*. (JURNAL INTERNASIONAL ISSN : 2319-8753). VOL. 02, ISSUE 12.
- [2] Anurag Patel, Ankur Malviya. (2015). *Thermal and Structural Analysis using FEA on Pillar Vans Type Ventilated Disc Brake Rotor*. (Jurnal Internasional ISSN : 2321-0613). Vol. 03, Issue 10.
- [3] Madu. Gowrisankar, Kandula deepthi. (2015) Design and Analysis of a Vented Disc brake Rotor. (Jurnal Internasional ISSN (e) : 2250 – 3005). Vol 05, Issue 02.
- [4] Make It From. (2017). SAE-ASTM Grade G3000 (F10006) Grey Cast Iron . <https://www.makeitfrom.com/material-properties/SAE-ASTM-Grade-G3000-F10006-Grey-Cast-Iron>. (diakses 2 September 2017).
- [5] Autoexpose. (2017). Sistem Rem Cakram. <http://www.autoexpose.org/2017/01/sistem-rem-cakram.html>. (diakses 1 September 2017).
- [6] Leanse, Alex. (2016). How Disc Brake Works. <https://www.yourmechanic.com/article/how-disc-brakes-work>. (diakses 1 September 2017).
- [7] Monforton, Greg. (2017). Brake System Evolution : A History. <https://www.gregmonforton.com/evolution-brake-systems.html>. (diakses 18 Oktober 2017).
- [8] Innovacomunity. (2014). Sejarah Rem. <https://innovacomunity.wordpress.com/2014/10/30/sejarah-rem/>. (diakses 18 Oktober 2017).
- [9] Abdhi, Yayan. (2016). Pengertian ABS, EBD, BA/EBA pada Fitur Pengereman Mobil. <http://carusermagz.com/pengertian-abs-ebd-ba-eba-rem-mobil/>. (diakses 18 Oktober 2017).

# Tinjauan Morfologi Keausan Pahat Karbida Terhadap Rasio Pemampatan Tebal Geram pada Proses Bubut Tirus

Sudjatmiko\*, Darto, Haris Eka Yuniawan

*Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang (Institusi)  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia (Alamat termasuk nama negara)*

\*sudjatmiko@unmer.ac.id (penulis korespondensi)

darto@unmer.ac.id

hariseka1996@unmer.ac.id

*Abstrak*— Rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) merupakan perbandingan tebal geram setelah terpotong ( $h_c$ ) dibagi tebal geram sebelum terpotong ( $h$ ), dipengaruhi oleh parameter pemotongan dan sudut ketirusan. Penelitian proses bubut menggunakan material aluminium 6061. Putaran spindle, radius pojok dan sudut ketirusan mempunyai efek terhadap terbentuknya tebal geram setelah terpotong secara empirik dan area luasan keausan pahat (VB). Tujuan penelitian untuk mengetahui : (a) besarnya rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) terhadap sudut ketirusan ( $\alpha$ ), (b). morfologi area luasan keausan tepi pahat dan umur pahat. Pengambilan data pada penelitian dilakukan pada kondisi pemotongan ; variasi kecepatan potong ( $V_c$ ), kedalaman potong ( $a$ ), dan sudut ketirusan ( $\alpha$ ), untuk gerak makan ( $f$ ) konstan. Temuan yang dicapai nomor uji 12 umur pahat yang paling pendek terjadi pada kecepatan potong ( $V_c$ ) 44,06 m/menit, waktu 58 detik dengan umur yang pendek, morfologi area luasan keausan tepi sebesar 0,337 mm<sup>2</sup>. Pada uji no 1 umur pahat yang paling panjang terjadi pada kecepatan potong ( $V_c$ ) 14,68 m/menit, waktu 145 detik dan morfologi area luasan keausan tepi yang paling kecil yaitu 0,227 mm<sup>2</sup>. Pada nomor uji 3 rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) paling besar dengan nilai 2,53 pada kecepatan potong ( $V_c$ ) 11,99 m/menit, kedalaman potong 0.6 mm dan yang paling kecil ( $\lambda$ ) dengan nilai 0,53 (nomor uji 7) pada kecepatan potong ( $V_c$ ) 29,05 m/menit, kedalaman potong 0.2 mm.

*Kata kunci*— Rasio pemampatan tebal geram, Keausan tepi pahat, Umur pahat.

*Abstract*— The chip thickness compression ratio ( $\lambda$ ) is the ratio of the thickness of the after cutting ( $h_c$ ) divided by of the underformed chips thickness before cutting ( $h$ ), influenced by the cutting parameters and the taper angle. Research on the lathe process using 6061 aluminum material. Spindle rotation, nose radius and taper angle have an effect on the formation of the thickness of the rake after being cut empirically and the area of tool wear (VB). The aim is research objectives were to determine: (a) The ratio of compression thickness ( $\lambda$ ) to tilt angle ( $\alpha$ ), (b). Morphology of the flank tool wear area and tool life. Data collection in the study was carried out in cutting conditions; variations in cutting speed ( $V_c$ ), depth of cut ( $a$ ), and taper angle ( $\alpha$ ), for constant feeding ( $f$ ). The findings that were achieved by no test 12, the shortest tool life occurred at the cutting speed ( $V_c$ ) 44.06 m/min, time 58 seconds with a short life, the morphology of the area of edge wear was 0.337 mm<sup>2</sup>. In test no.1, the longest tool life occurred at a cutting speed ( $V_c$ ) of 14.68 m/min, a time of 145 seconds and the smallest area morphology of edge wear was 0.227 mm<sup>2</sup>. In test number 3 the compression ratio of the thickness ( $\lambda$ ) of the large is the greatest with a value of 2.53 at the cutting speed ( $V_c$ ) of 11.99 m/min, depth of cut 0.6 mm and the smallest ( $\lambda$ ) with a value of 0.53 (test number 7) at cutting speed ( $V_c$ ) 29.05 m/min, depth of cut 0.2 mm .

*Keywords*— The chip thickness compression ratio , Flank Tool wear, Tool life.

## I. PENDAHULUAN

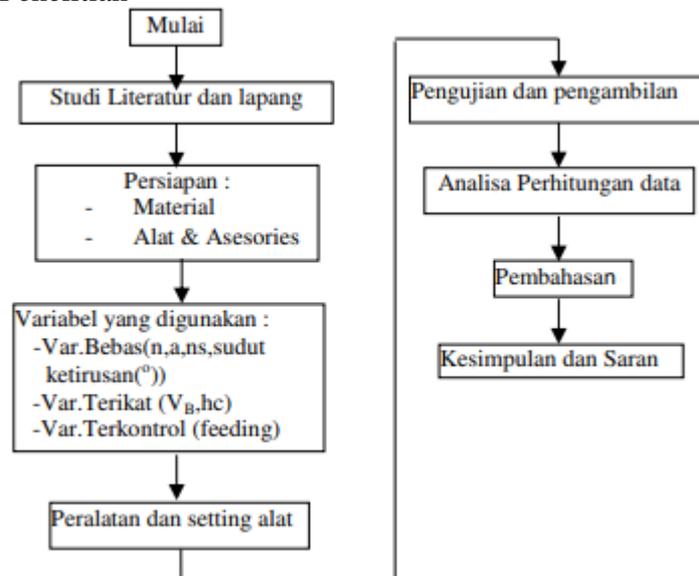
Rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) merupakan perbandingan tebal geram setelah terpotong ( $h_c$ ) dibagi tebal geram sebelum terpotong ( $h$ ), merupakan karakteristik yang salah satunya dipengaruhi oleh material benda kerja [1]. Beberapa parameter proses pembubutan yang berpengaruh pada hasil akhir produk seperti kekasaran permukaan, keselindrisan pada suatu poros dan bentuk geram adalah kecepatan pemakanan, kecepatan pemotongan, kedalaman pemotongan, geometri pahat dan rasio L/D ( untuk proses bubut tirus) [2]. Proses bubut tirus dipengaruhi oleh beberapa faktor saat pengerjaan pembubutan diantaranya pada besar kecilnya eretan atas dapat digeserkan, dimensi benda kerja, berubahnya kedudukan sumbu benda kerja dan lain-lain [3,4]. Penelitian yang dilakukan oleh menunjukkan umur dan keausan pahat karbida untuk membubut baja paduan ASSAB 760, dengan kecepatan potong tinggi ( $V_c = 170,816$  m/menit), diperoleh umur pahat yang paling pendek 14,756 menit, dan

umur paling panjang 140,33 menit yang terjadi pada kecepatan potong rendah ( $V_c = 54,259$  m/menit). Persamaan Taylor dari hasil penelitian diperoleh  $V T 0,378 n = 379$  [5]. Hasil penelitian implementasi pahat karbida *uncoating* untuk proses bubut Al-6061 diperoleh nilai eksponen  $n$  umur pahat ( $n=0.3$ ) dan konstanta umur pahat ( $CT$ ) = 112,5723 , pada kecepatan potong tinggi (optimum) [ $V_c$ ] = 69,12 m/menit, dengan waktu terpendek ( $T_c$ ) = 12 menit, dengan kedalaman makan ( $a$ ) = 0,70 mm, persamaan umur pahat Taylor  $VT 0.3 = 112,5723$ . Untuk kecepatan potong terendah (minimum) [ $V_c$ ] = 34,56 m/menit, kedalaman makan ( $a$ ) = 0.70 mm, dengan waktu terlama ( $T_c$ ) = 96 menit, memperoleh nilai eksponen  $n$  umur pahat ( $n = 0.3$ ) dan ( $CT$ ) = 158,2453, persamaan umur pahat Taylor  $VT 0.3 = 158,2453$ . Karakteristik keausan pahat HSS yang sering tumbuh pada proses Abrasif, Abrasi, Difusi dan keausan tepi (VB) dan keausan kawah (KT) tidak tampak selanjutnya BUE berdampak pada dari parameter kecepatan potong [6]. Hasil penelitian, temuan tentang karakteristik dan keausan umur pahat HSS dengan hasil quenching pada proses bubut Al-6061, menunjukkan persamaan Taylor diperoleh  $VT 0,043 = 86,51$  (Maksimum) pada kecepatan potong  $V_c = 34,56$  m/menit pada kedalaman potong 0,3 mm. Persamaan Taylor diperoleh  $VT 0,0254 = 86,39$  (Minimum) pada kecepatan potong  $V_c = 86,39$  m/menit pada kedalaman potong 1,0 mm [7]. Dalam prakteknya tebal geram setelah terpotong ( $h_c$ ) harus lebih besar dari pada tebal geram sebelum terpotong ( $h$ ) < 1 [1,8]. Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, maka perlu diadakan penelitian pengaruh rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) terhadap sudut ketirusan ( $\alpha$ ), terhadap putaran spindle ( $n$ ), kedalaman potong ( $a$ ), radius pojok pahat ( $r_s$ ) ditinjau dari morfologi keausan pahat dan umur pahat. Tujuan penelitian untuk mengetahui : (a) Besarnya rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) terhadap sudut ketirusan ( $\alpha$ ), (b). Morfologi keausan tepi pahat dan umur pahat.

## II. METODE

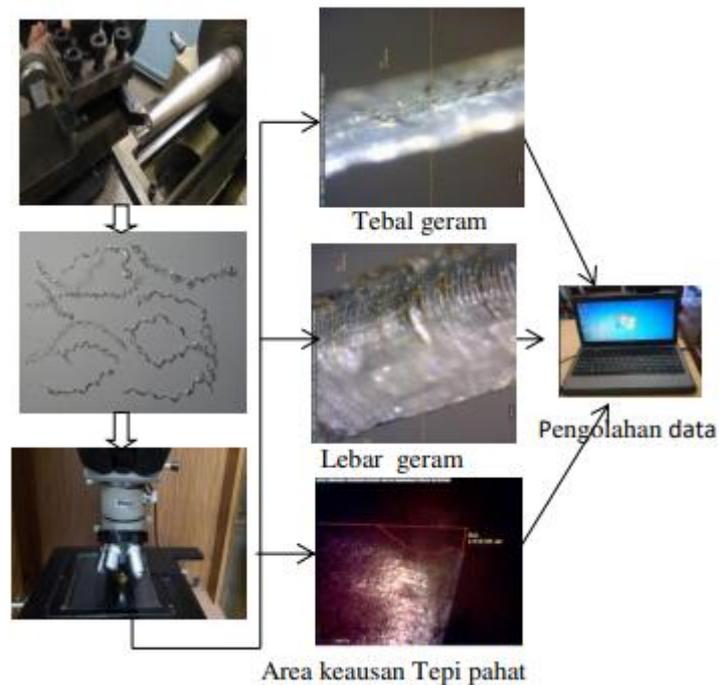
Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Gambar 1 menyajikan diagram alir penelitian dan Gambar 2 menyajikan skema pengambilan data penelitian.

### a. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

b. Skema Pengambilan Data



Gambar 2. Skema pengambilan data

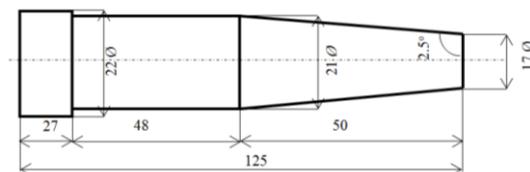
c. Alat dan Bahan

Bahan benda kerja yang digunakan adalah Aluminium Alloy (AA - 6061-T6) dan pahat potong Karbida seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3 memperlihatkan kandesain produk bubut tirus dan Gambar 4 memperlihatkan benda kerja sebelum diproses bubut.

TABEL I  
MATERIAL DATA

Jenis	Bahan	Dimensi	Kodefikasi
1 Pahat	Karbida	7.7x6.3	DCGT-070204FN 27M20
2 Benda kerja	Aluminium Alloy	125 x 22	AA-6061-T6

Sumber : Laboratorium Proses Produksi



Gambar 3. Sketsa Benda kerja bubut tirus



Gambar 4. Benda kerja bahan AA-6061 sebelum proses bubut



Gambar 5. Mesin bubut tipe CQ-6123



Gambar 6. Tool holder dan insert tool



Gambar 7. Mikroskop optic



Gambar 8. Laptop Serie HP –HQTHREE 21004

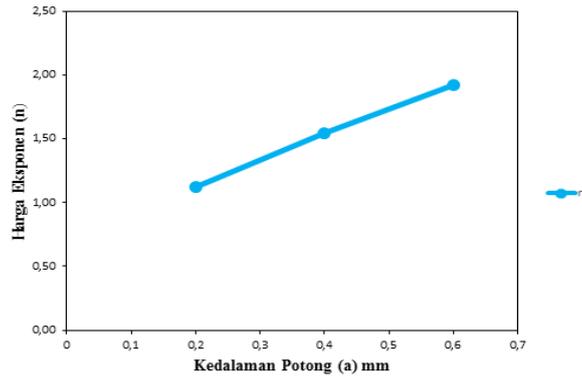
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Tinjauan Proses Pemesinan

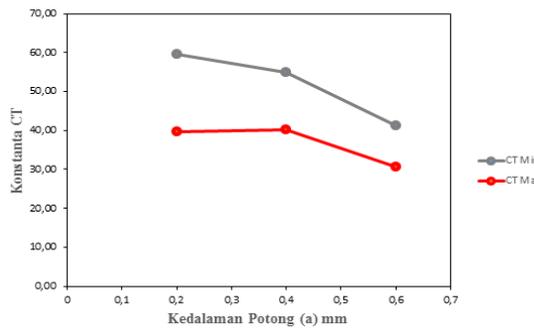
Berikut disajikan tabel hasil penelitian dan perhitungan kecepatan potong ( $V_c$ ) proses bubut, pengambilan morfologi area luasan keausan tepi pahat ( $VB$ ) dan tebal geram setelah terpotong ( $h_c$ ) dilakukan dengan mikroskop digital. Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa semain besar kedalaman potong, maka harga eksponen umur pahat akan semakin tinggi.

TABEL II  
HASIL PENGUJIAN PROSES BUBUT TIRUS

No	Putaran Spindel (Rpm)	Radius Ujung Pahat (°)	Posisi sudut Isopost (°)	Kedalaman Potong (a) (mm)	Perhitungan Kecepatan potong ( $V_c$ ) (m/menit)	Respon		
						Waktu Proses Pemesinan (menit)	Area luasan keausan Tepi (VB) (mm <sup>2</sup> )	Tebal Geram Setelah Terpotong ( $h_c$ ) (mm)
1	250	0.2	2.5	0.2	14.68	00:17:42	0.227	0.087
2				0.4	14.11	00:14:36	0.263	0.122
3				0.6	11.99	00:13:47	0.281	0.304
4	350	0.4	5	0.2	17.73	00:24:17	0.236	0.083
5				0.4	17.13	00:14:48	0.288	0.161
6				0.6	17.02	00:10:09	0.298	0.296
7	500	0.2	2.5	0.2	29.05	00:16:23	0.291	0.064
8				0.4	28.82	00:10:33	0.308	0.134
9				0.6	24.87	00:08:05	0.312	0.246
10	900	0.4	5	0.2	44.93	00:24:12	0.303	0.113
11				0.4	44.16	00:13:38	0.328	0.183
12				0.6	44.06	00:08:06	0.337	0.258

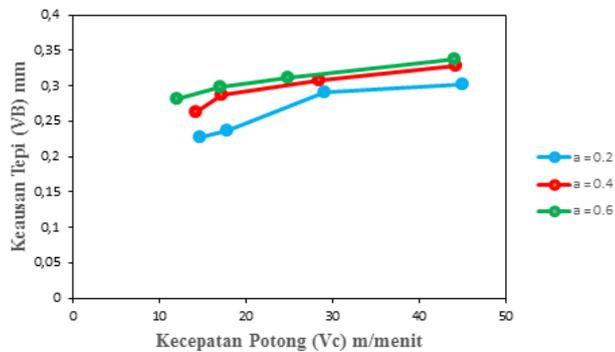


Gambar 9. Grafik harga eksponen terhadap kedalaman potong

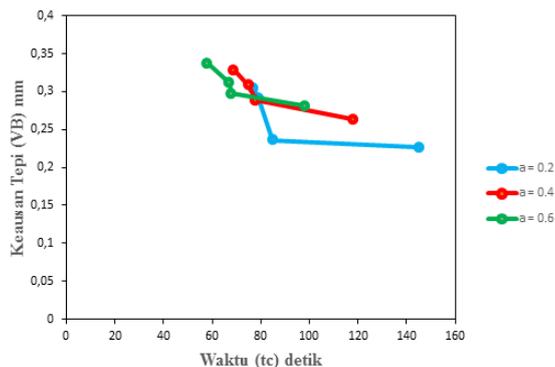


Gambar 10. Grafik nilai konstanta  $C_T$  terhadap kedalaman Potong (a)

Gambar 10. Grafik nilai konstanta  $C_T$  terhadap kedalaman Potong (a). Gambar11 menunjukkan keausan tepi ( $V_B$ ) yang terjadi pada pahat dipengaruhi oleh kecepatan potong ( $V_C$ ) dan kedalaman potong (a).



Gambar 11. Grafik Keausan Tepi terhadap Kecepatan Potong



Gambar 12. Grafik Keausan Tepi terhadap Waktu Pemoangan

Gambar 12. Memperlihatkan semakin besar kedalaman potong ( $a$ ), semakin cepat waktu pemotongan ( $t_c$ ) mengakibatkan area luasan keausan tepi ( $V_B$ ) pahat semakin besar.

Tebal geram sebelum terpotong ( $h$ ) dan tebal geram setelah terpotong ( $h_c$ ) belum tentu sama karena dipengaruhi oleh sudut geram ( $\gamma_o$ )[3]. Gambar 9 menjelaskan nilai eksponen umur pahat ( $n$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan cara interpolasi dari umur pahat dengan kecepatan potong, dari hasil pengujian diperoleh harga eksponen ( $n$ ) maksimum sebesar 1,92 pada kedalaman potong 0,6 mm dan harga eksponen minimum sebesar 1,12 pada kedalaman potong 0,2 mm. Gambar 10 menjelaskan bahwa konstanta umur pahat didapat dengan menggunakan persamaan umur pahat Taylor  $V \cdot T^n = C_T$ , artinya kondisi pemotongan (kecepatan potong) dan umur pahat serta harga eksponen  $n$  akan mempengaruhi nilai konstanta  $C_T$ . Nilai konstanta yang paling besar terjadi pada  $C_T$  min yaitu 59,47 pada kedalaman potong 0,2 mm dibandingkan dengan  $C_T$  max yang memiliki nilai 40,12 pada kedalaman potong 0,4 mm. Nilai konstanta  $C_T$  min lebih besar dibandingkan dengan nilai konstanta  $C_T$  max karena perkalian antara kondisi pemotongan (kecepatan potong) dengan waktu pemotongan yang digunakan untuk  $C_T$  min lebih besar dibandingkan dengan kecepatan potong yang digunakan untuk  $C_T$  max[7].

Gambar 11 menjelaskan faktor utama semakin tinggi kecepatan potong ( $V_c$ ) dan semakin besar kedalaman potong ( $a$ ) maka akan diikuti dengan pertumbuhan keausan tepi ( $V_B$ ) pada pahat yang akan semakin besar. Pada rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) nomor uji 12 = 2.15), ( $a$ ) 0,6 mm ; ( $V_c$ ) 44,08 m/menit, luas area keausan tepi ( $V_B$ ) = 0.337 mm<sup>2</sup>, dibandingkan dengan ( $\lambda$ ) nomor uji 11 = 1.52), ( $a$ ) 0,4 mm ; ( $V_c$ ) 44,14 m/menit, luas area keausan tepi ( $V_B$ ) 0,328 mm<sup>2</sup>, dan ( $\lambda$ ) nomor uji 10 = 0.94, ( $a$ ) 0,2 mm; ( $V_c$ ) 44,93 m/menit luas area keausan tepi ( $V_B$ ) 0,303 mm<sup>2</sup>[8]. Gambar 12 menjelaskan bahwa pengaruh umur pahat dipengaruhi oleh lamanya waktu pemotongan ( $t_c$ ) pada proses pemesinan diikuti dengan semakin kecilnya area luasan keausan tepi ( $V_B$ ) yang terjadi pada pahat. Pada rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) nomor uji 12 = 2.15), ( $a$ ) 0,6 mm ; waktu pemotongan ( $t_c$ ) 58 detik, ( $V_c$ ) 44,08 m/menit, luas area keausan tepi ( $V_B$ ) = 0.337 mm<sup>2</sup>, dibandingkan dengan ( $\lambda$ ) nomor uji 11 = 1.52), ( $a$ ) 0,4 mm ; waktu pemotongan ( $t_c$ ) 69 detik, ( $V_c$ ) 44,14 m/menit, luas area keausan tepi ( $V_B$ ) 0,328 mm<sup>2</sup> dan ( $\lambda$ ) nomor uji 10 = 0.94, ( $a$ ) 0.2 mm, waktu pemotongan ( $t_c$ ) 77 detik,  $V_c$  44,93 m/menit, luas area keausan tepi ( $V_B$ ) 0,303 mm<sup>2</sup>.

#### b. Tinjauan Morfologi Keausan Pahat

Tabel 3 menyajikan hasil perhitungan rasio pemampatan tebal geram Rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) merupakan karakteristik dari proses pemesinan yang dipengaruhi oleh material benda kerja, jenis pahat, sudut pahat, kecepatan potong, kecepatan makan, dan pemakaian cairan pendingin.



Gambar 13. Morfologi luasan area keausan tepi pada pahat no uji 10,  $V_B$  0.303 mm<sup>2</sup>



Gambar 14. Morfologi tebal geram setelah terpotong pada pahat no uji 10, hc 0.113 mm



Gambar 15. Morfologi tebal geram setelah terpotong pada pahat no uji 11 hc 0.183 mm



Gambar 16. Morfologi tebal geram setelah terpotong pada pahat no uji 12 hc 0.258 mm

TABEL III  
HASIL RASIO PEMAMPATAN TEBAL GERAM

No	Rasio Pemampatan tebal geram ( $\lambda$ )
1	0,73
2	1,02
3	2,53
4	0,71
5	1,34
6	2,47
7	0,53
8	1,12
9	2,05
10	0,94
11	1,52
12	2,15

Pada Tabel 2 menjelaskan, bahwa penggunaan kecepatan potong ( $V_c$ ) yang tinggi tidak selalu menguntungkan karena dapat membuat pahat cepat aus dan akibatnya umur pahat akan menjadi pendek, hal ini terbukti bahwa keausan tepi pahat ( $V_B$ ) pada kecepatan potong ( $V_c$ ) 11,99 m/menit < 24,87 m/menit < 17,02 m/menit < 44,06 m/menit. Sesuai kaidah [2] dalam prakteknya tebal geram setelah terpotong ( $h_c$ ) harus lebih besar dari pada tebal geram sebelum terpotong ( $h$ ) < 1 dan hal itu sesuai pada kedalaman potong 0,4 dan 0,6 mm, sedangkan pada kedalaman potong 0,2 mm terjadi hal yang sebaliknya yaitu dimana tebal geram sebelum terpotong ( $h$ ) lebih besar dari tebal geram setelah terpotong ( $h_c$ )[8]. Tebal geram sebelum terpotong ( $h$ ) dan tebal geram setelah terpotong ( $h_c$ ) belum tentu sama karena dipengaruhi oleh sudut geram ( $\gamma$ ). Gambar 13 menyajikan morfologi luasan area keausan tepi pahat, dan tersaji pada Tabel 3 dengan (nomor uji 10  $\lambda = 0.94$ ), dengan kedalaman potong (a) 0,2 mm dan kecepatan potong ( $V_c$ ) 44,93 m/menit yang luasan area keausan tepi ( $V_B$ ) 0,303 mm<sup>2</sup>. Dibanding dengan (nomor uji 11  $\lambda = 1.52$ ), kedalaman dengan kedalaman potong (a) 0,4 mm dan kecepatan potong ( $V_c$ ) 44,16 m/menit luasan area keausan tepi ( $V_B$ ) 0,328 mm<sup>2</sup>, (nomor uji 12  $\lambda = 2.15$ ), dengan kedalaman potong (a) 0,6 mm dan kecepatan potong ( $V_c$ ) 44,06 m/menit luasan area keausan tepi ( $V_B$ ) = 0,337 mm<sup>2</sup>[3].

Tersaji pada Tabel 3 harga  $\lambda = 0.94$  dengan nomor uji 10, Gambar 14 memperlihatkan morfologi tebal geram setelah terpotong  $h_c$  0.113 mm, kondisi luasan area keausan tepi ( $V_B$ ) 0,303 mm<sup>2</sup>, kedalaman potong (a) 0,2 mm dan waktu pemotongan [umur] ( $t_c$ ) 77 detik. Dibanding dengan nomor uji 11,  $\lambda = 1.52$  pada Gambar 15 memperlihatkan morfologi tebal geram setelah terpotong  $h_c$  0.183 mm kondisi luasan area keausan tepi ( $V_B$ ) 0,328 mm<sup>2</sup> dengan kedalaman potong (a) 0,4 mm dan waktu pemotongan [umur] ( $t_c$ ) 69 detik. Fenomena pada nomor uji 12,  $\lambda = 2.15$  pada Gambar 16 memperlihatkan morfologi tebal geram setelah terpotong  $h_c$  0.258 mm kondisi dan dengan luasan area keausan tepi pahat 0,337 mm<sup>2</sup> dengan kedalaman potong (a) 0,6 mm dan waktu pemotongan [umur] ( $t_c$ ) 58 detik.[7,8].

#### IV. KESIMPULAN

Rasio pemampatan tebal geram paling kecil ( $\lambda$ ) 0.73 dengan  $h_c$  0.087 mm, umur pahat yang paling lama 145 detik, morfologi area luas keausan tepi pahat yang paling kecil yaitu 0,227 mm<sup>2</sup>. Rasio pemampatan tebal geram ( $\lambda$ ) 2.15 dengan  $h_c$  0.258 mm umur pahat yang paling pendek 58 detik, morfologi area luas keausan tepi pahat yang paling besar yaitu 0,337 mm<sup>2</sup>. Rasio pemampatan tebal geram yang paling besar ( $\lambda$ ) 2,53 dengan  $h_c$  0.304 mm, umur pahat 98 detik morfologi luasan area keausan tepi pahat 0,218 mm<sup>2</sup>.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih (*acknowledgement*) diberikan kepada saudara Haris Eka Yuniawan alumni JTM 2014 Universitas Merdeka Malang, yang telah banyak membantu dan bekerjasama dalam pelaksanaan penelitian ini. Bapak Ka.Prodi Teknik Mesin yang memfasilitas penulisan artikel.

#### REFERENSI

- [1] Wahyu Dwi A, 2013. Pengaruh Cutting Speed dan L/D Terhadap Keselindrisan Benda Kerja Hasil Finishing Pada Proses Pembubutan Tirus Divergen Dengan Aluminium 6061, *Skripsi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang*.
- [2] Rochim Taufiq, 1993, Teori Dan Teknologi Proses Pemesinan, *Jurusan Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITB, Bandung*.
- [3] Sobar Ihsan, Budi Hartadi, Verriyanto, 2016. Analisa Pengerjaan Tirus terhadap Permukaan Benda Uji Bahan S45C Dari Variasi Putaran dan Sudut Potong Mesin Bubut Krisbow KW 15-604. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia, Vol. 11 No. 2 Oktober, 94-97*.
- [4] Ma'ruf Mujahid, Wirawan Sumbodo, Pramono, 2011. Pengaruh pengaruh jenis *coolant* Dan variasi *side cutting edge angle* Terhadap kekasaran permukaan bubut tirus Baja EMS 45. *Saintekno, Vol. 15 No.1 Juli*.

- [5] Hendri Budiman dan Richard,2007.Analisis Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan Metoda Variable Speed Machining Test.*Jurnal Teknik Mesin. Vol.9 No.1.pp.31-39.*
- [6] Sudjarmiko, 2011. Analisis umur dan keausan Pahat Karbida untuk membubut Alumunium T- 6061 pada kondisi kering dengan metoda Variable speed machining test. *Tesis Program Magister dan Doktor Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.*
- [7] Sudjarmiko, Agus Suprpto, Darto, 2013. Karakteristik Keausan dan umur pahat HSS hasil *Quenching* melalui Pendinginan Nitrogen pada proses pembubutan AL-T-6061. *Jurnal Teknik Ilmiah Mesin Mechanical, Volume IV No. 2, ISSN : 2087-1880 (22-31).*
- [8] Haris Eka Yuniawan,2018.“Analisa Umur Pahat Dan Keausan Pahat Karbida Pembubutan Bahan Aluminium 6061 Dengan Menggunakan Mesin Bubut Konvensional”. *Tugas Akhir Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang.*

# Redesain Kompor Limbah Oli untuk Keperluan Industri

Demmy Eka Pratama<sup>1</sup>, H.M. Ma'ruf<sup>2</sup>, FA Widiharsa<sup>3\*</sup>

<sup>1,3</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang

Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia

<sup>1</sup>demmy07eka@gmail.com, <sup>2</sup>moch.ma'ruf@unmer.ac.id,

<sup>3\*</sup>fransiskus.widiharsa@unmer.ac.id

**Abstrak**—Limbah oli termasuk dalam golongan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) serta mengandung logam berat, tetapi limbah oli mempunyai properti fisik berupa titik nyala serta titik api sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif sebagai bahan bakar kompor limbah oli sehingga kompor tersebut dapat diaplikasikan sebagai pengganti penggunaan kompor tradisional yang masih digunakan di dunia industri. Kompor limbah oli terdahulu menghasilkan percikan oli di luar area dapur pembakaran karena terbawa pusaran (siklon) udara pembakaran, hal ini membuat limbah beracun mempengaruhi tingkat konsumsi bahan bakar kompor limbah oli. Dengan redesign kompor limbah oli hal tersebut tidak terjadi, pada laju aliran massa udara yang sama (0,0002 hingga 0,00025 kg/detik), laju aliran massa limbah oli sebelum redesign = 0,00434 kg/detik sedangkan laju aliran massa limbah oli setelah redesign = 0,00174 kg/detik. Dengan debit limbah oli yang sama (0,001 m<sup>3</sup>/detik hingga 0,0025 m<sup>3</sup>/detik, energi persatuan waktu yang dihasilkan kompor limbah oli sebelum redesign = 3,06 kJ/detik, sedangkan energi persatuan waktu yang dihasilkan kompor limbah oli setelah redesign = 5,43 kJ/detik

**Kata kunci**—Limbah Oli, Kompor, Redesain, Laju Aliran Massa, Energi Persatuan Waktu

**Abstract**—Waste oil belongs to the B3 group (Hazardous and Toxic Materials) that contains heavy metals. Waste oil has some physical properties such as flashpoints and firepoints that can be used as an alternative fuel as a waste oil stove fuel so that the stove can be applied as a substitute for the use of traditional stoves that are still used in the industrial world. Previously waste oil stoves produced splashes oil outside the combustion kitchen area due to combustion air in the cyclone process, creating new waste and affecting the fuel consumption rate of waste oil stoves. That will not occur if we improve the design of the waste oil stove by redesigning it. At the same air mass flow rate (0.0002 to 0.00025 kg/s), the rate of waste oil mass flow before redesign = 0.00434 kg/s while the waste oil mass flow rate after redesign = 0.00174 kg/second. With the same waste oil discharge (0.001 m<sup>3</sup>/s to 0.0025 m<sup>3</sup>/s, the time unity energy generated by the oil waste stove before design = 3.06 kJ/s, while the time unity energy generated by the oil waste stove after redesign = 5.43 kJ/s

**Keywords**—Waste Oil, Stove, Redesign, Mass Flow Rate, Energy Unity Time.

## I. PENDAHULUAN

Berbagai aktivitas yang dilakukan oleh makhluk hidup dan industri akan menghasilkan limbah, contoh limbah yang sering ditemukan disekitar adalah limbah oli. Limbah oli termasuk limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) serta mengandung logam, mempunyai titik didih, titik nyala dan titik api sehingga bisa dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif sebagai bahan bakar kompor limbah oli, dan dapat diterapkan sebagai pengganti kompor tradisional yang masih dipakai di dunia industri. Kompor berbahan bakar limbah oli yang terdahulu menghasilkan percikan limbah oli di sekitar area dapur pembakaran karena ikut terbawa pusaran (siklon) udara pembakaran, hal ini akan menimbulkan limbah baru. Diperlukan redesign kompor berbahan bakar limbah oli agar hal tersebut tidak terjadi kembali.

## II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yang mempunyai tujuan melakukan rancang bangun kompor berbahan bakar limbah oli. Variabel penelitian

Ada 3 jenis variabel di dalam penelitian yakni :

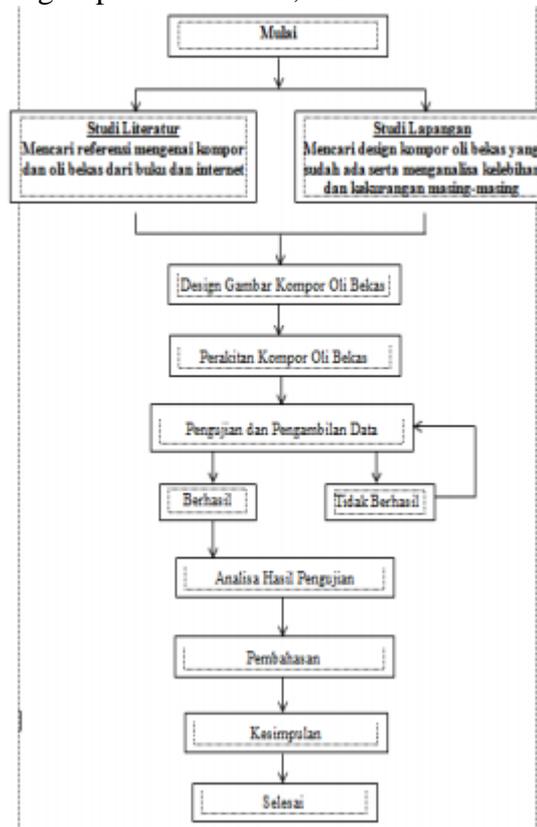
1. Variabel Bebas : Pengaturan kecepatan aliran udara masuk dalam dapur dengan mengatur katup blower.

## 2. Variabel Terikat

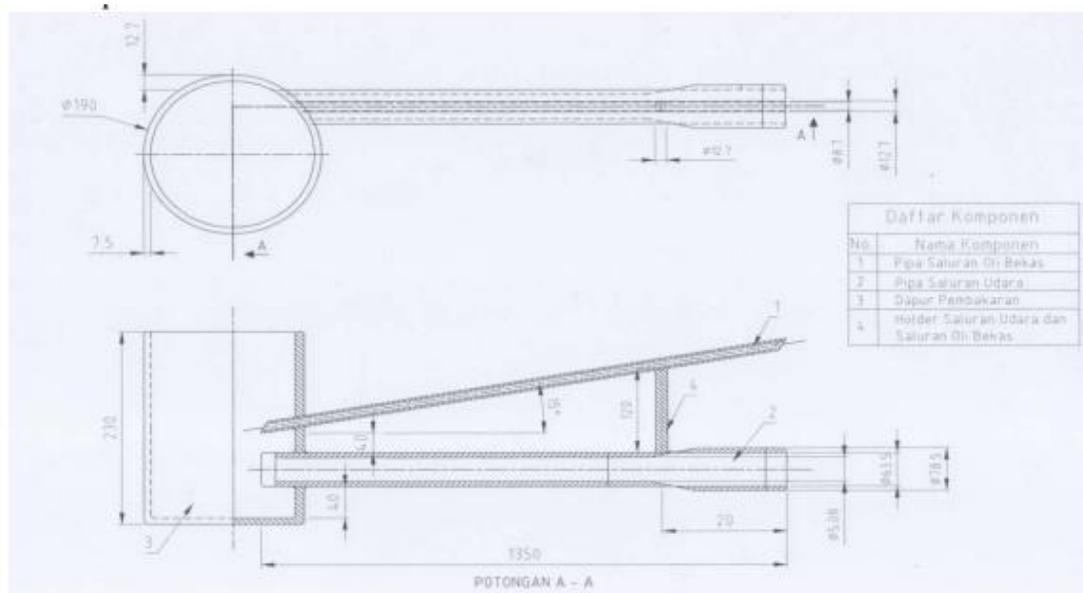
- Durasi pemakaian limbah oli limbah oli yang masuk ke dapur pembakaran
- Debit udara yang masuk ke dapur pembakaran
- Debit limbah oli yang masuk ke dapur pembakaran
- Suhu Pembakaran yang dihasilkan
- Energi panas persatuan waktu yang dihasilkan

## 3. Variabel Kontrol

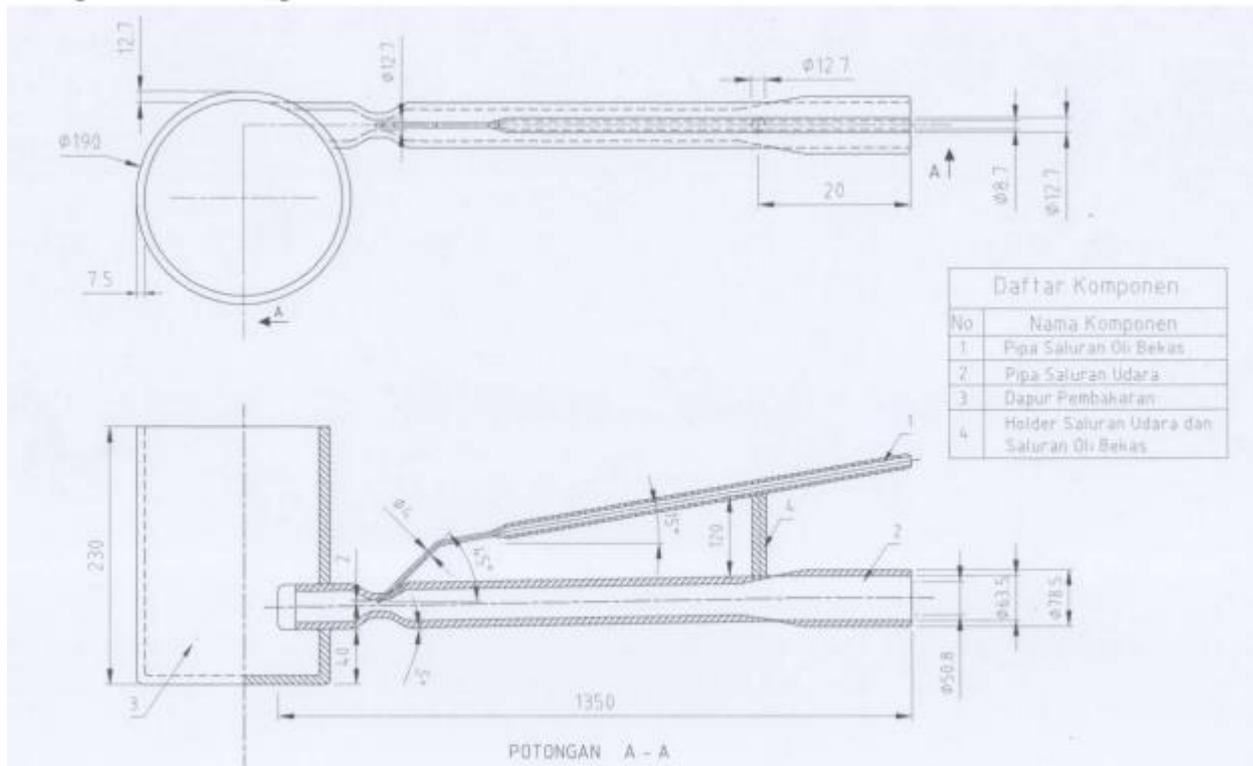
- Volume limbah oli yang terpakai sebesar 0,625 liter



Gambar 1. Diagram Aliran Penelitian



Gambar 2. Rancangan Kompor Limbah Tipe A



Gambar 3. Rancangan Kampor Limbah Tipe B

Perlengkapan alat uji:

1. Thermogun Krisbow
2. Neraca Digital
3. Stopwatch
4. Kamera
5. Korek Api Gas
6. Windmeter
7. Barometer Bourdon

### III. HASIL

Suhu Lingkungan : 27 °C

Tekanan Udara Lingkungan : 94 kPa

Volume Limbah oli Pada Tangki,

- 1) Volume Awal : 12 liter
- 2) Volume Akhir : 11,375 liter
- 3) Volume Terpakai : 0,625 liter = 0,000625 m<sup>3</sup>

TABEL I  
HASIL PENGUJIAN KOMPOR LIMBAH OLI TIPE A

No.	Sudut buka Katup Blower (Derajat)	Kecepatan Udara (m/s)	Durasi Pemakaian Limbah oli (Detik)	Suhu Pembakaran (°C)
1	0	8,628	119	1283
2	10	11,087	144	1375
3	20	13,679	216	1420
4	30	14,976	312	825,56
5	40	15,289	402	370
6	50	16,675	408	286,6
7	60	16,987	511	158,7

TABEL II  
HASIL PENGUJIAN KOMPOR LIMBAH OLI TIPE B

No.	Sudut buka Katup Blower (Derajat )	Kecepatan Udara (m/s)	Durasi Pemakaian Limbah oli (Detik)	Suhu Pembakaran (°C)
1	0	10,461	279	1296
2	10	10,550	300	904
3	20	10,863	358	894
4	30	12,338	370	868
5	40	12,606	425	861
6	50	12,875	471	899
7	60	13,858	587	672

1. Massa jenis limbah oli :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{m}{V} \\ &= \frac{0,1 \text{ kg}}{0,0001 \text{ m}^3} \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

2. Massa jenis udara lingkungan :

$$\begin{aligned}P &= \rho RT \\ \rho &= \frac{P}{RT} \\ \text{Konstanta Udara (R)} &= 287 \text{ J/kg K} \\ &= \frac{94 \text{ kPa}}{287 \text{ J/kg K} \cdot 300,156 \text{ K}}\end{aligned}$$

3. Laju aliran volume (debit keluar limbah oli)

$$\begin{aligned}Q &= \frac{V}{t} \\ \text{Volume terpakai limbah oli (V)} &= 0,000625 \text{ m}^3 \\ \text{Durasi Pemakaian Limbah oli (t)} &= 119 \text{ detik} \\ &= \frac{0,000625 \text{ m}^3}{119 \text{ detik}} \\ &= 5,252 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

4. Laju aliran volume (debit udara masuk dapur pembakaran)

$$\begin{aligned}Q &= v \cdot A \\ \text{Kecepatan udara (v) Sudut buka blower (0°)} &= 8,628 \text{ m/s} \\ \text{Diameter pipa angin masuk dapur} \\ \text{Pembakaran} &= 0,00508 \text{ m} \\ \text{Luas penampang pipa udara masuk dapur} \\ \text{pembakaran} &= 2,027 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \\ &= 8,628 \text{ m/s} \cdot 2,027 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \\ &= 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

5. Laju aliran massa limbah oli

$$\begin{aligned}\rho \text{ limbah oli} &= 1000 \text{ kg/m}^3 (27^\circ\text{C}) \\ Q \text{ limbah oli} &= 5,252 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 5,252 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 0,00525 \text{ kg/detik}\end{aligned}$$

6. Laju aliran massa udara

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho \cdot Q \\ \rho \text{ udara} &= 1,091 \text{ kg/m}^3 (27^\circ\text{C}) \\ Q \text{ udara} &= 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 1,091 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 0,0001907 \text{ detik/detik}\end{aligned}$$

7. Energi panas yang dihasilkan persatuan waktu

$$\begin{aligned}\text{Laju aliran massa bahan bakar/limbah oli} \\ (\dot{m}) &= 0,00525 \text{ kg/detik} \\ \Delta T &= (1283 - 27)^\circ\text{C} = 1256^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Dari interpolasi nilai suhu dan panas jenis ( $c_p$ ) pada Tabel 2.1 Properti Termo-fisik oli mesin semi sintetis SAE 10W-30,  $c_p = 1,910624 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

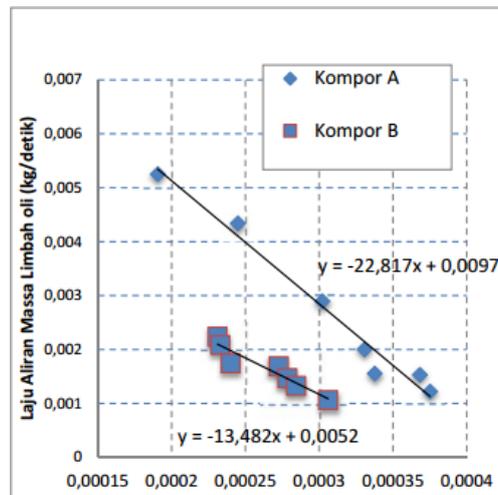
$$\begin{aligned}&= 0,00525 \frac{\text{kg}}{\text{detik}} \cdot 1,910624 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1256^\circ\text{C} \\ &= 12,18 \text{ kJoule/detik}\end{aligned}$$

#### IV. PEMBAHASAN

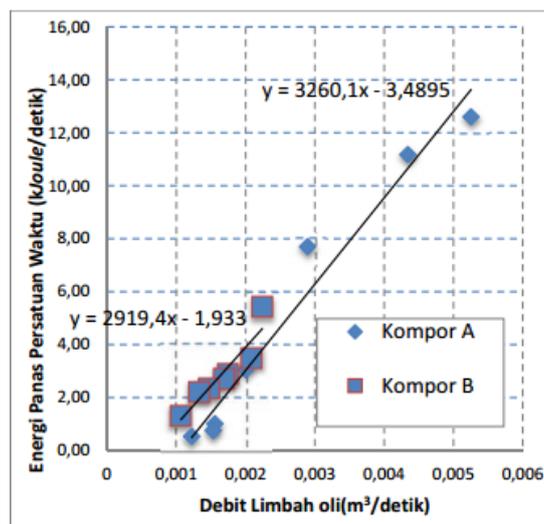
Mengintegrasikan temuan penelitian ke dalam kumpulan pengetahuan yang telah mapan. Hal ini dilakukan dengan membandingkan temuan-temuan penelitian yang diperoleh dari teori dan temuan empiris lain yang relevan. Perhitungan nilai laju aliran volume (debit keluar limbah oli), laju aliran volume (debit udaramasuk dapur pembakaran), laju aliran massalimbah oli, laju aliran massa udara serta energipanas yang dihasilkan persatuan waktu untuk tiap sudut buka katup wind blower yang terjadi pada kompor limbah oli tipe A dan tipe B dapat dihitung dengan rumus yang sama seperti perhitungan pada nomor 1)-7), kemudian disajikan pada tabel rekapitulasi 1 dan 2 serta terdapat beberapa nilai besaran tetap yang telah diketahui dengan rincian sebagai berikut :

- 1) Suhu lingkungan =  $27^\circ\text{C}$
  - 2) Suhu limbah oli =  $27^\circ\text{C}$
  - 3) Tekanan udara lingkungan =  $94 \text{ kPa}$
  - 4) Massa jenis udara ( $27^\circ\text{C}$ ) =  $1,091 \text{ kg/m}^3$
  - 5) Massa jenis limbah oli ( $27^\circ\text{C}$ ) =  $1000 \text{ kg/m}^3$
  - 6) Diameter pipa udara masuk dapur pembakaran =  $0,00508 \text{ m}$
- limbah oli dan udara terjadi di dalam dapur pembakaran massa limbah oli yang tidak terbakar secara langsung ikut terbawa aliran pusaran (siklon) udara, sehingga menuju keluar dapur pembakaran. Tetapi keadaan ini tidak terjadi pada kompor limbah oli tipe B, pencampuran limbah oli dan udara kompor limbah oli tipe B terjadi di luar dapur pembakaran

tepatnya di area venturi, sehingga tidak ada percikan oli yang keluar dari dapur pembakaran. Itulah penyebab tingkat konsumsi bahan bakar limbah oli kompor limbah oli tipe B lebih sedikit dari tingkat konsumsi bahan bakar limbah oli kompor limbah oli tipe A.



Gambar 4. Hubungan antara laju aliran massa udara dan laju aliran massa limbah oli



Gambar 5. Hubungan antara debit limbah oli dan energi persatuan waktu

Energi persatuan waktu tertinggi kompor limbah oli tipe A = 12,60 kJ/detik, sedangkan energi persatuan waktu tertinggi kompor limbah oli tipe B = 5,4314 kJ/detik.

## V. KESIMPULAN

Dari pengolahan data hasil pengujian, data hasil perhitungan dan grafik yang terbentuk maka diperoleh kesimpulan :

- 1) Kelebihan kompor berbahan bakar limbah oli setelah redesain : tidak ada percikan limbah oli yang keluar dari dapur pembakaran karena terbawa pusaran(siklon) angin,
- 2) Pada laju aliran massa udara 0,0002kg/detik hingga 0,00025 kg/detik, nilai laju aliran massa limbah oli kompor limbah oli tipe A mempunyai rentang antara 0,004 kg/detik hingga 0,006 kg/detik, nilai laju aliran massa kompor limbah oli tipe B mempunyai rentang antara 0,001 kg/detik hingga 0,0025 kg/detik
- 3) Energi panas persatuan waktu tertinggi yang dihasilkan oleh kompor limbah oli tipe A=12,60 kJ/detik, dan kompor tipe B=5,43 kJ/detik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan banyak terima kasih kepada Tuhan yang Maha Esa atas karunianya hingga selesainya Jurnal ini, semoga isinya dapat dipakai sebagai referensi bagi yang membutuhkannya walaupun masih banyak kekurangannya. Dan kepada Team Jurnal transmisi Program Studi Teknik Mesin Unmer Malang juga kami sangat berterima kasih atas kesediaannya menerima dan mengupload Jurnal kami.

#### REFERENSI

- [1] Mustafa Elkhaleefa, Abubakr. 2016. Waste Engine Oil Characterization and Atmospheric Distillation to Produce Gas Oil: Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences Publication Pvt. Ltd. 4.
- [2] Suparta, I Nyoman, Ainul Guhhri, dan Wayan Natha Septiadi. 2015. Daur Ulang Limbah oli Menjadi Bahan Bakar Diesel dengan Proses Pemurnian Menggunakan Media Asam Sulfat dan NatriumHidroksida. Denpasar: FT Universitas Udayana.
- [3] Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. 2004. Mekanika Fluida Edisi Keempat Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- [4] Holman, J.P., E. Jasjfi. 1988. Perpindahan Kalor. Jakarta : Erlangga
- [5] Nainggolan, Werlin S.. 1987. Teori Soal Penyelesaian Thermodinamika. Bandung : Armico.
- [6] Alghamdi, Mohammed, Faissal Abdel-Hady, A. K. Mazher, Abdulrahim Alzahrani. 2018. Integration of Process Modeling, Design, and Optimization with an Experimental Study of a Solar-Driven Humidification and Dehumidification Desalination System. Jeddah: Chemical and Materials Engineering Department, King Abdulaziz University

# Verifikasi Mesin Pendingin Jenis *Cussons Technology* Dengan Serial Nomor 129 *OnWard* Ditinjau Secara Termodinamika

Ahmad Saifudin<sup>1</sup>, F.A. Widiarsa<sup>2</sup>, H.Moch.Ma'ruf<sup>3\*</sup>

<sup>1,3</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang

JalanTaman Agung 1 MalangIndonesia

<sup>1</sup>ahmadsaifudin2227@gmail.com,<sup>2</sup>fransiskus.widiarsa@unmer.ac.id,

<sup>3\*</sup>moch.ma'ruf@unmer.ac.id

**Abstrak**—Pengkondisian udara merupakan suatu proses pengendalian udara untuk mendapatkan temperatur dan kelembaban yang diharapkan terhadap kondisi udara suatu ruangan. Sistem pengkondisian udara menggunakan siklus kompresi uap. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai unjuk kerja yang dinyatakan sebagai COP (*coefficient of performance*) mesin pendingin. Fluida kerja yang digunakan refrigerant R-134a. Variabel penelitian meliputi kondisi beban pemanasan awal (*pre-heat*), pemanas ulang (*re-heat*), dan variasi kecepatan udara.

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa nilai kalor udara tertinggi terjadi pada kondisi *pre-heat* 3 kW dan *re-heat* 1 kW dan terendah pada kondisi tanpa beban *pre-heat* dan *re-heat*. Laju aliran massa refrigerant yang tinggi menyebabkan nilai dari beberapa variabel menjadi naik seperti  $W_{\text{kompresor}}$ ,  $Q_{\text{kondensor}}$  dan  $Q_{\text{evaporator}}$ . Dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai *coefficient of performance* (COP) sebesar 3,8 sampai dengan 4,4. Nilai ini menunjukkan mesin pendingin masih dapat bekerja dengan sangat baik..

**Kata kunci**—siklus kompresi uap, laju aliran massa, *pre-heat*, *re-heat*, *coefficient of performance*.

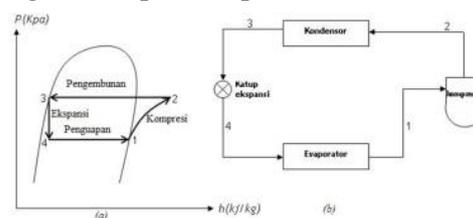
**Abstract**—Air conditioning is a process of air control to get the temperature and humidity that is desired for the air condition of the room. Air conditioning systems use a vapor compression cycle. In the cycle the refrigerant is compressed, then condensed to be liquid, then the pressure is lowered so that the fluid can evaporate. The purpose of this research is to know the coefficient performance of the cooling machine which uses the R-134a. The variable of this research consist of initial heating load (*pre-heat*) and reheater (*re-heat*) and variation of air speed.

The results of the test, shows that the highest value heat is obtained by *pre-Heat* 3 kW and *re-heat* 1 kW condition and the lowest  $Q_{\text{air}}$  value on *pre-heat* 0 kW and *re-heat* 0Kw without load condition. The high flow rate of the refrigerant mass causes the value of several variables to rise like the  $W_{\text{compressor}}$ ,  $Q_{\text{condenser}}$  and  $Q_{\text{evaporator}}$ . From the tests are obtained some value of coefficient of performance (COP) of 3.782 up to 4.375 which shows the performance value of the cooling machine is very good.

**Keywords**—vapor compression cycle, mass flow rate, *pre-heat*, *re-heat*, coefficient of performance.

## VI. PENDAHULUAN

*Air Conditioning* (AC) merupakan suatu peralatan yang dapat mengkondisikan udara sehingga dapat menghasilkan temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan kondisi kenyamanan standar. Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No/1405/MENKES/SK/XI/2002 menjelaskan bahwa untuk udara ruangan suhu idealnya berkisar 18-28°C dengan kelembaban sebesar 40–60%, memberikan kenyamanan kerja bagi orang yang melakukan suatu kegiatan tertentu didalam ruangan tersebut. Kenyamanan dapat diperoleh dari AC yang dapat bekerja dengan baik dan dinyatakan pada nilai unjuk kerja. Alat ini bekerja dengan siklus pendingin kompresi uap.

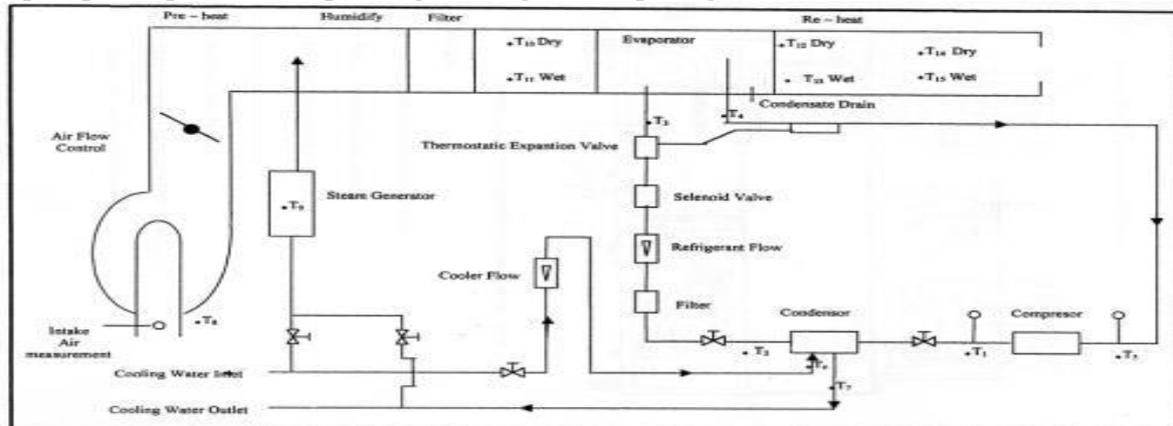


Gambar 1 : (a) Siklus pendingin kompresi uap (b) Diagram aliran.

Stoecker (1996) menyatakan unjuk kerja mesin pendingin dengan sistem kompresi uap dinyatakan dengan nilai COP (*Coefficient Of Performance*). Karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai COP mesin pendingin dengan menggunakan refrigeran R-134a dengan variasi beban pemanasan awal (*pre-heat*) dan pemanas ulang (*re-heat*).

## VII. METODE

Metode eksperimental dengan pengujian dan pengambilan data variabel digunakan pada penelitian ini. Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas, terikat dan kontrol. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini meliputi, kecepatan udara yang melewati evaporator, beban pemanasan awal (*pre-heat*), pemanasan ulang (*re-heat*). Variabel terikat meliputi; tekanan masuk dan keluar kompresor, laju aliran massa refrigeran dan temperatur tiap-tiap titik pada sistem pendingin sebagaimana pada gambar 2.



Gambar 2 : Skema unit mesin pengkondisian udara

Alat uji pada penelitian ini berupa satu unit mesin pengkondisian udara jenis *Cussons Technology* dengan serial nomor 129 *OnWard*, digunakan untuk mendapatkan data penelitian.



Gambar 3 : Unit mesin pengkondisian udara jenis *Cussons Technology* dengan serial nomor 129 *OnWard*  
(Sumber: Laboratorium Prestasi Mesin, Teknik Mesin, Universitas Merdeka Malang)

Pembacaan data terdapat pada unit mesin pengkondisian udara berupa termometer dengan termokopel selector, flowmeter aliran air. Alat ukur lain yang digunakan pada meliputi windspeed anemometer untuk kecepatan aliran udara dan barometer.

## VIII. HASIL

Pengambilan data penelitian dilakukan dengan beberapa variasi; pertama tanpa beban pada *pre-heat* dan *re-heat*, dan yang kedua dengan memberikan beban pada *pre-heat* dan *re-heat*

sebagai simulasi beban pendinginan. Pemberian beban pada pemanas awal (*pre-heat*) dan pemanas ulang (*re-heat*) dilakukan dengan variasi; (1) *pre-heat* 1 kW dan *re-heat* 1 kW, (2) *pre-heat* 1 kW dan *re-heat* 3 kW dan (3) *pre-heat* 3 kW dan *re-heat* 1 kW. Data yang diperoleh disajikan pada tabel 1, 2, 3 dan 4.

TABEL I  
HASIL PENGUJIAN TANPA BEBAN PRE-HEAT DAN RE-HEAT

NO	PARAMETER	SATUAN	PENGUJIAN				
			1	2	3	4	5
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	Tekan Masuk Kompresor ( $P_1$ )	Kgf/Cm <sup>2</sup>	1	1	1	1	1
2	Tekan Keluar Kompresor ( $P_2$ )	Bar	2.2	2	2	2.2	2.2
3	Aliran Air ( <i>Water Flow</i> )	gram/s	55	55	55	55	55
4	Aliran Refigran ( <i>Refrigeran flow</i> )	gram/s	22.4	21	20	22	21.8
5	Pemanasan Awal ( <i>Pre-heat</i> )	kW	0	0	0	0	0
6	Pemanasan Ulang ( <i>Re-heat</i> )	kW	0	0	0	0	0
7	Listrik Yang di Pakai AC/DC	Volt	220	220	220	220	220
8	Laju aliran udara ( <i>air flow</i> )	mph	23.6	26	29	32	35
9	Temperatur Thermocouple						
	T <sub>1</sub>	°C	55	57	56	54	55
	T <sub>2</sub>	°C	39	39	39	41	41
	T <sub>3</sub>	°C	2	2	4	6	6
	T <sub>4</sub>	°C	10	5	7	8	8
	T <sub>5</sub>	°C	8	5	7	8	8
	T <sub>6</sub>	°C	21	21	21	21	22
	T <sub>7</sub>	°C	36	36	37	38	38
	T <sub>8</sub>	°C	18	20	20	21	20
	T <sub>9</sub>	°C	20	20	20	20	20
	T <sub>10</sub>	°C	20	21	21	22	22
	T <sub>11</sub>	°C	16	18	18	20	19
	T <sub>12</sub>	°C	13	12	13	14	14
	T <sub>13</sub>	°C	11	10	10	12	12
	T <sub>14</sub>	°C	13	13	14	15	15
	T <sub>15</sub>	°C	10	11	11	14	12

TABEL II  
HASIL PENGUJIAN DENGAN BEBAN PRE-HEAT 1 kW DAN RE-HEAT 1 kW

NO	PARAMETER	SATUAN	PENGUJIAN 1				
			1	2	3	4	5
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>					
1	Tekan Masuk Kompresor ( $P_1$ )	Kgf/Cm <sup>2</sup>	1	1	1	1	1
2	Tekan Keluar Kompresor ( $P_2$ )	Bar	2.2	2	2	2.2	2.2
3	Aliran Air ( <i>Water Flow</i> )	gram/s	55	55	55	55	55
4	Aliran Refigran ( <i>Refrigeran flow</i> )	gram/s	22.4	23.6	21	23	22
5	Pemanasan Awal ( <i>Pre-heat</i> )	kW	1	1	1	1	1
6	Pemanasan Ulang ( <i>Re-heat</i> )	kW	1	1	1	1	1
7	Listrik Yang di Pakai AC/DC	Volt	220	220	220	220	220
8	Laju aliran udara ( <i>air flow</i> )	mph	23.6	26	29	32	35
9	Temperatur Thermocouple						
	T <sub>1</sub>	<sup>o</sup> C	57	57	55	55	55
	T <sub>2</sub>	<sup>o</sup> C	40	41	40	42	41
	T <sub>3</sub>	<sup>o</sup> C	6	7	6	8	7
	T <sub>4</sub>	<sup>o</sup> C	8	8	8	9	9
	T <sub>5</sub>	<sup>o</sup> C	8	8	8	9	9
	T <sub>6</sub>	<sup>o</sup> C	21	20	21	21	22
	T <sub>7</sub>	<sup>o</sup> C	37	37	38	39	39
	T <sub>8</sub>	<sup>o</sup> C	20	22	21	22	21
	T <sub>9</sub>	<sup>o</sup> C	20	20	20	20	21
	T <sub>10</sub>	<sup>o</sup> C	24	27	25	26	25

TABEL III  
HASIL PENGUJIAN DENGAN BEBAN PRE-HEAT 1 kW DAN RE-HEAT 3 kW

NO	PARAMETER	SATUAN	PENGUJIAN				
			1	2	3	4	5
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>					
1	Tekan Masuk Kompresor ( $P_1$ )	Kgf/Cm <sup>2</sup>	1	1	1	1	1
2	Tekan Keluar Kompresor ( $P_2$ )	Bar	2.2	2	2	2.2	2.2
3	Aliran Air ( <i>Water Flow</i> )	gram/s	55	55	55	55	55
4	Aliran Refigran ( <i>Refrigeran flow</i> )	gram/s	22.4	22	22.6	23.8	23
5	Pemanasan Awal ( <i>Pre-heat</i> )	kW	1	1	1	1	1

6	Pemanasan Ulang ( <i>Re-heat</i> )	kW	3	3	3	3	3
7	Listrik Yang di Pakai AC/DC	Volt	220	220	220	220	220
8	Laju aliran udara ( <i>air flow</i> )	mph	23.6	26	29	32	35
9	Temperatur Thermocouple						
	T <sub>1</sub>	°C	55	56	55	57	60
	T <sub>2</sub>	°C	41	40	40	42	46
	T <sub>3</sub>	°C	7	7	7	7	12
	T <sub>4</sub>	°C	9	8	9	9	14
	T <sub>5</sub>	°C	9	8	9	9	14
	T <sub>6</sub>	°C	20	20	21	21	26
	T <sub>7</sub>	°C	38	37	38	39	43
	T <sub>8</sub>	°C	22	23	22	24	28
	T <sub>9</sub>	°C	20	19	20	20	25
	T <sub>10</sub>	°C	27	26	26	28	31
	T <sub>11</sub>	°C	23	23	22	25	28
	T <sub>12</sub>	°C	17	15	16	17	21
	T <sub>13</sub>	°C	10	11	10	12	14
	T <sub>14</sub>	°C	27	30	28	29	29
	T <sub>15</sub>	°C	19	22	19	21	23

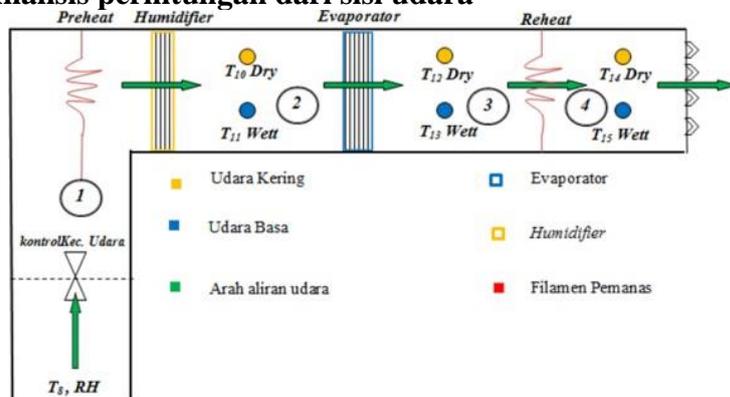
TABEL IV  
HASIL PENGUJIAN DENGAN BEBAN PRE-HEAT 3 kW DAN RE-HEAT 1 kW

NO	PARAMETER	SATUAN	PENGUJIAN				
			1	2	3	4	5
A	B	C	1	2	3	4	5
1	Tekan Masuk Kompresor (P <sub>1</sub> )	Kgf/Cm <sup>2</sup>	1	1	1	1	1
2	Tekan Keluar Kompresor (P <sub>2</sub> )	Bar	2.2	2	2	2.2	2.2
3	Aliran Air ( <i>Water Flow</i> )	gram/s	55	55	55	55	55
4	Aliran Refigran ( <i>Refrigeran flow</i> )	gram/s	22	23.7	23	26	25
5	Pemanasan Awal ( <i>Pre-heat</i> )	kW	1	1	1	1	1
6	Pemanasan Ulang ( <i>Re-heat</i> )	kW	3	3	3	3	3
7	Listrik Yang di Pakai AC/DC	Volt	220	220	220	220	220
8	Laju aliran udara ( <i>air flow</i> )	mph	23.6	26	29	32	35
9	Temperatur Thermocouple						

T <sub>1</sub>	°C	57	54	56	55	61
T <sub>2</sub>	°C	41	42	42	43	47
T <sub>3</sub>	°C	8	9	9	10	14
T <sub>4</sub>	°C	10	10	11	12	16
T <sub>5</sub>	°C	10	10	11	12	16
T <sub>6</sub>	°C	21	20	21	21	26
T <sub>7</sub>	°C	38	38	39	40	44
T <sub>8</sub>	°C	22	24	23	24	29
T <sub>9</sub>	°C	20	19	20	20	25
T <sub>10</sub>	°C	32	34	33	34	38
T <sub>11</sub>	°C	30	33	33	34	37
T <sub>12</sub>	°C	18	18	19	20	24
T <sub>13</sub>	°C	13	17	14	17	20
T <sub>14</sub>	°C	22	25	24	25	28
T <sub>15</sub>	°C	19	23	21	21	26

Data hasil pengujian diolah dengan analisis perhitungan sebagai berikut;

#### Analisis perhitungan dari sisi udara



Gambar 4. Diagram Sisi Udara

Laju aliran massa udara

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

Densitas udara  $\rho = 1,146254 \text{ kg/m}^3$  (tabel properties udara)

Kecepatan, aliran udara  $v = 35 \text{ mph} = 15,65 \text{ m/s}$  ( $1 \text{ mph} = 0,0447027 \text{ m/s}$ )

Diameter saluran  $D = 156 \text{ mm}$

Luasan penampang saluran  $A = \frac{1}{4} \pi D^2$

$A = 0,01910376 \text{ m}^2$

Sehingga laju aliran massa udara

$$\dot{m} = 1,146254 \left(\frac{kg}{m^3}\right) \times 15,645945 \left(\frac{m}{dt}\right) \times 0,0191(m^2)$$

$$= 0,3426 \text{ kg/s}$$

Panas yang melewati *pre-heat*

$$Q_{udara} = m_{udara} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_{udara} = m_{udara} \cdot \Delta h \quad \Delta h = (h_{keluar \text{ Preheat}} - h_{Masuk \text{ Preheat}})$$

$$Q_{udara} = m_{udara} \cdot (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (3)$$

Nilai entalpi pada tiap titik dapat diperoleh dengan menggunakan diagram psikometri untuk udara.

$$Q_{udara} = 0,3426 \frac{kg}{s} \cdot (60,5 \frac{kJ}{kg} - 123 \frac{kJ}{kg})$$

$$Q_{udara} = 21,4132 \frac{kJ}{s}$$

Panas yang melewati *re-heat*

$$Q_{udara} = m_{udara} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (4)$$

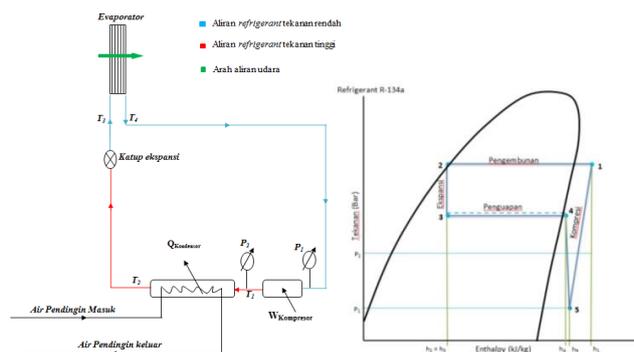
$$Q_{udara} = m_{udara} \cdot \Delta h \quad \Delta h = (h_{masuk \text{ Evaporator}} - h_{keluar \text{ Evaporator}})$$

$$Q_{udara} = m_{udara} \cdot (h_2 - h_3) \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_{udara} = 0,024 \frac{kg}{s} \cdot (123 \frac{kJ}{kg} - 48 \frac{kJ}{kg})$$

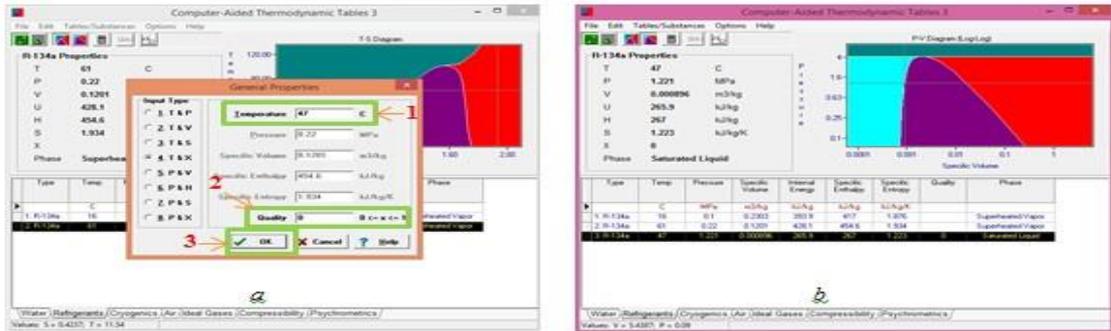
$$Q_{udara} = 26,1161 \frac{kJ}{s}$$

### Analisis perhitungan dari sisi refrijeran



Gambar 5 : (a) Diagram sisi refrijeran (b) P-h Diagram mesin refrijeransi

Perhitungan dengan siklus pendinginan kompresi uap pada sisi refrijeran dapat diselesaikan dengan bantuan aplikasi CATT (*Computer-Aided Thermodynamic Table-3*)



Gambar 6 : Tampilan (a) pemasukan data temperatur dan tekanan (b) hasil data entalpi

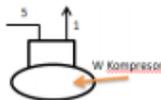
Entalpi pada tiap titik dapat diperoleh dengan memasukkan data berupa temperatur, tekanan atau kualitas cair-uap. Dengan bantuan perangkat lunak CATT, pada pengujian dengan *preheat* 3 kW dan *reheat* 1 kW didapatkan nilai entalpi pada dengan kondisi temperatur dan tekanan tiap titik yang diukur.

$$\begin{aligned}
 T_1 = 61 \quad ^\circ\text{C} &= 454 \quad \text{kJ/kg} \\
 T_2 = 47 \quad ^\circ\text{C} &= 267 \quad \text{kJ/kg} \\
 T_3 = 14 \quad ^\circ\text{C} &= 267 \quad \text{kJ/kg} \\
 T_4 = 16 \quad ^\circ\text{C} &= 417 \quad \text{kJ/kg} \\
 T_5 = 16 \quad ^\circ\text{C} &= 417 \quad \text{kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{\text{refrigerant}} = 25 \text{ gram/dt}$$

$$\dot{m}_{\text{refrigerant}} = \frac{22}{1000} \dot{m}_{\text{refrigerant}} = 0,025 \text{ kg/s}$$

Kerja yang dibutuhkan kompresor



$$\begin{aligned}
 W_{\text{kompresor}} &= m_{\text{refrigerant}} \cdot (h_1 - h_5) \dots\dots\dots (8) \\
 W_{\text{kompresor}} &= 0,025 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (454 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 417 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) \\
 W_{\text{kompresor}} &= 0,9250 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Panas yang dibuang kondensor



$$\begin{aligned}
 Q_{\text{kondensor}} &= m_{\text{refrigerant}} \cdot (h_1 - h_2) \dots\dots\dots (9) \\
 Q_{\text{kondensor}} &= 0,025 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (454 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 267 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) \\
 Q_{\text{kondensor}} &= 4,6750 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Panas yang diserapevaporator



$$Q_{Evaporator} = m_{refrigerant} \cdot (h_4 - h_3) \dots \dots \dots (10)$$

$$Q_{Evaporator} = 0,025 \frac{kg}{s} (417 \frac{kJ}{kg} - 267 \frac{kJ}{kg})$$

$$Q_{Evaporator} = 3,75 \frac{kJ}{s}$$

Coefficient of performance(COP)

$$COP = \frac{Q_{avaporator}}{W_{kompressor}} \dots \dots \dots (11)$$

$$COP = \frac{3,75 \frac{kJ}{s}}{0,9250 \frac{kJ}{s}}$$

$$COP = 4,0541$$

Heat rejected ratio (HRR)

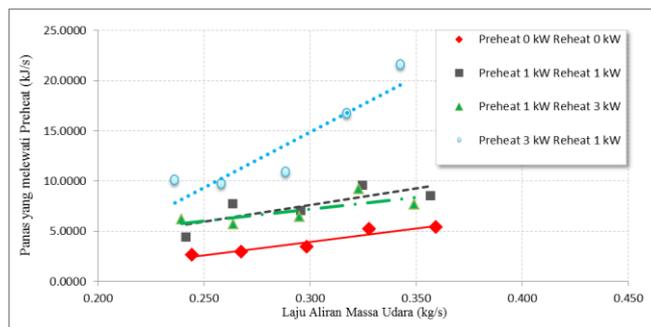
$$HRR = \frac{Q_{kondensor}}{Q_{evaporator}} \dots \dots \dots (12)$$

$$HRR = \frac{4,6750 \frac{kJ}{s}}{3,75 \frac{kJ}{s}}$$

$$HRR = 1,2467$$

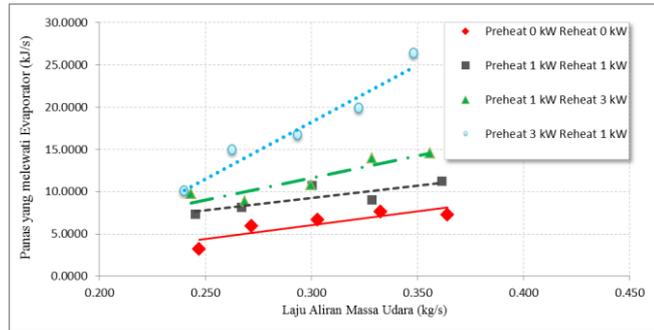
### IX. PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis data hasil pengujian dan perhitungan dapat dilihat hubungan antara parameter-parameter yang saling berpengaruh dan disajikan dalam grafik.



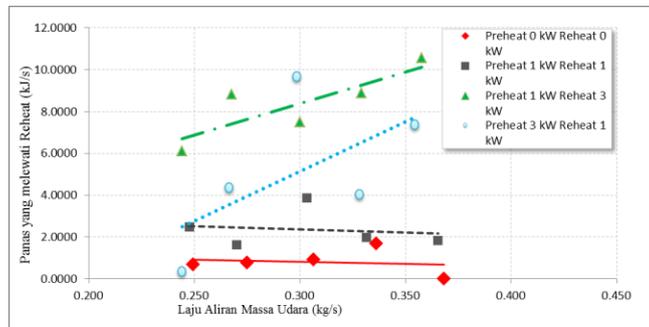
Gambar 7. Pana Yang Melewati Pre-heat terhadap Laju Aliran Massa Udara

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran massa udara ( $\dot{m}$ ) akan berakibat semakin besar nilai panas ( $Q$ ) yang melewati *preheat*, pada pengujian dapat dilihat dengan beban pemanasan awal 3kW menghasilkan panas ( $Q$ ) paling besar dan laju aliran massa udara ( $\dot{m}$ ) kecil dengan beban pemanasan awal 0 kW akan menghasilkan nilai panas ( $Q$ ) paling kecil,



Gambar 8. Panas Yang Melewati Evaporator terhadap Laju Aliran Massa Udara

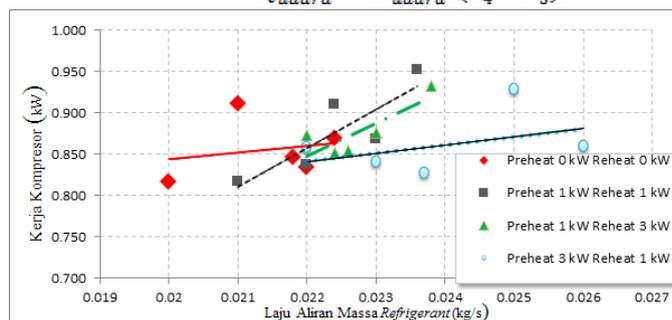
Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa semakin tinggi laju aliran massa udara ( $\dot{m}$ ) akan berakibat semakin besar nilai panas ( $Q$ ) yang melewati evaporator, pada pengujian dapat dilihat dengan beban pemanasan awal 3kW menghasilkan panas ( $Q$ ) paling besar dan laju aliran massa udara ( $\dot{m}$ ) kecil dengan beban pemanasan awal 0 kW akan menghasilkan nilai panas ( $Q$ ) paling kecil,



Gambar 9. Panas Yang Melewati Re-heat terhadap Laju Aliran Massa Udara

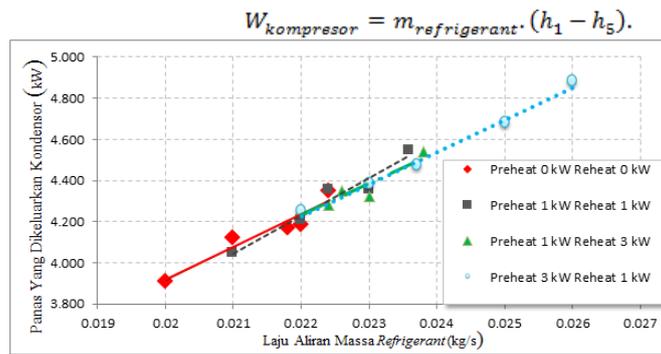
Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa laju aliran massa udara ( $\dot{m}$ ) mempengaruhi besar nilai panas ( $Q$ ) yang melewati *re-heat*, dikarenakan laju aliran massa udara ( $\dot{m}$ ) berbanding lurus dan faktor pengalidengan panas pada *re-heat* sebagaimana pada persamaan

$$Q_{udara} = m_{udara} \cdot (h_4 - h_3).$$



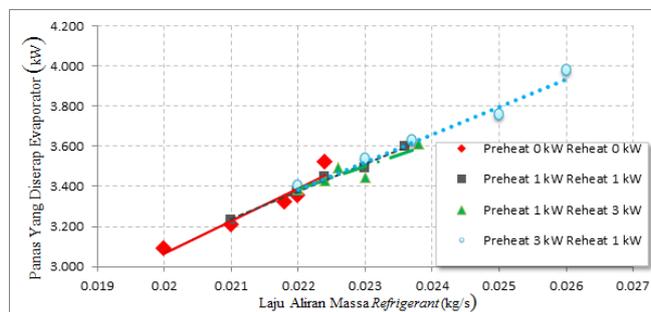
Gambar 10. Kerja Kompresor terhadap Laju Aliran Massa Refrijeran

Gambar 10 memperlihatkan grafik hubungan antar kerja kompresor ( $W_{kompresor}$ ) dengan laju aliran massa refrijerandapat dilihat dengan menarik garis linear bahwa terjadi peningkatan kerja kompresor. Hal ini disebabkan jumlah semakin banyak jumlah *refrigerant* yang mengalir mengakibatkan kompresor bekerja semakin besar untuk mensuplai *refrigerant* ke seluruh sistem. Hubungan ini memperlihatkan bahwa



Gambar 11 : Panas Yang Dikeluarkan Kondensor terhadap Laju Aliran Massa Refrijeran

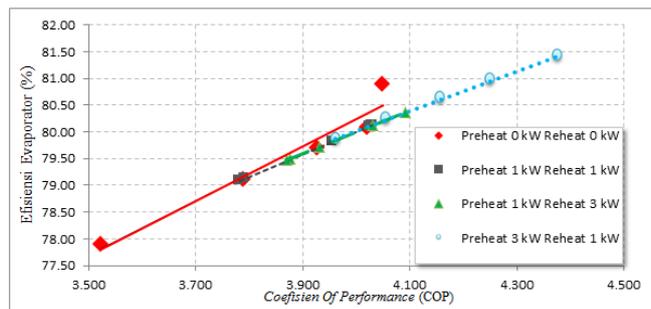
Gambar 11 memperlihatkan grafik hubungan antara panas yang dibuang kondensor ( $Q_{\text{kondensor}}$ ) dengan laju aliran massa refrigeranyang masuk menuju kondensor, semakin banyak refrijeranyang masuk ke kondensor maka semakin banyak panas yang dibuang oleh kondensor, hal ini memperlihatkan hubungan antara



Gambar 12. Panas Yang Diserap Evaporator terhadap Laju Aliran Massa Refrigerant

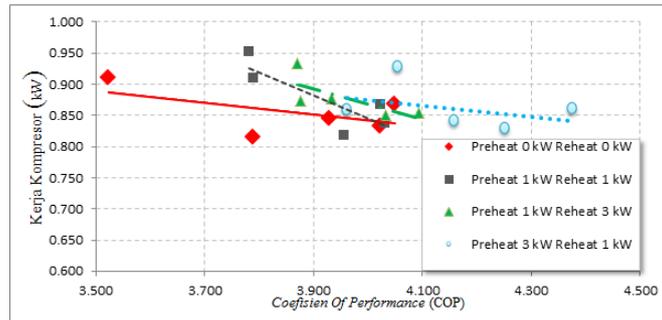
Pada gambar 12 memperlihatkan grafik hubungan antara panas yang diserap evaporator ( $Q_{\text{evaporator}}$ ) dengan laju aliran massa refrigerant ( $\dot{m}_{\text{refrigerant}}$ ), bahwa besar laju aliran massa refrigerant yang masuk akan mempercepat penyerapan panas udara yang melewati pada evaporator, hal ini disebabkan  $Q_{\text{evaporator}}$  merupakan fungsi dari persamaan

$$Q_{\text{Evaporator}} = m_{\text{refriaerant}} \cdot (h_4 - h_3).$$



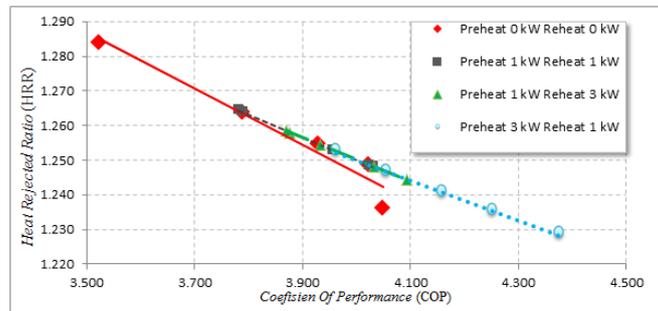
Gambar 13. Hubungan Efisiensi Evaporator dengan Coefisien Of Performance

Gambar13 menunjukkan hubungan antara efisiensi evaporator( $\eta$ ) dengan *coefficient of performance* (COP) bahwa semakin besar kemampuan evaporator dalam menerima panas ditunjukkan dengan nilai efisiensi dari evaporator semakin besar maka kemampuan dari mesin pendingin juga semakin baik ditunjukkan dengan nilai COP berbanding lurus dengan nilai efisiensi evaporator



Gambar 14. Kerja Kompresor dengan Coefficient Of Performance

Gambar14 yang memperlihatkan hubungan antara COP dengan kerja yang dibutuhkan kompresor  $W_{\text{kompresor}}$ , bahwa semakin besar nilai  $W_{\text{kompresor}}$  maka semakin kecil nilai COP yang dihasilkan. Kerja kompresor  $W_{\text{kompresor}}$  berbanding terbalik dengan COP dan sesuai dengan persamaan



$$COP = \frac{Q_{\text{evaporator}}}{W_{\text{kompresor}}}$$

Gambar 15. Heat Rejected Ratio dengan Coefisien Of Performance

Gambar15 yang memperlihatkan hubungan antara HRR dengan COP dapat dilihat semakin besar nilai HRR maka semakin kecil nilai COP. COP dan HRR memiliki variabel yang sama dalam fungsi yaitu panas pada evaporator,  $Q_{\text{evaporator}}$ .  $Q_{\text{evaporator}}$  berbanding lurus dengan COP yang mengakibatkan nilai COP tinggi apabila nilai  $Q_{\text{evaporator}}$  tinggi, sebaliknya akan berakibat nilai HRR rendah apabila  $Q_{\text{evaporator}}$  tinggi dikarenakan hubungan HRR dengan  $Q_{\text{evaporator}}$  berbanding terbalik Hal ini diperlihatkan pada persamaan dibawah ini :

$$COP = \frac{Q_{\text{evaporator}}}{W_{\text{kompresor}}} \quad HRR = \frac{Q_{\text{kondensator}}}{Q_{\text{evaporator}}}$$

## X. KESIMPULAN

Dari serangkaian kegiatan pengujian, analisis dan pembahasan yang dilakukan terhadap mesin pendingin jenis cussons technology dengan serial nomor 129 onward ditinjau secara termodinamika dengan menggunakan refrigerant R134-a maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

Dengan variasi kecepatan udara dari 23.6 mph sampai dengan 35 mph dengan variasi pemanasan awal (*pre-heat*) dan pemanasan ulang (*re-heat*) pada variasi preheat 3 kW dan reheat 1 kW didapat nilai  $Q_{\text{udara}}$  paling tinggi, dan pada kondisi tanpa beban preheat dan reheat diperoleh nilai  $Q_{\text{udara}}$  paling rendah. Kecepatan laju aliran massa *refrigerant* yang

tinggi menyebabkan nilai beberapa variabel menjadi naik seperti  $W_{kompresor}$ ,  $Q_{kondensor}$  dan  $Q_{evaporator}$ .

Dari empat pengujian yang dilakukan didapatkan nilai *coefisien of performance* (COP) sebesar 3,782 sampai dengan 4,375 yang menunjukkan nilai unjuk kerja dari mesin pendingin sangat bagus.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan banyak terima kasih kepada Tuhan yang Maha Esa atas karunia dan terselesainya Jurnal ini, semoga isinya dapat bermanfaat dan dapat dipakai sebagai referensi bagi yang membutuhkannya walaupun masih banyak kekurangannya. Pada kesempatan ini juga tak lupa kami sampaikan terima kasih kepada Ketua Prodi Teknik Mesin dan Team Jurnal transmisi Unmer Malang yang sudah memfasilitasi, menerima dan meng upload Jurnal kami.

#### REFERENSI

- [1] Stoecker, W.F., Jones. J.W., 1996. Refrigeration and air conditioning. second edition., Tata McGraw-Hill Co LTD., New Delhi, 1980..
- [2] Cusson Tecnology. 1974. P5698 Air Conditioning Unit (Serial No. 129 Onward). U.K. G Cusson LTD.
- [3] Ma'ruf, M. Buku Ajar Teknik Pendingin. 2019. : Universitas Merdeka Malang Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.
- [4] Hartanto Tri Bayu. 2004. Pengaruh Beban Pemanasan Awal (Pre-Heat) Pada Refrigerant R-12 Terhadap Unjuk Kerja (Coefisient Of Performance) Mesin Pendingin Jenis Cussons Manchester M7 9RH England. Tugas akhir.

## Daftar Notasi

Keterangannotasi pada gambar 2;

P1 : tekanan masuk kompresor

P2 : Tekanan keluar kompresor

T1 : Temperatur keluar kompresor, temperatur masuk kondensor

T2 : Temperatur keluar kondensor, temperatur masuk ketup ekspansi

T3 : Temperatur keluar katup ekspansi, temperatur masuk evaporator

T4 : Temperatur keluar evaporator

T5 : Temperatur masuk kompresor

T6 : Temperatur air masuk kondensor

T7 : Temperatur air keluar kondensor

T8 : Temperatur udara masuk blower

T9 : Temperatur alat pembuat uap

T10 : Temperatur udara kering keluar preheat

T11 : Temperatur udara basah keluar preheat

T12 : Temperatur udara kering keluar evaporator

T13 : Temperatur udara basah keluar evaporator

T14 : Temperatur udara kering keluar reheat

T15 : Temperatur udara basah keluar reheat

$\dot{m}$  = laju aliran massa { kg/s }  $\rho$  = massa jenis { kg/m<sup>3</sup> }

$v$  = Kecepatan { m/s }

$A$  = Luas { m<sup>2</sup> }

$h$  = Entalpi { kJ/kg }

$W_{\text{kompresor}}$  = Kerja yang dilakukan kompresor (kJ/s)

$Q_{\text{kondensor}}$  = Kalor yang dilepas kondensor (kJ/s)

$Q_{\text{evaporator}}$  = Kalor yang diserap evaporator (kJ/s)

# Pengaruh Parameter Pengelasan Proses Gtaw pada Pipa Baja HSLA API 51 X70 dengan Simulasi Menggunakan Ansys

Sutrimeo\* dan Adam Mandawa Putra

Jurusan Teknik Mesin

Program Studi D-4 Proses Manufaktur, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012, Indonesia

\*sutrimeo050758@gmail.com (penulis korespondensi)

**Abstrak**— Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah pipa HSLA (*High Strength Low Alloy Steel*), yang mengacu pada Standard API 5L X70 (*American Petroleum Institute*), yaitu suatu pipa yang digunakan di Industri Migas Modern. Pada proses penyambungannya, menggunakan Proses las GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). GTAW merupakan proses pengelasan busur listrik elektroda tak terumpan, dengan menggunakan *Tungsten* sebagai Elektroda, *Shielding Gas* dan Logam Pengisi atau bahan tambah. Akibat dari proses pengelasan tersebut, maka terjadi tegangan sisa dan deformasi, hal tersebut disebabkan adanya perbedaan Siklus *Thermal* dan distribusi panas yang tidak merata pada daerah las. Sehingga akan mempengaruhi sifat mekanis struktur las yang mengakibatkan terjadinya cacat las seperti: patah getas, kelelahan (*fatig*), retak karena kombinasi tegangan dan korosi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui temperatur yang ideal, terhadap variasi parameter pengelasan, nilai tegangan sisa dan distorsi yang terjadi. Pada penelitian ini dilakukan dengan pemodelan pipa ukuran 2 Inchi (50.8 mm), panjang 250 mm dan tebal 10 mm menggunakan perangkat lunak CAD. Model CAD diimpor kedalam perangkat lunak CAE (ANSYS) untuk melakukan Analisis *Thermal* dan Struktural Statik. Variable yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter pengelasan seperti: Arus, Tegangan dan Kecepatan Pengelasan, kemudian dipisahkan sesuai dengan pembagian kasus yang terjadi, selanjutnya dilakukan analisis dan evaluasi pada distribusi suhu di berbagai daerah lasan, seperti pada Logam Las, HAZ dan Logam Induk. Selanjutnya dilakukan Analisa Tegangan Sisa dan Distorsi yang terjadi pada sampel hasil pengelasan, akibat pengaruh panas pada saat pengelasan. Dari simulasi yang dilakukan menunjukkan, bahwa hasil temperatur yang ideal terdapat pada variasi parameter pengelasan, dengan Tegangan 20 V, Arus 100 A, Kecepatan Pengelasan 4,5 mm/s dengan Tegangan 15 V, Arus 100 A, Kecepatan Pengelasan 3 mm/s dengan nilai Temperatur maksimum 1596,4 °C dan 1633,9 °C, tegangan sisa yang terjadi diperoleh nilai maksimum 1721,5 Mpa dan 1762,5 Mpa. Deformasi yang terjadi merupakan deformasi transfersal dengan nilai perubahan maksimum 0,38716 mm dan 0,39637 mm.

**Kata kunci**— Pipa Baja HSLA, API 5L X70, GTAW, HAZ, Tegangan sisa dan Distorsi.

**Abstract**— *American Petroleum Institute (API) 5L X70 standard HSLA pipe is a pipe used in the modern oil and gas industry. One of the connection pipe connections using the Welding Method. GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) is a non-feed electrode Electric arc Welding Process, using tungsten as an electrode, shielding gas, and filler metal. Residual stress and deformation occur due to differences in heat cycles and uneven heat distribution in the weld area. So that it affects the mechanical properties of the weld structure which results in welding defects such as brittle fracture, fatigue, cracks due to a combination of stress and corrosion. The purpose of this final project is to determine the ideal temperature from the variation of welding parameters and to know the value of residual stress and distortion. The work of this final project is done by modeling the pipe size 2 inch (50.8 mm), 246 mm long and 11 mm wall thickness using CAD Software. CAD models are imported into the CAE software (ANSYS) to perform static thermal and structural analysis. The variations used are welding parameters such as welding current, voltage, and speed, separated according to the division of cases. analyzed and evaluated the temperature distribution in various welding areas such as weld metal, HAZ, and parent metal. Then the residual stress and distortion that occurs in the workpiece are analyzed due to thermal effects. The results of the simulation show that the ideal temperature results are obtained from variations in welding parameters with a voltage of 20 V, a current of 100 A, a Welding Speed of 4.5mm/s and a Voltage of 15 V, a Current of 100 A, a Welding Speed of 3 mm/s with a maximum temperature value of 1596.4 °C and 1633.9 °C, the maximum residual stress value is 1721.5 MPa and 1762.5 MPa, the deformation that occurs is a transverse deformation with a maximum change value of 0.38716 mm and 0.39637 mm*

**Keywords**— HSLA pipe, API 5L X70, GTAW, HAZ, Residual stress, Distortion..

## I. PENDAHULUAN

Teknologi penyambungan material sering digunakan pada industri di bidang pemesinan. Salah satunya penyambungan material dengan pengelasan. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini, bahwa penyambungan dengan metode pengelasan dapat

menghasilkan suatu produk las yang berkualitas dengan beragam jenis pengelasan yang semakin berkembang.

Pembuatan suatu produk saat ini menggunakan sistem komputerisasi yang digunakan untuk perencanaan, bagaimana suatu produk dibuat. Perangkat lunak yang biasa digunakan adalah CAD, CAE, CAA, dan CAM. Suatu produk dibuat tergantung dari kebutuhan dan permintaan pasar terutama di bidang teknik mesin.

Baja HSLA (*High Strength Low Alloy*) merupakan baja berkekuatan tinggi dengan paduan rendah yang dirancang untuk memberikan kombinasi sifat-sifat tertentu yang diinginkan antara lain: kekuatan, ketangguhan, sifat dapat dibentuk, kemampuan las dan ketahanan terhadap korosi atmosferik, adalah merupakan keunggulan dari baja ini. Pipa HSLA Standard *American Petroleum Institute* (API) 5L X70 digunakan pada Industri Migas Modern. Industri pipa baja telah melakukan upaya ekstensif untuk mengembangkan sifat metallurgy dan mekanis (kekuatan, ketangguhan dan keuletan) dari bahan pembuatan pipa tersebut. Teknologi penyambungan material sering digunakan pada industri di bidang pemesinan. Salah satunya penyambungan material dengan pengelasan. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini, bahwa penyambungan dengan metode pengelasan dapat menghasilkan suatu produk las yang berkualitas dengan beragam jenis pengelasan yang semakin berkembang.

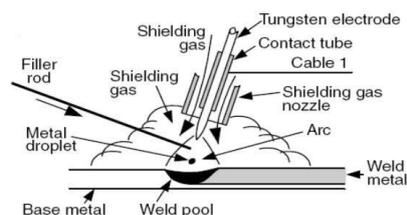
Pembuatan suatu produk saat ini menggunakan sistem komputerisasi yang digunakan untuk perencanaan, bagaimana suatu produk dibuat. Perangkat lunak yang biasa digunakan adalah CAD, CAE, CAA, dan CAM. Suatu produk dibuat tergantung dari kebutuhan dan permintaan pasar terutama di bidang teknik mesin.

Baja HSLA (*High Strength Low Alloy*) merupakan baja berkekuatan tinggi dengan paduan rendah yang dirancang untuk memberikan kombinasi sifat-sifat tertentu yang diinginkan antara lain: kekuatan, ketangguhan, sifat dapat dibentuk, kemampuan las dan ketahanan terhadap korosi atmosferik, adalah merupakan keunggulan dari baja ini. Pipa HSLA Standard *American Petroleum Institute* (API) 5L X70 digunakan pada Industri Migas Modern. Industri pipa baja telah melakukan upaya ekstensif untuk mengembangkan sifat metallurgy dan mekanis (kekuatan, ketangguhan dan keuletan) dari bahan pembuatan pipa tersebut.

#### a. Pengelasan GTAW

GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) atau TIG (*Tungsten Inert Gas*) Merupakan proses pengelasan dengan menggunakan busur listrik elektroda tak terumpan, dengan menggunakan *shielding gas* pada proses pengelasan. Tungsten atau wolfram sebagai elektroda. Busur listrik (*Arc welding*) merupakan cara pengelasan, dimana gas dihembuskan ke daerah las untuk melindungi busur dan logam yang mencair terhadap atmosfer. Kemampuan GTAW menghasilkan hasil las yang berkualitas tinggi pada hampir semua jenis logam.

Elektroda GTAW termasuk dalam elektroda *non-consumable* atau tidak terumpan. Digunakan sebagai penyala busur api untuk melelehkan kawat las atau bahan tambah dan tidak berfungsi sebagai bahan tambah. Bahan elektroda ini adalah *wolfram* atau tungsten paduan, karena tungsten mempunyai temperatur yang lebih tinggi dibanding logam lain.



Gambar 1 Pengelasan GTAW.

b. Pipa Baja HSLA API 5L X70

American Petroleum Institute (API) 5L adalah pipa baja saluran mulus dan mampu las untuk sistem transportasi fluida maupun gas di industri minyak bumi dan gas alam (MIGAS) dan digunakan untuk menyalurkan minyak, cairan dan gas. Spesifikasi API 5L Mengacu pada Standardisasi ISO 3183, yaitu standardisasi sistem transportasi pipa dalam industri gas alam, minyak bumi, dan petrokimia.

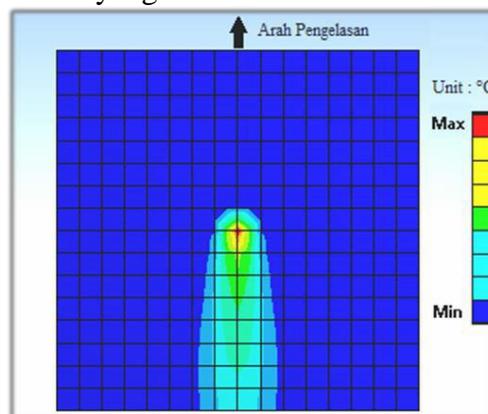
Ketika membuat standar, komite teknis mengakui bahwa ada dua Tingkat persyaratan teknis Tingkat Spesifikasi Produk atau Produk Spesifikasi Level (PSL) dan oleh karena itu selanjutnya dikembangkan PSL 1 dan PSL 2. PSL 1 adalah kualitas standar untuk pipa saluran, dan PSL 2 mengandung bahan kimia, sifat mekanik tambahan dan persyaratan pengujian.

TABEL I  
KOMPOSISI KIMIA DAN SIFAT MEKANIS PIPA API 5L X70

Grade	HSLA	API 5L X70
Komposisi Kimia (wt%)	C	0.17
	Si	0.45
	Mn	1.75
	P	0.020
	S	0.010
	V	0.10
	Nb	0.05
	Ti	0.06
Yield Strength	min. (KSI)	70
Tensile Strength	min. (KSI)	82
Yield to Tensile	Ratio (max)	0.93
Elongation	%	17

c. Siklus Thermal Las

Distribusi panas secara konduksi, busur las yang dihembuskan ke daerah logam induk akan menghasilkan nilai temperatur yang lebih besar dari daerah yang tidak terkena kontak langsung, selanjutnya kontak panas dari busur las mulai mengalir ke sekitar daerah logam induk atau merambat ke daerah yang memiliki temperature lebih rendah, sehingga terjadi distribusi panas di sekitar daerah yang dilas.



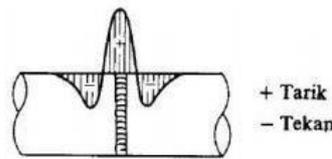
Gambar 2. Kondisi termal pada saat pengelasan

Distribusi panas secara konveksi merupakan perpindahan partikel terhadap perpindahan panas. Ketika pengelasan terjadi, penetrasi las meleburkan logam induk dan filler menjadi

kawah las dan terjadi pencampuran partikel. Udara sekitar mendinginkan kembali kawah las sehingga kawah las membeku menjadi logam las.

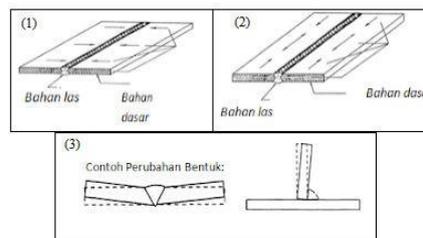
*d. Tegangan Sisa dan Distorsi*

Tegangan sisa merupakan perubahan gaya elastis pada saat pengelasan. Gaya elastis dari tegangan sisa dapat menyebabkan jarak antar atom berubah dalam bahan las. Hal ini dipengaruhi akibat ketidakseragaman deformasi plastis pada benda kerja. Karena ada perubahan siklus thermal, perlakuan panas tidak merata atau laju pendinginan yang berbeda dapat menghasilkan tegangan sisa pada bahan hasil proses pengelasan.



Gambar 3. Distribusi tegangan sisa pada pengelasan pipa

Distorsi merupakan fenomena ekspansi dan kontraksi pada logam yang terjadi akibat siklus thermal. Logam mengalami ekspansi atau pemuaihan akibat proses pemanasan, sedangkan logam mengalami kontraksi atau penyusutan ketika mengalami pendinginan. Beberapa macam distorsi berupa distorsi transversal atau perubahan bentuk arah melintang, distorsi longitudinal atau perubahan bentuk arah memanjang dan distorsi rotasional atau perubahan bentuk arah menyudut.

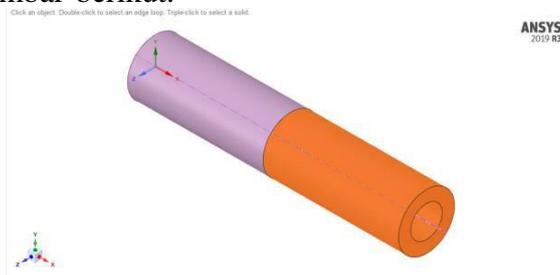


Gambar 4. (1) Distorsi transversal; (2) Distorsi longitudinal; (3) Distorsi rotasional

II. METODE

*a. Pemodelan*

Untuk Modeling spesimen pengujian, dilakukan dengan menggunakan CAD CATIA. Modeling berbentuk Pipa dengan diameter 2 Inchi (50.8 mm) dengan panjang 125 mm dan tebal dinding pipa 11 mm, dimensi pada pipa disesuaikan dengan tebal pipa API 5L X70 ukuran 2 inch, seperti gambar berikut:



Gambar 5 Model pipa API 5L X70

*b. Parameter Pengelasan*

Percobaan pengelasan dengan memvariasikan parameter berupa: Arus, Voltage, dan Kecepatan Pengelasan. Lalu dibagi menjadi 3 kasus dengan perbedaan variabel pada masing- masing parameter.

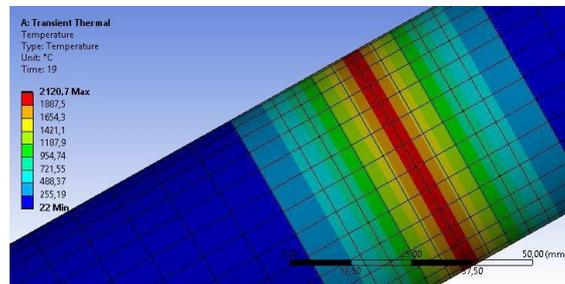
TABEL II  
PARAMETER SIMULASI

Sampel	Tegangan (V)	Arus (I)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (W)	Heat flux (W/mm <sup>2</sup> )
1- A	20	100	3	1400	5,6
1- B	20	100	4.5	1400	4,2
1- C	20	100	6	1400	2,8
2- A	15	100	3	1050	4,3
2- B	20	100	3	1400	5,6
2- C	25	100	3	2100	7
3- A	20	90	3	1260	5
3- B	20	100	3	1400	5,6
3- C	20	110	3	1540	6,1

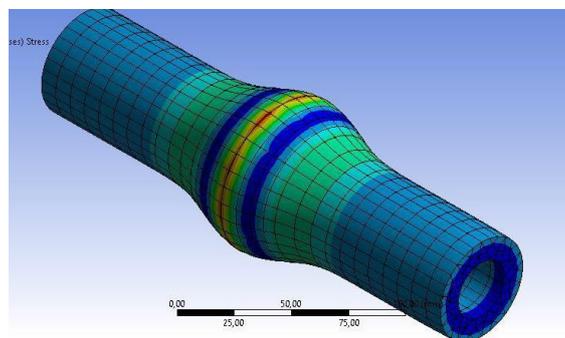
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Visual Hasil Simulasi

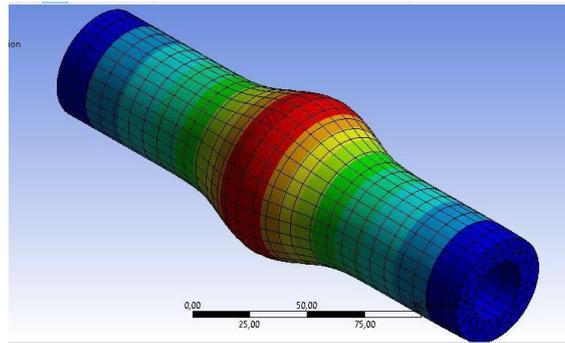
Hasil simulasi pada variasi parameter pengelasan, menunjukkan distribusi panas pada pengelasan pipa dengan nilai temperaturnya, terbentuknya tegangan sisa dengan nilai tegangan dan perubahan deformasi dengan nilai jarak perubahannya. Berikut salah satu sampel ditunjukkan pada gambar.



Gambar 6 Distribusi Temperatur Maksimum



Gambar 7. Distribusi tegangan sisa



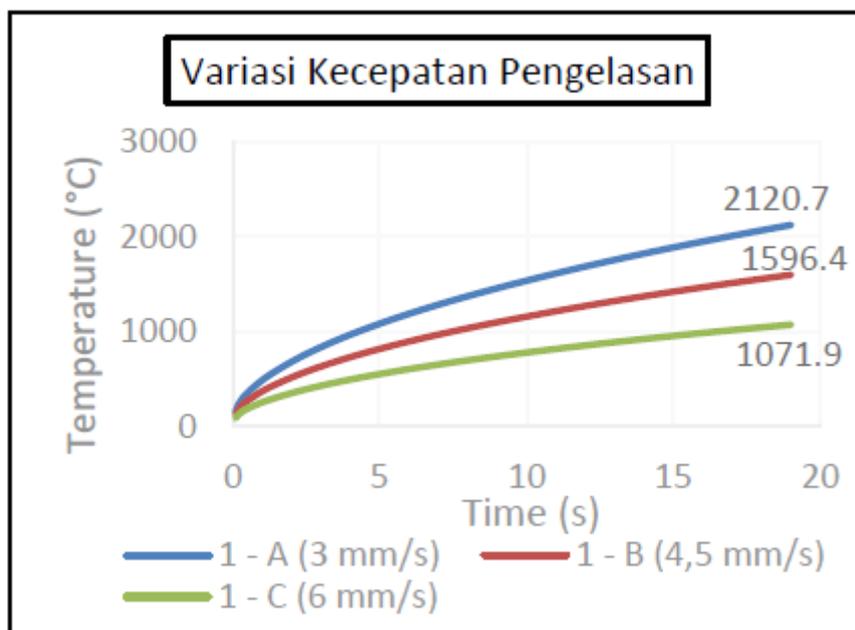
Gambar 8 Distribusi distorsi

*b. Hasil Solusi Data*

Tabel 3 Menunjukkan nilai maksimum Temperatur, distorsi dan tegangan sisa hasil simulasi yang diambil dari data *solution ANSYS*.

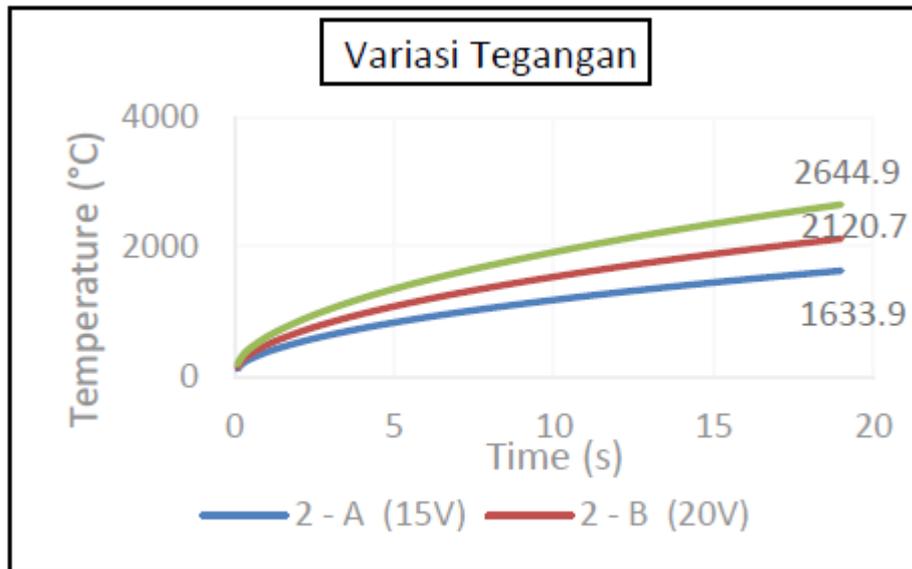
TABEL III  
NILAI MAKSIMUM PADA MASING-MASING SAMPEL

No	Sampel	Temperatur (°C)	Total Deformasi (mm)	Tegangan Sisa (Mpa)
1	1-A	2120,7	0,51604	2294,8
	1-B	1596,4	0,38716	1721,5
	1-C	1071,9	0,25821	1148,1
2	2-A	1633,9	0,39637	1762,5
	2-B	2120,7	0,51604	2294,8
	2-C	2644,9	0,64491	2868,1
3	3-A	1911	0,46449	2065,5
	3-B	2120,7	0,51604	2294,8
	3-C	2307,9	0,56207	2499,5



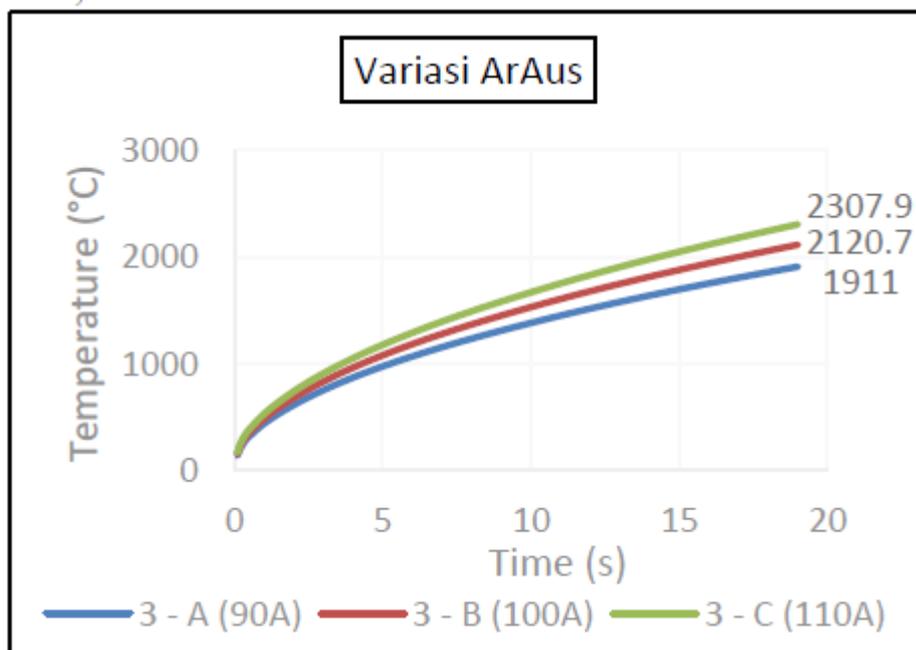
Gambar 9 Grafik temperature, perbandingan variasi kecepatan pengelasan

Grafik pada Gambar 9 menunjukkan nilai temperatur maksimum pada masing masing variasi kecepatan pengelasan berturut - turut sebesar : 2120,7 °C, 1596,4 °C dan 1071,9 °C. Kenaikan temperatur dari 3 mm/s sampai dengan 6 mm/s sebesar 1048,8 °C dengan setiap kenaikan 0.5 mm/s sebesar 174.8 °C.



Gambar 10 Grafik temperature perbandingan variasi tegangan

Grafik variasi tegangan pada Gambar 10 menunjukkan nilai temperatur maksimum pada masing masing variasi voltage pengelasan berturut - turut sebesar 1633,9 °C, 2120,7 °C dan 2644,9 °C. Kenaikan temperatur dari 15 V sampai dengan 25 V sebesar 1011 °C dengan setiap kenaikan 1 V sebesar 101,1 °C.



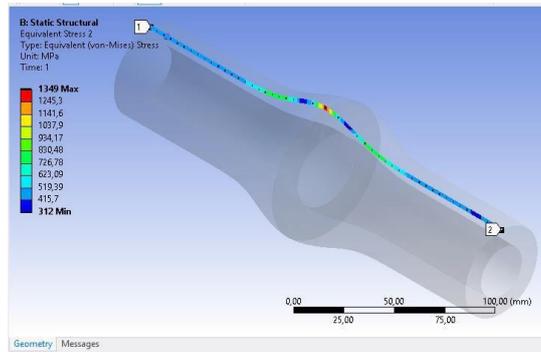
Gambar 11 Grafik temperature perbandingan variasi arus

Grafik variasi arus pada Gambar 11 menunjukkan nilai temperatur maksimum pada masing-masing variasi Arus pengelasan berturut - turut sebesar 1911°C, 2120,7 °C dan

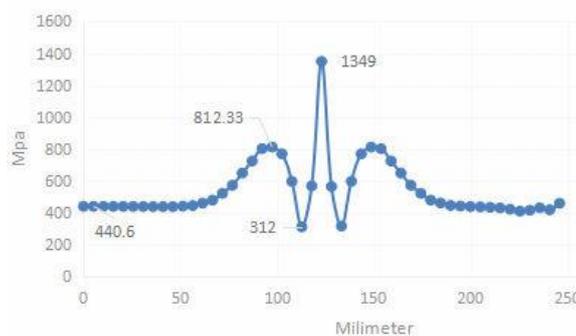
2307,9 °C. Kenaikan temperatur dari 90 A sampai dengan 110 A sebesar 396,9 °C dengan setiap kenaikan 1 A sebesar 19,8 °C.

c. *Tegangan Sisa dan Distorsi*

Hasil dari nilai maksimum tegangan sisa pada simulasi, tidak terbaca pada daerah HAZ maupun *base metal*, hanya terbaca pada pusat *weld metal*. Maka diberikan fitur Path, untuk mengindikasikan hasil sebaran nilai tegangan sisa pada pipa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

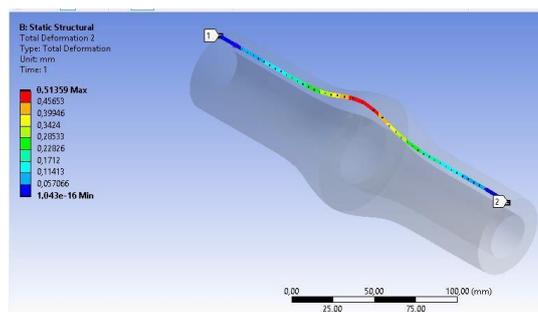


Gambar 12 Path tegangan sisa pada hasil simulasi



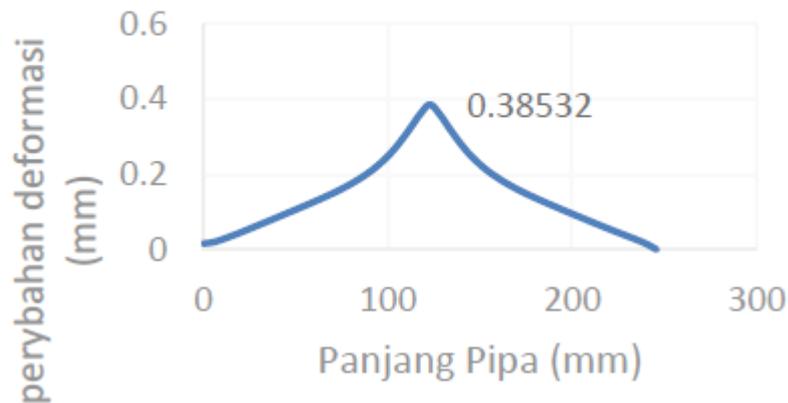
Gambar 13. Graifk tegangan sisa pada hasil simulasi

Grafik hasil path pada Gambar 4.8 diambil dari kasus 1 - B menunjukkan hasil yang fluktuatif, dimana dari garfik tersebut memiliki nilai yang naik turun dan dipengaruhi oleh panas pada saat pengelasan dilakukan. Grafik menunjukkan nilai maksimum 1349 Mpa tegangan tarik pada *weld metal* dan nilai maksimum 312 Mpa tegangan tekan pada daerah fusi. Pada daerah HAZ menuju ke daerah *base metal* yang menjauh dari *weld metal* didapatkan nilai 812,33 Mpa s/d 440,6 Mpa. *Sebaran deformasi hanya terbaca pada pusat weld metal*. Maka diberikan fitur path untuk melihat hasil sebaran deformasi pada pipa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 14. Path distorsi pada hasil simulasi

## Perubahan Deformasi (mm)



Gambar 15. Grafik distorsi pada hasil simulasi

Grafik pada Gambar 15 yang diambil dari kasus 1 - B menunjukkan terjadi kenaikan yang terpusat ke daerah *weld metal* dengan nilai sebesar 0.38532 mm. Deformasi yang terjadi merupakan deformasi *transfersal*.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan simulasi pengelasan pipa dengan mengamati nilai-nilai dari temperatur, tegangan sisa dan distorsi, maka dapat diambil beberapa kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang didapat, sebagai berikut:

Setiap kenaikan kecepatan pengelasan sebesar 0.5 mm/s, mengalami penurunan temperatur sebesar 174.8 °C. Sedangkan kenaikan tegangan dan arus berbanding lurus terhadap kenaikan temperatur, antara lain setiap kenaikan 1 V, temperatur naik sebesar 101,1 °C., sedang setiap kenaikan 1 A mengalami kenaikan temperatur sebesar 19,8 °C.

Nilai Tegangan sisa maksimum pada kasus 1 - B dan 2 - A adalah berturut - turut sebesar 1721,5 Mpa dan 1762,5 Mpa, sedangkan nilai deformasi maksimum pada kasus 1-B dan 2- A adalah berturut - turut sebesar 0,38716mm dan 0,39637 mm.

#### REFERENSI

- [1] *ASM Speciality Handbook. High Strength Low Alloy Steels. ASM International. 2001.*
- [2] *Khaled, Terry. Preheating, Interpass And Post- Weld Heat Treatment Requirements For Welding Low Alloy Steels. COSTA Metallurgy Federal Aviation Administration California, United State. 2014.*
- [3] *Lazuardy, N. Farrell. Analisa Tegangan Sisa Dan Distorsi Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Struktur Jacket Pt. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore Phe-24 Dengan Shell Element. Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya. 2017.*
- [4] *Masubuchi, Koichi. Analysis of Welded Structure: Residual Stresses, Distortion and Consequences. Massachusetts : Pergamon Press, 1980.*
- [6] *Prasad, V.M. Varma et al. 3D simulation of residual stress developed during TIG welding of stainless steel pipes. Sree Chithra Thirunal College of Engineering, Thiruvananthapuram, Kerala, India. 2015.*
- [7] *Prashant, Sagar et al. Thermal analysis of TIG welded Ti-6Al-4V plates using ANSYS. Department of Mechanical Engineering IIT (ISM) Dhanbad, India. 2018.*
- [8] *PM International Suppliers. API 5L X Grades. United State. diakses pada 20 Juli 2020 <https://www.api5lx.com/api5lx-grade>.*
- [9] *Rosado, D. Belado, et al. Latest Developments In Mechanical Properties And Metallurgical Features Of High Strength Line Pipe Steels. Department of Materials Science and Engineering Ghent University, Belgium. 2013.*
- [10] *Sutrimo. Gas Tungsten Arc Welding. Welding Training Center Politeknik Negeri Bandung, Bandung 2015.*
- [11] *Syukri, Muhamad S. B. Thermal Simulation of Different Welding Speed And Metal Thickness For Butt-Joint Welding With Ansys. University Teknologi PETRONAS Teronoh, Malaysia. 2015.*
- [12] *Wirjosumarto, Harsono dan Okumura, Toshie. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta : PT Pradnya Paramita, 1987.*

# Efektifitas Saluran Drainase dalam Menurunkan Risiko Banjir dan Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat di Dataran Banjir

Laksni Sedyowati<sup>1\*</sup>, Gunawan Wibisono<sup>2</sup>, Turijan<sup>3</sup>, Nanang Mudjito<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang  
Jalan Terusan Dieng No. 62-64 Malang Indonesia

<sup>1\*</sup>laksni.sedyowati@unmer.ac.id

*Abstrak*— Penanganan banjir di dataran banjir dengan kepadatan penduduk tinggi memiliki tantangan yang kompleks. Hampir semua masyarakat di kawasan tersebut enggan berpindah tempat meski sadar akan potensi terjadinya banjir. Penelitian ini bertujuan untuk: 1) mengembangkan pengetahuan dan pemahaman tentang aksi bersama masyarakat dalam menghadapi banjir sekaligus meningkatkan kesejahteraan melalui modifikasi saluran drainase untuk budidaya ikan dan sayuran; 2) menilai efektivitas biaya investasi saluran drainase dengan memperhitungkan seluruh manfaat sosial yang diperoleh sebagai dampak aksi bersama tersebut. Penelitian ini menggunakan metode campuran yang menggabungkan data kuantitatif berupa hasil penyebaran kuisioner, serta data kualitatif berupa hasil interview mendalam dan observasi langsung di lapangan. Parameter desain berupa aksi bersama masyarakat, sedangkan parameter amatan berupa pemahaman penyebab banjir, pemahaman risiko banjir, kesadaran dan partisipasi masyarakat, serta program pengendalian banjir dari pemerintah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemahaman risiko banjir dan partisipasi aktif masyarakat berpengaruh signifikan dalam membangun aksi bersama masyarakat. Aksi bersama ini dapat mengurangi risiko banjir hingga 30%, dan memberikan keuntungan finansial secara langsung. Manfaat total berupa efektivitas biaya investasi saluran drainase mencapai 49,2% dalam setahun.

*Kata kunci*— aksi bersama, manajemen risiko banjir, ketahanan banjir, kearifan lokal, partisipasi masyarakat.

*Abstract*— Dealing with flooding in floodplains with high population density poses complex challenges. Almost all people in the area are reluctant to move, although they are aware of the potential for flooding. This study aims to: 1) develop knowledge and understanding of community collective action in dealing with floods as well as improve welfare through modification of drainage channels for fish and vegetable cultivation; 2) assessing the cost effectiveness of drainage investment by taking into account all social benefits obtained as a result of the joint action. This research uses a mixed method that combines quantitative data in the form of the results of distributing questionnaires, and qualitative data in the form of in-depth interviews and direct observation in the field. The design parameters are in the form of joint community action, while the observation parameters are in the form of understanding the causes of flooding, understanding the risk of flooding, community awareness and participation, and the government's flood control program. The results showed that understanding flood risk and active community participation had a significant effect in building community action. This collective action can reduce flood risk by up to 30%, and provide immediate financial benefits. The total benefit in the form of cost effectiveness of drainage investment reaches 49.2% in a year.

*Keywords*— collective action, flood risk management, flood resilience, local wisdom, community participation.

## I. PENDAHULUAN

Curah hujan akibat perubahan iklim seringkali menyebabkan banjir dan genangan. Penilaian risiko di daerah perkotaan diperlukan jika terjadi curah hujan ekstrim [1]. Banjir dan genangan khususnya terjadi di jalan-jalan utama kota [2]. Berkurangnya luas terbuka akibat pembangunan perkotaan yang tidak terkendali berpotensi menghasilkan debit limpasan yang tinggi, terutama pada saat hujan deras. Ada banyak penelitian yang mengkaji masalah banjir perkotaan dan penyelesaiannya, diantaranya adalah penggunaan perkerasan permeabel [3]–[6]. Namun, infrastruktur pengendalian banjir belum secara signifikan mengurangi risiko banjir global, seperti yang ditunjukkan oleh kejadian dan kerugian banjir tahunan rata-rata, 2000-2015 [7]. Hambatan yang signifikan dalam upaya pengendalian banjir adalah kurangnya respon proaktif untuk mengantisipasi bencana. Saat ini tindakan yang dilakukan adalah tindakan reaktif setelah terjadi bencana, seperti tanggap darurat dan pemulihan [8]; upaya lebih struktural daripada tindakan non-struktural [9]; kurangnya peran dan kewenangan yang diberikan kepada masyarakat [10] dan multipihak [11]; dan untuk setiap wilayah yang berbeda tidak ada pendekatan adaptasi khusus yang terkait dengan pengembangan sistem

ketahanan banjir perkotaan [12]. Tindakan non-struktural memiliki keuntungan karena ramah lingkungan dan efisien secara ekonomi, tetapi efektivitasnya sensitif terhadap konteks sosio-ekonomi dan perilaku pemerintah [13].

Saat ini, telah terjadi perubahan paradigma pengendalian banjir dari teknologi konvensional ke teknologi modern. Perubahan signifikan dalam upaya mengurangi risiko banjir yang pada awalnya menggunakan pendekatan struktural sekarang beralih ke pendekatan yang lebih “lunak” atau non struktural antara lain pengelolaan banjir terintegrasi, sistem drainase berkelanjutan, pengelolaan limpasan hujan deras [14] dan sistem ketahanan banjir [9]. Untuk meningkatkan efektivitas manajemen risiko bencana dan mengurangi korban jiwa dan harta benda, upaya harus diarahkan pada respon proaktif. Penanggulangan bencana yang proaktif membutuhkan lebih banyak partisipasi dari para pemangku kepentingan, seperti pemerintah, lembaga non pemerintah dan swasta, serta partisipasi masyarakat. Ini berimplikasi pada lebih banyak tenaga dan waktu, biaya operasional, peralatan, fasilitas dan sumber daya manusia, yang mengarah pada integrasi program jangka panjang dan jangka pendek untuk penanggulangan bencana banjir [8]. Sistem perkotaan yang menerapkan sistem perlindungan dengan melibatkan masyarakat secara mandiri dapat menghindari kerusakan yang lebih besar. Berdasarkan beberapa pengalaman sebelumnya, bentuk sistem dapat disesuaikan dengan masalah dan gangguan yang terjadi di wilayah tersebut. Perbedaan dalam sistem perkotaan (kelembagaan, tingkat urbanisasi, aset, budaya risiko yang ada dan kesiapan keuangan) mempengaruhi tingkat gangguan yang terjadi selama dan setelah banjir, serta mencerminkan ketahanan terhadap banjir di sistem perkotaan [15]. Kendala-kendala yang muncul dalam pengelolaan risiko banjir masyarakat, seperti kurangnya sumber daya keuangan, menyebabkan sindrom ketergantungan bantuan yang dapat menjadi penghambat keberhasilan program. Kurangnya sumber pendanaan dan kepemilikan lokal juga menjadi tantangan utama bagi keberlanjutan program. Mengidentifikasi tantangan dapat menjelaskan batasan dan memandu bagaimana perbaikan diperlukan, sehingga memberikan kontribusi yang berharga pada basis pengetahuan yang ada [16].

Kota Malang yang berada di dataran tinggi dan dialiri oleh lima sungai yang topografinya memiliki karakter aliran yang sangat baik dengan kondisi topografi berbukit [17], seharusnya tidak mengalami masalah banjir yang berarti. Namun, perkembangan kota yang pesat dan perubahan karakteristik hujan akibat perubahan iklim telah menyebabkan banjir dan genangan selama musim hujan. Upaya pencegahan banjir sudah banyak dilakukan pemerintah daerah, namun hingga saat ini belum terlihat hasil yang optimal. Untuk mendorong pemerintah, dunia usaha, masyarakat dan pihak lain untuk terus berkontribusi dalam proyek pengelolaan risiko banjir, perlu diberikan pemahaman bahwa proyek pengendalian banjir juga dapat memberikan manfaat ekonomi secara langsung, terutama bagi masyarakat yang terkena dampak banjir. Hal ini dapat meningkatkan minat pihak terkait, seperti pemerintah, swasta, dan sponsor lain untuk berinvestasi dalam proyek pengendalian banjir. Ada beberapa keuntungan yang dapat diperhitungkan sebagai efektivitas biaya dalam setiap investasi yang diberikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pengetahuan dan pemahaman tentang aksi bersama masyarakat dalam menghadapi banjir sekaligus meningkatkan kesejahteraan melalui modifikasi saluran drainase untuk budidaya ikan dan sayuran; 2) menilai efektivitas biaya investasi saluran drainase dengan memperhitungkan seluruh manfaat sosial yang diperoleh sebagai dampak aksi bersama tersebut.

## II. OBJEK PENELITIAN DAN METODE

### A. Lokasi Penelitian

Wilayah studi terletak di dataran banjir di Kota Malang, yaitu Kampung Glintung RW 5. Kampung ini juga dikenal dengan sebutan Jalan Air Glintung atau *Glintung Water Street*

(GWS). Nama GWS dipicu oleh fungsi jalan yang berubah menjadi saluran pada saat hujan lebat, khususnya pada jalan yang berada pada radius  $\pm 100$  m dari sungai. Dengan luas 8,2 ha dan jumlah penduduk 810 jiwa, kawasan ini tergolong pemukiman dengan kepadatan tinggi, yaitu sekitar 9900 jiwa/km<sup>2</sup>. Sejak awal tahun 2000 hampir 50% wilayah mengalami banjir setiap musim hujan dengan ketinggian banjir rata-rata 0,7 meter dan maksimum 1,5 meter. Ada saluran besar selebar sekitar 10 meter di batas selatan, jalan raya di barat, kampung tetangga yang padat di utara dan rel kereta api di timur. Ketiga kawasan perbatasan tersebut memiliki elevasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan Kampung Glintung sehingga kawasan ini seperti kolam air pada musim hujan. Kondisi semakin parah karena terjadi aliran balik ketika permukaan air di saluran pembuang utama kota meningkat dan air meluap ke kampung.

### **B. Saluran Drainase Yang Dimodifikasi**

Untuk mengurangi tinggi genangan yang terjadi di lokasi studi, Pemerintah Kota Malang melalui Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang DPUPR) pada Tahun 2018 membuat saluran drainase dengan total panjang 40 meter. Saluran terdiri dari dua ruas saluran, yaitu ruas bagian utara sepanjang 24 meter dan ruas bagian barat sepanjang 16 meter. Atas inisiatif dan aksi bersama dari masyarakat setempat, saluran drainase tersebut dimodifikasi agar dapat dimanfaatkan untuk budidaya ikan dan sayuran dengan menggunakan konsep *urban farming*. Pada awalnya saluran hanya digunakan untuk budidaya ikan lele dan sayuran berupa terong, lombok, tomat. Modal untuk benih ikan lele diperoleh dari hasil kerjasama dengan tim peneliti Prodi Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang, sedangkan benih sayuran merupakan sumbangan dari Dinas PUPR.

Saat ini, jenis ikan yang dibudidayakan juga semakin beragam antara lain nila, tombro, patin, juga sayuran antara lain sawi daging, labu, selada, kangkung dan bayam. Jenis ikan dan sayuran dipilih yang biasa dikonsumsi masyarakat sehari-hari, karena diharapkan hasil budidaya ikan dan sayuran ini dapat memenuhi kebutuhan gizi masyarakat. Pada akhirnya, harapan ini menjadi kenyataan dengan penghargaan yang diperoleh Kampung GWS sebagai Kampung Ketahanan Pangan.

Hasil panen ikan lele dijual dalam bentuk ikan segar maupun hasil olahan berupa bakso lele, sempol lele, sambal lalapan lele dan mangut lele. Rata-rata hasil penjualan ikan lele dan olahannya per bulan sebesar kurang lebih Rp. 7.500.000,-. Sedangkan rata-rata hasil penjualan sayuran dan olahan sayuran antara lain berupa jus, es krim dengan bahan labu dan sawi daging, sebesar Rp. 3.000.000,- per bulan. Jumlah pendapatan dalam sebulan dari budidaya lele dan sayuran sebesar Rp. 10.500.000. Biaya operasional yang meliputi pembelian bibit ikan dan sayuran, tenaga kerja, bahan tambahan dan biaya pengolahan makanan kurang lebih sebesar Rp. 6.500.000,- per bulan. Pendapatan bersih dari hasil budidaya ikan dan sayuran sebesar Rp. 4.000.000,- per bulan, atau Rp. 48 juta ,- per tahun.



Gambar 1. Saluran drainase pada saat pembangunan



Gambar 2. Saluran drainase yang dimodifikasi untuk budidaya ikan dan sayuran



Gambar 3. Air budidaya ikan dimanfaatkan untuk budidaya saluran melalui sistem sirkulasi



Gambar 4. Pembibitan sayuran dengan sistem sirkulasi air kolam ikan



Gambar 5. Ikan lele hasil budidaya

### C. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode campuran yang memadukan data kuantitatif yang diperoleh dari hasil penyebaran kuesioner (43 responden dari 162 kepala keluarga), dan data

kualitatif menggunakan wawancara mendalam (10 informan) dan observasi lapangan. Data kuantitatif digunakan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi aksi bersama masyarakat. Faktor-faktor yang diidentifikasi antara lain pemahaman penyebab banjir, pemahaman risiko banjir, kesadaran dan partisipasi masyarakat, program pengendalian banjir dari pemerintah. Kuesioner juga digunakan untuk mengetahui risiko banjir dan tingkat ketahanan masyarakat pada setiap kejadian banjir. Wawancara mendalam dilakukan untuk mengetahui alasan mengapa masyarakat tetap tinggal di dataran banjir, perkiraan kerugian banjir yang terjadi selama 10 tahun terakhir, dan nilai-nilai masyarakat yang digunakan dalam sistem ketahanan banjir yang terbentuk secara alami di masyarakat. Pengamatan lapangan dilakukan untuk mengetahui sistem ketahanan banjir masyarakat yang ada, interaksi masyarakat lokal dengan pemerintah daerah dan instansi terkait, serta ide kreatif masyarakat, inovasi dan keterampilan masyarakat setempat dalam mengoptimalkan fungsi saluran banjir.

Kuesioner terdiri dari lima kategori pertanyaan sebagai berikut: 1) Aksi bersama masyarakat; 2) Pemahaman penyebab banjir; 3) Pemahaman risiko banjir; 4) Kesadaran dan partisipasi masyarakat; 5) Program pengendalian banjir dari Pemerintah. Jawaban responden atas pertanyaan pada kuisisioner diarahkan pada empat alternatif jawaban menurut Skala Likert. Empat alternatif jawaban tersebut adalah: terus menerus, skor 4; seringkali, skor 3; jarang, skor 2; tidak pernah skor 1. Data tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan uji reliabilitas dan validitas. Pengisian kuisisioner dilakukan melalui wawancara langsung dengan responden dan jawaban langsung diisi pada kolom yang sesuai. Data kuisisioner kemudian dianalisis menggunakan uji korelasi, determinasi dan analisis regresi.



Gambar 6. FGD dan pengisian kuisisioner

Wawancara mendalam dilakukan terhadap 10 tokoh masyarakat sebagai informan, yaitu: Ketua RW (satu orang), Ketua PKK RW (satu orang), Ketua RT (lima orang), Ketua Takmir Masjid (satu orang), Ketua Karang Taruna (satu orang), sesepuh (satu orang) dan instansi pemerintah daerah terkait. Wawancara juga dilakukan untuk menggali peran instansi terkait dalam mengembangkan potensi masyarakat menuju ketahanan pangan, kelestarian lingkungan, serta fasilitas yang disediakan.

#### **D. Analisis Hidrologi dan Hidrolika**

Analisis hidrologi dilakukan untuk mengetahui debit limpasan yang menyebabkan genangan di lokasi penelitian. Debit limpasan dihitung menggunakan Metode Rasional dengan data curah hujan yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Kota Malang dengan panjang data 10 tahun, yaitu Tahun 2009-2018. Daerah tangkapan air diukur menggunakan Google Maps dan survei lapangan. Koefisien limpasan ditentukan berdasarkan jenis penggunaan lahan di daerah drainase, kemudian dihitung rata-ratanya. Analisis hidrolika digunakan untuk mengetahui kapasitas saluran drainase yang dibangun pemerintah sebagai investasi pengendalian banjir di lokasi studi. Kapasitas saluran dihitung

menggunakan rumus Manning dengan data teknis sesuai spesifikasi saluran. Penurunan debit limpasan akibat pembangunan saluran drainase merupakan hasil pengurangan limpasan dan debit kapasitas, dan disebut juga sebagai debit yang tidak terkendali. Kedalaman genangan kemudian diestimasi dengan menggunakan rasio volume genangan dan luas genangan, sedangkan volume genangan dihitung dengan mengalikan debit limpasan dan durasi hujan.

### **E. Analisis Efektivitas Biaya**

Analisis efektivitas biaya atau *cost effectiveness analysis* (CEA) merupakan alat pengambilan keputusan dari beberapa alternatif tindakan yang diambil [18]. Telah terjadi peningkatan penggunaan CEA dalam beberapa tahun terakhir. Konsep inti CEA cukup sederhana, yaitu menggabungkan biaya bersih dari intervensi yang diberikan dan hasil efektivitasnya, kemudian menggunakan rasio efektivitas biaya yang dihasilkan untuk membandingkan intervensi dengan intervensi alternatif yang bertujuan untuk mencapai tujuan yang sama (perubahan perilaku, peningkatan hasil yang baik, atau penurunan hal-hal buruk). Rasio efektivitas biaya dapat dihitung secara berbeda tergantung pada apakah intervensi yang diberikan harus dipilih daripada alternatif, atau apakah dapat digabungkan dengan beberapa alternatif lainnya.

Ada empat pertimbangan awal dan lima langkah penting dalam melakukan CEA [19]. Pertimbangan awal terdiri dari penentuan *baseline*, pemilihan hasil yang sesuai, penentuan perspektif biaya dan jangka waktu. *Baseline* dapat berupa program atau kondisi masyarakat yang sudah ada. Langkah pertama dalam melaksanakan CEA adalah mengembangkan pertanyaan penelitian yang harus didefinisikan dengan jelas. Langkah kedua adalah merancang mekanisme analisis keputusan untuk menggambarkan secara grafis urutan terjadinya intervensi. Langkah ketiga adalah menghitung biaya dan hasil. Langkah keempat adalah menentukan rasio efektivitas biaya (CER) dan rasio efektivitas biaya tambahan (ICER) dan langkah terakhir adalah menguji ketidakpastian dengan melakukan analisis sensitivitas untuk menguji ketahanan kesimpulan dari evaluasi ekonomi. Justifikasi yang baik dari suatu program atau intervensi dalam hal biaya dan efektivitas harus dipastikan sebelum implementasi, oleh karena itu proses pengambilan keputusan untuk alokasi sumber daya yang efisien dapat difasilitasi melalui studi evaluasi ekonomi dengan menggunakan CEA.

## **III. HASIL**

### **A. Parameter Desain dan Parameter Amatan**

Dalam penelitian ini, parameter desain berupa aksi bersama (*collective action*). Faktor-faktor yang mempengaruhi diidentifikasi berdasarkan hasil wawancara mendalam dan observasi lapangan. Ada empat parameter amatan yang diidentifikasi sebagai variabel penelitian. Oleh karena itu, variabel yang digunakan ada lima, yaitu satu variabel terikat dan empat variabel bebas. Variabel tersebut adalah sebagai berikut: 1) aksi bersama masyarakat (Y); 2) pemahaman penyebab banjir (X1); 3) Pemahaman risiko banjir (X2); 4) kesadaran dan partisipasi masyarakat (X3); 5) program pengendalian banjir dari pemerintah (X4). Korelasi antar variabel dianalisis menggunakan uji korelasi dan analisis regresi. Analisis data didasarkan pada tiga kategori atau kelompok responden: 1) tokoh masyarakat (N = 10); 2) responden laki-laki (N = 26); responden perempuan (N = 17).

### **B. Uji Validitas dan Reliabilitas**

Faktor yang paling berpengaruh dalam membentuk aksi bersama masyarakat diperoleh berdasarkan hasil analisis kuesioner terhadap 43 responden. Kuesioner dianalisis untuk mendapatkan data terukur dari lima variabel yang terdiri dari satu variabel terikat dan empat variabel bebas seperti dijelaskan di atas. Berdasarkan uji reliabilitas kuesioner secara simultan semua variabel diperoleh nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,72 (lebih besar dari 0,6)

yang berarti instrumen kuesioner yang digunakan reliabel [20]. Selanjutnya, hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dapat dianalisis menggunakan analisis regresi. Validitas kategori pertanyaan dalam kuesioner dianalisis secara simultan dan menghasilkan koefisien validitas sebesar 0,75. Hasil perhitungan P-value pada taraf signifikansi 0,00 lebih rendah dari 0,05 [21] seperti terlihat pada Tabel 2.

TABEL 1  
HASIL UJI RELIABILITAS

Kode	Variabel	Cronbach Alpha	Nilai Standar	Signifikansi
X1	Pemahaman penyebab banjir	0.66	0.6	reliable
X2	Pemahaman risiko banjir	0.72	0.6	reliable
X3	Kesadaran dan partisipasi masyarakat	0.64	0.6	reliable
X4	Program pengendalian banjir dari pemerintah	0.62	0.6	reliable

TABEL 2  
HASIL UJI VALIDITAS

Kode	Variabel	r	P-value	Signifikansi
X1	Pemahaman penyebab banjir	0.31	0.16	tidak valid
X2	Pemahaman risiko banjir	0.76	0.00	valid
X3	Kesadaran dan partisipasi masyarakat	0.37	0.05	valid
X4	Program pengendalian banjir dari pemerintah	0.46	0.11	tidak valid

### C. Koefisien Korelasi dan Koefisien Determinasi

Kuatnya hubungan antar variabel dalam penelitian ini ditunjukkan oleh koefisien korelasi, sedangkan pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap variabel terikat ditunjukkan oleh koefisien determinasi. Koefisien korelasi dan koefisien determinasi lengkap seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 di bawah ini.

TABEL 3  
KOEFSIEN KORELASI ANTAR VARIABEL

Kode Variabel	Y	X1	X2	X3	X4
Y	1.00				
X1	0.22	1.00			
X2	0.66	0.15	1.00		
X3	0.28	0.16	0.33	1.00	
X4	0.38	0.23	0.40	0.29	1.00

TABEL 4  
KOEFSIEN DETERMINASI (R<sup>2</sup>) HASIL ANALISIS REGRESI

Kode	Variabel	r <sup>2</sup>	P-value	Significance
X1	Pemahaman penyebab banjir	0.05	0.16	no
X2	Pemahaman risiko banjir	0.43	0.00	yes
X3	Kesadaran dan partisipasi masyarakat	0.08	0.07	no
X4	Program pengendalian banjir dari pemerintah	0.15	0.11	no

### D. Analisis Regresi Berganda

Hasil uji reliabilitas dan validitas menunjukkan hanya dua variabel bebas yang valid yaitu pemahaman risiko banjir (X2) dan kesadaran dan partisipasi masyarakat (X3) yang ditunjukkan oleh Cronbach's Alpha lebih besar dari 0,6 dan P-value lebih kecil dari 0,05. Analisis regresi berganda dilakukan dengan menggunakan kedua variabel tersebut dan menghasilkan persamaan sebagai berikut.

$$Y = 0.66 + 0.19X_2 + 0.32X_3 \quad (1)$$

Persamaan tersebut kemudian diuji dengan Uji Efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE), root mean square error (RMSE), dan mean absolute error (MAE). Hasil lengkapnya disajikan pada Tabel 5.

TABEL 5  
KOEFSIEN DETERMINASI ( $R^2$ ) HASIL ANALISIS REGRESI

No	Jenis Uji	Nilai Uji
1	Nash-Sutcliffe efficiency	0.71
2	Root Mean Square Error	0.30
3	Mean Absolute Error	0.23

### E. Debit Limpasan dan Kedalaman Genangan

Untuk mengakomodasi ketidakpastian curah hujan, digunakan dua macam pendekatan debit limpasan sebagai dasar penentuan kedalaman genangan di wilayah studi, yaitu debit limpasan periode ulang 2 tahun ( $Q_2$ ) dan 5 tahun ( $Q_5$ ). Perhitungan analisis hidrologi menggunakan rangkaian data curah hujan harian selama 10 tahun dan durasi hujan lebat sekitar 30-60 menit, dan diperoleh hasil sebagai berikut:

- 1)  $Q_2 = 10,24 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $Q_5 = 12,73 \text{ m}^3/\text{dt}$ , dan kapasitas saluran drainase =  $7,00 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,
- 2) debit yang tidak terkendali untuk periode ulang 2 tahun =  $3,24 \text{ m}^3/\text{dt}$ , menyebabkan genangan seluas 0,95 ha, kedalaman genangan 20–50 cm, dan penyusutan karena banjir yang terdiri dari usia bangunan dan interior, sepeda motor, peralatan listrik, furnitur, ternak, dan kebun sayur-mayur, dengan total kerugian sekitar 94 juta rupiah.
- 3) Debit yang tidak terkendali periode ulang 5 tahun =  $5,73 \text{ m}^3/\text{dt}$ , menyebabkan genangan seluas 1,42 ha, kedalaman genangan 50–100 cm, dan kerugian banjir yang terdiri dari kerusakan jalan, gedung dan interior, kendaraan (mobil dan sepeda motor), peralatan listrik, furnitur, kandang ternak, dan kebun sayur-mayur, dengan total kerugian sekitar 125 juta rupiah.
- 4) Kedalaman genangan yang sering terjadi di wilayah studi berkisar antara 50–100 cm.

### F. Sistem Ketahanan Banjir Eksisting

Berdasarkan nilai-nilai kearifan lokal yaitu gotong royong dan guyub rukun, masyarakat membangun sistem ketahanan banjir mereka sendiri yang menggabungkan tindakan struktural dan non-struktural. Komponen struktur terdiri dari saluran drainase, indikator ketinggian air, pintu air untuk pengendalian tinggi muka air, dan stasiun pompa untuk menaikkan air ke badan air penerima terdekat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Tindakan non-struktural terdiri dari peringatan dini banjir alami, yaitu menggunakan suara petir sebagai tanda akan terjadi hujan deras, jalur evakuasi ke daerah aman, bantuan rumah tetangga yang tidak tergenang air untuk berteduh, dan saling membantu saat membersihkan dampak banjir. Sistem ini dapat mengurangi kerusakan dan kerugian banjir sampai dengan 30%. Sebagaimana dinyatakan oleh Batica dan Gourbesville [15] bahwa kerusakan banjir dapat diminimalisir jika sistem perkotaan telah menerapkan beberapa langkah perlindungan, dengan masyarakat di dalamnya dapat mengatur dirinya sendiri sehingga tidak terjadi kerusakan yang lebih besar.



Gambar 7. Sistem Ketahanan Banjir Eksisting

### G. Analisis Efektivitas Biaya Pembuatan Saluran Drainase

Analisis efektivitas biaya diawali dengan mengidentifikasi seluruh biaya dan manfaat sistem ketahanan banjir dan manajemen risiko yang telah dilaksanakan, baik nilai moneter maupun non moneter. Penghitungan efektivitas biaya dikategorikan menjadi tiga kondisi, sebagai berikut:

- 1) Kondisi 1: Sebelum penerapan saluran drainase dan aksi bersama masyarakat.
- 2) Kondisi 2: Setelah implementasi saluran drainase yang digunakan untuk budidaya ikan dan sayuran.
- 3) Kondisi 3: Setelah saluran drainase dimanfaatkan untuk budidaya ikan dan sayuran, serta penerapan sistem ketahanan banjir.

TABEL 6  
PERHITUNGAN EFEKTIVITAS BIAYA PADA IMPLEMENTASI TAHUN 2018-2019,  
DALAM JUTA RUPIAH

No.	K	Condition 1	Condition 2	Condition 3
1	Kerugian banjir (dalam juta Rp.)	94.07	75.25	41.39
2	Biaya investasi saluran drainase	0	178.54	178.54
3	Biaya operasional dan pemeliharaan saluran	0	26.55	26.55
4	Pendapatan netto dari budidaya ikan dan sayuran	0	48.00	48.00
5	Manfaat	0	43.31	77.18
6	Cost effectiveness (%)	0	32.50	49.20

### IV. PEMBAHASAN

Hasil uji reliabilitas, validitas, korelasi dan determinasi sebagaimana dijelaskan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4, menunjukkan bahwa aksi bersama untuk mengatasi masalah banjir yang berkembang secara alamiah di masyarakat sangat dipengaruhi oleh tingkat pemahaman tentang risiko banjir, serta kesadaran dan partisipasi masyarakat setempat. Sedangkan program pemerintah tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap timbulnya aksi bersama masyarakat. Sistem ketahanan banjir masyarakat memang sudah terbentuk sebelum pemerintah melaksanakan program pengendalian banjir di wilayah studi. Hal ini bertentangan dengan hasil penelitian Šakić Trogrlić et al [22] yang menyatakan bahwa kurangnya sumber daya keuangan menyebabkan masyarakat memiliki ketergantungan terhadap pemerintah maupun pihak lain, yang dapat menjadi penghambat bagi keberhasilan program. Keterbatasan finansial justru mendorong masyarakat untuk mengembangkan ide-ide kreatif dan inovatif seperti penggunaan saluran drainase untuk budidaya ikan dan sayuran. Rasa memiliki masyarakat membuat upaya terus berkembang, manfaat finansial semakin meningkat sehingga keberlanjutan program tetap terjaga. Kesadaran dan partisipasi masyarakat juga diwujudkan dalam bentuk respon yang cepat terhadap bahaya banjir, dimana masyarakat yang tidak terdampak bergotong royong membantu masyarakat yang terdampak. Bahkan sebagian masyarakat, khususnya pimpinan dan tokoh masyarakat secara proaktif

melakukan pengelolaan risiko banjir sekaligus meningkatkan ketahanan pangan masyarakat. Hal ini mendukung penelitian Tingsanchali [8] yang menyatakan bahwa upaya harus diarahkan pada respon proaktif. Salah satu respon proaktif berupa sistem peringatan banjir dengan teknologi sederhana yang sudah berfungsi dengan baik. Tabel 2 dan Tabel 4 juga menunjukkan bahwa masyarakat juga tidak merasa perlu memahami penyebab banjir karena mereka sudah menyadari bahwa mereka tinggal di daerah dataran banjir.

Hasil uji efisiensi dan penyimpangan model persamaan parameter desain seperti yang disajikan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa model memiliki efisiensi yang baik dalam mengestimasi potensi adanya aksi bersama masyarakat berdasarkan tingkat pemahaman risiko banjir serta tingkat keasadaran dan partisipasi masyarakat. Semakin tinggi tingkat pemahaman risiko banjir serta tingkat kesadaran dan partisipasi masyarakat untuk secara bersama-sama mengatasi masalah yang terjadi di masyarakat, tidak hanya masalah banjir, maka aksi bersama masyarakat akan semakin tinggi pula.

Tabel 6 menunjukkan perhitungan efektivitas biaya dari ketiga kondisi tersebut. Dapat dilihat bahwa pada Kondisi 2 biaya investasi pembangunan saluran drainase sebesar hampir 180 juta rupiah dapat memberikan manfaat, yaitu berkurangnya kerugian banjir, dan pendapatan dari hasil ikan dan sayuran yang mencapai 652 USD per bulan. Jadi ada efektivitas biaya sebesar 32,5% dalam setahun. Sedangkan pada Kondisi 3, penurunan tinggi banjir lebih besar dengan memperhitungkan manfaat penerapan sistem ketahanan banjir eksisting. Hal tersebut berdampak pada peningkatan efektivitas biaya hingga 49,2% dalam setahun. Oleh karena itu, investasi pemerintah kedepannya pada program pengendalian banjir di kampung ini akan memberikan manfaat dan nilai tambah mendekati 50%. Hal ini menunjukkan bahwa kolaborasi pembagian risiko antara pemerintah di semua tingkatan dan semua sektor, serta semua pemangku kepentingan merupakan komponen utama untuk mengembangkan kebijakan dan tindakan berdasarkan risiko sehingga pengelolaan risiko banjir yang efektif dapat terwujud [7], [23]. Oleh karena itu, investasi pemerintah ke depan pada program-program pengendalian banjir akan memberikan manfaat sosial dan ekonomi.

## V. KESIMPULAN

Masyarakat memiliki nilai-nilai kearifan lokal yaitu gotong royong dan guyub rukun yang sudah tertanam dengan kuat sebagai warisan budaya dan hasil pendidikan orang tua. Nilai-nilai ini selanjutnya mendasari pengembangan sistem ketahanan dan manajemen risiko banjir. Masyarakat juga memiliki kreasi, inovasi dan produktivitas yang tinggi sehingga dapat mengembangkan budidaya ikan dan sayuran dengan memanfaatkan saluran drainase dan air sisa budidaya ikan untuk menyuburkan tanaman. Hasil ikan dan sayuran digunakan untuk membiayai sistem ketahanan banjir masyarakat. Program pengendalian banjir saat ini tidak hanya menurunkan tingkat resiko banjir hingga 30%, tetapi juga memberikan efektivitas biaya yang dihasilkan dari sistem manajemen resiko banjir hingga 49,2% dalam setahun.

Hasil studi dapat menjadi pembelajaran bagi pemerintah dan pihak lain yang berkepentingan, bahwa masyarakat setempat sudah siap bernegosiasi dengan banjir. Hal ini dapat meringankan beban dan tanggung jawab pemerintah atau pihak lain dalam menangani masalah banjir. Lambat laun, peran pemerintah bergeser hanya sebagai fasilitator.

Diperlukan studi lebih lanjut, terutama di wilayah yang lebih luas atau di wilayah lain dengan karakteristik masyarakat yang berbeda, sehingga dapat dikembangkan model hubungan antara pengelolaan risiko banjir dengan lokasi geografis dan karakteristik masyarakat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini, khususnya mahasiswa Program Studi Teknik Sipil dan Program Doktor Ilmu Ekonomi Universitas Merdeka Malang. Penelitian ini didukung secara finansial oleh

Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, melalui program hibah penelitian kompetitif nasional, yaitu Penelitian Terapan (PT) Tahun 2020.

#### REFERENSI

- [1] P. S. Kaspersen and K. Halsnæs, "Integrated climate change risk assessment: A practical application for urban flooding during extreme precipitation," *Clim. Serv.*, vol. 6, pp. 55–64, 2017.
- [2] L. Sedyowati, Turijan, Suhardjono, E. Suhartanto, and M. Sholichin, "Runoff Behavior on Urban Road Intersection based on Flow Profile Simulation," *Int. Rev. Spat. Plan. Sustain. Dev.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–44, 2018.
- [3] K. A. Collins, W. F. Hunt, and J. M. Hathaway, "Hydrologic Comparison of Four Types of Permeable Pavement and Standard Asphalt in Eastern North Carolina," *J. Hydrol. Eng.*, vol. 13, no. 12, pp. 1146–1157, 2008.
- [4] T. Lucke, "Using drainage slots in permeable paving blocks to delay the effects of clogging: Proof of concept study," *Water (Switzerland)*, vol. 6, no. 9, pp. 2660–2670, 2014.
- [5] P. W. B. Nichols, T. Lucke, and C. Dierkes, "Comparing two methods of determining infiltration rates of permeable interlocking concrete pavers," *Water (Switzerland)*, vol. 6, no. 8, pp. 2353–2366, 2014.
- [6] L. Sedyowati, S. Suhardjono, E. Suhartanto, and M. Sholichin, "Runoff velocity behaviour on smooth pavement and paving blocks surfaces measured by a tilted plot," *J. Water L. Dev.*, vol. 33, no. 1, pp. 149–156, 2017.
- [7] OECD, *Financial Management of Flood Risks*, vol. 15, no. 0. Paris: OECD Publishing, 2016.
- [8] T. Tingsanchali, "Urban flood disaster management," *Procedia Eng.*, vol. 32, pp. 25–37, 2012.
- [9] P. Sayers *et al.*, *Flood Risk Management: A Strategic Approach*. Paris: UNESCO, 2013.
- [10] U. Wehn, M. Rusca, J. Evers, and V. Lanfranchi, "Participation in flood risk management and the potential of citizen observatories: A governance analysis," *Environ. Sci. Policy*, vol. 48, pp. 225–236, 2015.
- [11] A. C. Tyagi and S. Yodmani, *Social aspects and Stakeholder Involvement in Integrated flood Management*, no. WMO-No. 1008. 2006.
- [12] C. Dieperink *et al.*, "Enhancing urban flood resilience as a multi-level governance challenge: An exploration of multi-level coordination mechanisms," pp. 1–26, 2016.
- [13] R. J. Dawson, T. Ball, J. Werritty, A. Werritty, J. W. Hall, and N. Roche, "Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change," *Glob. Environ. Chang.*, vol. 21, no. 2, pp. 628–646, May 2011.
- [14] Associated Programme on Flood Management, "Risk Sharing in Flood Management," 2016.
- [15] J. Batica and P. Gourbesville, "Flood Resilience Index-Methodology And Application," 2014.
- [16] R. Šakić Trogrlić, G. B. Wright, A. J. Adeloye, M. J. Duncan, and F. Mwale, "Taking stock of community-based flood risk management in Malawi: different stakeholders, different perspectives," *Environ. Hazards*, vol. 17, no. 2, pp. 107–127, 2018.
- [17] R. Wikantiyoso and T. Suhartono, "The Role of CSR in the Revitalization of Urban Open Space for Better Sustainable Urban Development," *Int. Rev. Spat. Plan. Sustain. Dev.*, vol. 6, no. 4, pp. 5–20, 2018.
- [18] T. L. Gift and J. Marrazzo, "Cost-Effectiveness Analysis," pp. 482–499, 2007.
- [19] N. Haslinda, M. H. Juni, and A. M. Rosliza, "Designing and Conducting Cost-Effectiveness Analysis Studies in Healthcare," *Int. J. Public Heal. Clin. Sci.*, vol. 4, no. 5, pp. 2289–7577, 2017.
- [20] J. P. Guilford, *Fundamental Statistic in Psychology and Education*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1956.
- [21] J. Sarwono, *Metode penelitian kuantitatif & kualitatif*, Pertama. Yogyakarta : Graha Ilmu, 2006.
- [22] R. Šakić Trogrlić, G. B. Wright, A. J. Adeloye, M. J. Duncan, and F. Mwale, "Taking stock of community-based flood risk management in Malawi: different stakeholders, different perspectives," *Environ. Hazards*, vol. 17, no. 2, pp. 107–127, 2018.
- [23] ASCE, *Flood risk management: Call for a National Strategy*. Virginia: ASCE Press, 2014.

# Identifikasi Sifat Fisik pada Beton Setelah Paparan Suhu Tinggi 400°C, 600°C dan 800°C

Rizki Prasetya

*Jurusan Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang  
Jalan Terusan Dieng No. 62-64 Malang Indonesia*

rizki.prasetya @unmer.ac.id

*Abstrak*— Kebakaran adalah reaksi oksidasi eksotermis yang berlangsung dengan cepat dari suatu bahan bakar yang disertai dengan timbulnya api/penyalaan. Proses terjadinya kebakaran begitu cepat sehingga menimbulkan efek pada bangunan jika kebakaran tersebut terjadi di kawasan padat baik perumahan maupun perkantoran. Ada beberapa bahan bangunan yang memiliki daya tahan terhadap api yang relatif baik, salah satunya adalah beton. Kualitas daya tahan beton terhadap api lebih baik jika dibandingkan dengan baja dan kayu. Pada saat terjadi kebakaran khususnya yang terjadi pada gedung dengan struktur menggunakan beton bertulang, suhu panas dari api akan mempengaruhi sifat fisik pada beton. Perubahan sifat fisik pada beton dapat mempengaruhi kekuatan beton. Pengujian yang dilakukan adalah dengan melakukan pengamatan benda uji balok berukuran (10 x 15 x 120) cm. Variasi penelitian ini yaitu balok beton bertulang suhu normal (BL1), terpapar suhu 400°C (BL2), terpapar suhu 600°C (BL3), dan terpapar suhu 800°C (BL4). Dari hasil penelitian beton terpapar sampai suhu sedikit di atas 400°C, beton akan berubah warna menjadi merah muda. Untuk suhu diatas 600°C, akan menjadi abu-abu agak hijau dan suhu mencapai 800°C menjadi abu-abu. Kemudian beton akan mengalami retak rambut serta terkelupas saat terpapar suhu hingga 400°C, kemudian saat terpapar suhu 600°C hingga 800°C beton mengalami retak dan mengelupas.

*Kata kunci*— Beton, sifat fisik, suhu tinggi.

*Abstract*— Fire is an exothermic oxidation reaction that takes place quickly from a fuel which is accompanied by the onset of a fire/ignition. The process of fire is so fast that it has an effect on buildings if the fire occurs in a densely populated area, both housing and offices. There are several building materials that have relatively good fire resistance, one of which is concrete. The quality of the resistance of concrete to fire is better when compared to steel and wood. When a fire occurs, especially in buildings with structures using reinforced concrete, the heat from the fire will affect the physical properties of the concrete. Changes in the physical properties of concrete can affect the strength of the concrete. The test is done by observing the beam test object measuring (10x15x120) cm. The variations of this research are reinforced concrete block with normal temperature (BL1), exposed to 400°C (BL2), exposed to 600°C (BL3), and exposed to 800°C (BL4). From the results of research exposed concrete to temperatures slightly above 400°C, the concrete will turn pink. For temperatures above 600°C, it will turn gray slightly green and temperatures up to 800°C will turn gray. Then the concrete will experience hair cracks and peel off when exposed to temperatures up to 400°C, then when exposed to temperatures of 600°C to 800°C the concrete cracks and peels.

*Keywords*— Concrete, physical properties, high temperature.

## I. PENDAHULUAN

Kebakaran adalah reaksi oksidasi eksotermis yang berlangsung dengan cepat dari suatu bahan bakar yang disertai dengan timbulnya api/penyalaan. Terjadinya kebakaran tidak bisa diprediksi seperti bencana meletusnya gunung berapi ataupun terjadinya tsunami. Proses terjadinya kebakaran begitu cepat sehingga menimbulkan efek pada bangunan jika kebakaran tersebut terjadi di kawasan padat baik perumahan maupun perkantoran.

Ada beberapa bahan bangunan yang memiliki daya tahan terhadap api yang relatif baik, salah satunya adalah beton. Kualitas daya tahan beton terhadap api lebih baik jika dibandingkan dengan baja dan kayu, untuk kayu kualitas tahan terhadap api amat sangat rendah. Oleh karena itu beton menjadi material yang mempunyai daya hantar panas rendah, sehingga rambatan panas yang ada untuk masuk kedalam inti beton sangatlah kecil.

Pada saat terjadi kebakaran khususnya yang terjadi pada gedung dengan struktur menggunakan beton bertulang, suhu panas dari api akan mempengaruhi sifat fisik pada beton. Perubahan sifat fisik pada beton dapat mempengaruhi kekuatan beton. Sejauh mana

perubahan fisik yang terlihat pada beton setelah terjadinya kebakaran dapat diketahui dengan pendekatan pada penelitian ini.

Menurut SNI-03-2847-2019, pengertian beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.. Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah semakin luas, yaitu beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, serat, fiber dll (Neville dan Brooks, 1987).

Pada umumnya beton terdiri dari  $\pm 15\%$  semen,  $\pm 8\%$  air,  $\pm 3\%$  udara, selebihnya pasir dan kerikil. Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda, tergantung pada cara pembuatannya. Perbandingan campuran, cara pencampuran, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi sifat-sifat beton (Wuryati Samekto, 2001).

Beton merupakan bahan bangunan yang memiliki daya tahan terhadap api yang relatif lebih baik dibandingkan dengan material lain seperti baja, terlebih lagi kayu. Hal ini disebabkan karena beton merupakan material dengan daya hantar panas yang rendah, sehingga dapat menghalangi rembetan panas ke bagian dalam struktur beton tersebut.

Efek meningkatnya suhu pada pasta semen yang terhidrasi tergantung pada tingkat hidrasi dan kelembaban yang terjadi, biasanya terjadi pada pasta portland semen yang sebagian besar terdiri dari Calcium Silicate Hydrate (CSH), Calcium hydroxide, dan Calcium sulfoaluminate hydrates. Pasta semen dalam kondisi jenuh mengandung sejumlah besar air bebas dan air kapiler, selain air yang terserap. Berbagai jenis air tersebut dapat segera hilang jika terjadi peningkatan suhu beton. Namun, dari sudut pandang perlindungan terhadap kebakaran, dapat dicatat bahwa, karena panas yang cukup maka penguapan dibutuhkan untuk mengkonversi air menjadi uap, suhu beton tidak akan naik sampai semua air yang telah ter-evaporasi hilang (Mehta, Montero, 2006:149).

Porositas dan mineralogi agregat mempunyai pengaruh penting pada perilaku beton pada waktu terbakar. Tergantung pada tingkat pemanasan dan ukurannya, permeabilitas, dan kelembaban agregat, serta pori agregat itu sendiri sangat mungkin rentan proses pembakaran tersebut dan pada saat pendinginan (Mehta, Montero, 2006:150).

Sifat kimia maupun fisika serta perubahan mineral yang terkandung pada suatu agregat mengalami perubahan akibat suhu tinggi. Transformasi agregat yang terjadi akibat suhu tinggi tergantung pada jenis agregatnya  $350^{\circ}\text{C}$  - kerikil sungai,  $570^{\circ}\text{C}$  - agregat mengandung silika,  $650^{\circ}\text{C}$  - agregat berkapur,  $700^{\circ}\text{C}$  - agregat basalt.

Agregat yang mengandung silika seperti kuarsa (misalnya, granit dan batu pasir), bisa menyebabkan kehilangan tegangan dalam beton pada suhu sekitar  $573^{\circ}\text{C}$ , karena pada temperatur ini kuarsa bertransformasi dari bentuk  $\alpha$  menjadi  $\beta$  dikaitkan dengan ekspansi sekitar 0,85 persen. Dalam kasus karbonat batuan, kehilangan tegangan yang sama dimulai di ketika suhu diatas  $700^{\circ}\text{C}$  sebagai akibat dari reaksi decarbonation. Selain kemungkinan transformasi fase dan panas dekomposisi agregat, mineralogi agregat juga menentukan respon ketika beton terbakar.

Tidak bisa diabaikan bahwa suhu dapat mengakibatkan keretakan pada beton bertulang. Perubahan suhu dari suhu rendah ke suhu tinggi mengakibatkan pemuaian pada beton dan akan mengakibatkan keretakan. Uji XRD dan uji EDAX yang telah dilakukan oleh Edhi Wahyuni menunjukkan bahwa suhu pembakaran mempengaruhi kondisi senyawa kimia, senyawa kimia  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  atau portlandite dan  $\text{SiO}_2$  atau silika yang mengakibatkan perubahan sifat mekanik pada beton.

Portlandite bertindak sebagai bahan pengikat pada campuran beton, penurunan portlandite sangat mempengaruhi kekuatan beton. Dalam penelitian Edhi Wahyuni, hal tersebut ditunjukkan oleh beban yang diperlukan untuk mendapatkan lebar retak lebih rendah ketika suhu pembakaran beton lebih tinggi dari  $400^{\circ}\text{C}$ . Pada penelitiannya didapatkan bahwa  $\text{SiO}_2$

sangat penting dalam beton dikarenakan senyawa ini memiliki fungsi sebagai bahan pengisi. Selain itu, senyawa tersebut dapat meningkatkan kuat tekan dan permeabilitas beton karena kemampuan dalam mengisi pori – pori pada beton.

Pada beton juga terjadi retak susut. Retak susut terjadi karena pengurangan volume (susut) ketika beton mengeras dimulai dari ketika setelah beton diaduk yang disebabkan oleh penyerapan air oleh semen dan agregat kemudian berlanjut pada penguapan air yang naik ke permukaan beton. Hidrasi semen yang terjadi menimbulkan sejumlah besar panas dan dengan mendinginnya beton terjadi penurunan panas. Apabila proses tersebut berlangsung lama maka akan terjadi muai/susut pada beton itu sendiri.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan fisik pada beton pasca paparan suhu tinggi untuk mengetahui tingkat kerusakan lingkungan atau perlindungan/penyelamatan lingkungan secara dini.

## II. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian Eksperimental. Pembuatan benda uji beton bertulang untuk uji kuat lentur beton bertulang maupun benda uji silinder untuk uji kuat tekan beton dilakukan di Laboratorium Bahan Kontruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

Paparan benda uji beton dengan suhu tinggi dilakukan di UPT Keramik Disperindag Provinsi Jawa Timur di Jalan Sunandar Priyo Sudarmo No 22, Kota Malang.

Benda Uji balok yang dibuat dengan mutu beton 35 Mpa.

TABEL I.  
TABEL BENDA UJI BALOK

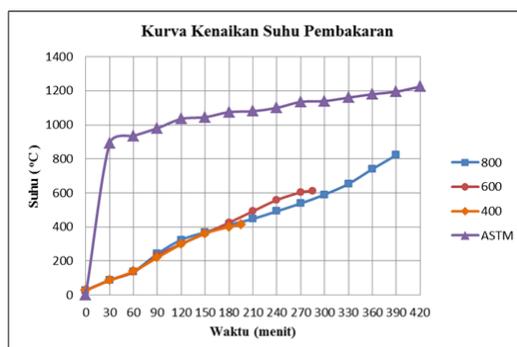
Benda Uji Balok	Suhu	Jumlah
BL1	27°C	3
BL2	400°C	3
BL3	600°C	3
BL4	800°C	3

Setelah balok beton selesai dicetak maka akan diberi paparan panas dengan variasi suhu 400° C, 600° C dan 800° C. Kemudian diidentifikasi sifat fisik beton setelah paparan suhu tinggi.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Waktu Pembakaran

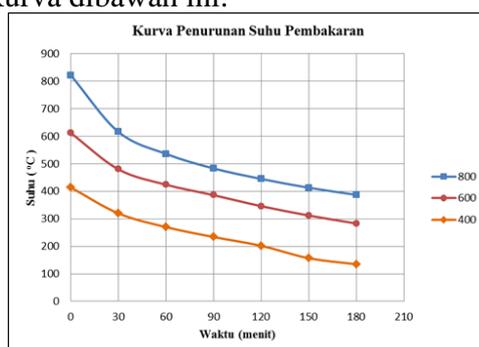
Setelah benda uji silinder dan benda uji balok beton bertulang jadi maka proses berikutnya adalah paparan benda uji ke dalam tungku pembakar. Pembagian waktu dan hari pada waktu paparan suhu tinggi pada tungku pembakar disesuaikan dengan benda uji yang telah dibuat yakni benda uji untuk suhu 400°C, 600°C, dan 800°C.



Gambar 1 Kurva kenaikan suhu pembakaran

Kurva diatas adalah kurva perbandingan antara kurva pada peraturan ASTM dan pada penelitian yang dilakukan. Terjadi perbedaan kurva dikarenakan alat pembakar yang berbeda sehingga kenaikan suhu pada alat pembakar juga berbeda. Untuk penelitian ini menggunakan tungku pembakar keramik, dan sistem pembakaran yang digunakan juga memakai sistem pembakaran keramik. Kenaikan suhu pada penelitian ini untuk suhu 400°C, 600°C dan 800°C kurang lebih sama dengan periode kenaikan suhu 10°C tiap 5 menit. Untuk pencapaian suhu maksimal yakni suhu 400°C dicapai pada waktu 195 menit, suhu 600°C dicapai pada waktu 285 menit dan suhu 800°C dicapai pada waktu 390 menit.

Penurunan suhu pada tungku pembakar setelah mencapai suhu maksimal pada penelitian ini juga dapat dilihat pada kurva dibawah ini.



Gambar 2 Kurva penurunan suhu

Pola penurunan suhu pada tungku pembakar pada suhu 400°C, 600°C dan 800°C kurang lebih hampir sama yakni 15°C tiap lima menit. Pola kenaikan dan penurunan suhu yang kurang lebih sama ini diharapkan setiap benda uji yang di uji pada suhu 400°C, 600°C dan 800°C mengalami proses paparan suhu yang sama.

### Sifat Fisik Beton Setelah Paparan Suhu Tinggi

Keunggulan lain yang dimiliki beton dibandingkan dengan material lainnya adalah mempunyai kuat tekan dan stabilitas volume yang baik dan biaya perawatannya relatif lebih murah. Selain itu, material beton lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan, tidak mudah terbakar, dan lebih tahan terhadap suhu tinggi, sehingga banyak digunakan Universitas Sumatera Utara sebagai pelindung struktur baja terhadap pengaruh kebakaran pada bangunan gedung. (Syarif Hidayat, 2009).

Setelah terjadinya paparan suhu tinggi pada benda uji beton maka sifat fisik yang dapat dilihat yakni pada gambar dibawah ini :



Gambar 3 Benda Uji setelah paparan suhu 400°C



Gambar 4 Benda Uji setelah paparan suhu 600°C



Gambar 5 Benda Uji setelah paparan suhu 800°C

Terjadi perubahan sifat fisik pada beton setelah proses paparan suhu tinggi pada beton baik benda uji silinder maupun balok beton. Beton normal yang pada awalnya mempunyai warna yang abu-abu setelah terkena paparan suhu tinggi mengalami perubahan warna menjadi sedikit memutih dan menguning. Hal ini disebabkan karena terjadi hidrasi pada pasta semen. Dan permukaan benda uji beton menjadi retak permukaan (*spalling*). *Spalling* terjadi ketika tekanan uap air di dalam beton meningkat lebih cepat daripada tekanan permukaan ketika uap air terbebas ke atmosfer.

Selain hal tersebut di atas, panas juga menyebabkan beton berubah warna. Bila beton dipanasi sampai suhu sedikit di atas 300° C, beton akan berubah warna menjadi merah muda. Jika di atas 600° C, akan menjadi abu-abu agak hijau dan jika sampai di atas 900° C menjadi abu-abu. Namun jika sampai di atas 1200° C akan berubah menjadi kuning. Dengan demikian, secara kasar dapat diperkirakan berapa suhu tertinggi selama kebakaran berlangsung berdasarkan warna permukaan beton pada pemeriksaan pertama.

Tjokrodimuljo (2000) mengatakan bahwa beton pada dasarnya tidak diharapkan mampu menahan panas sampai di atas 250° C. Akibat panas, beton akan mengalami retak, terkelupas (*spalling*), dan kehilangan kekuatan. Kehilangan kekuatan terjadi karena perubahan komposisi kimia secara bertahap pada pasta semennya.

Berat benda uji baik silinder maupun balok beton berkurang akibat paparan suhu tinggi. Berat benda uji silinder turun kurang lebih 10% dari berat awal pada suhu normal dan berat benda uji balok beton turun kurang lebih 7% dari berat awal pada suhu normal. Jadi dapat

disimpulkan paparan suhu tinggi mempengaruhi sifat fisik beton baik dari permukaan beton, warna beton hingga berat beton itu sendiri.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai bahwa berkurangnya durabilitas beton dikarenakan paparan suhu tinggi akan mengakibatkan perubahan warna pada beton, terkelupasnya beton dan berkurangnya kekuatan pada beton.

#### REFERENSI

- [1] Kardiono Tjokrodimulyo, 2000, Pengujian Mekanik Laboratorium Beton Pasca Bakar, Yogyakarta: Nafri.
- [2] Mehta, P Kumar, dan Monteiro, PJM. 2006. Concrete – Structure, Properties, and Materials. Prentice-Hall, New Jersey.
- [3] Neville, A.M., Brooks, J.J., “Concrete Technology”, London: Longman Group Ltd, 1987.
- [4] Standar Nasional Indonesia “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03 – 2847 – 2019).” ITS Press. Surabaya.
- [5] Samekto, Wuryati dan Rahmadiyanto, Candra. 2001. Teknologi Beton. Yogyakarta. Kanisius.
- [6] Wahyuni, Edhi. 2012. Perilaku Retak Balok Beton Bertulang Akibat Suhu Tinggi, Malang.

# Peran Stakeholder dalam Pengelolaan Limbah Cair Domestik Berkelanjutan di Kota Malang

Bekti Prihatiningsih

*Jurusan Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang*

*Jalan Terusan Dieng No. 62-64 Malang Indonesia*

bekti.prihatiningsih@unmer.ac.id (penulis korespondensi)

**Abstrak**— Pengelolaan limbah cair domestik merupakan peran semua pihak terkait, dimulai dari masyarakat sebagai sumber utama penghasil limbah cair hingga pihak terkait yang berwenang dan didukung kebijakan serta sanksi yang harus diterapkan sehingga mendukung pelaksanaan pengelolaan limbah cair domestik berkelanjutan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana peran semua pihak/*stakeholder* dalam berpartisipasi menyingkapi permasalahan pengelolaan limbah cair domestik. Penelitian dilakukan menggunakan metode deskriptif eksplanatori. Diperlukan strategi khusus dalam mengelola limbah cair domestik. Strategi pengelolaan limbah cair domestik harus lebih menekankan kepada keterlibatan masyarakat secara langsung sebagai penghasil utama limbah cair domestik yang didukung pihak terkait melalui pengembangan kapasitas, dengan kunci utama adalah perubahan perilaku mendasar masyarakat dalam pemakaian air bersih sebagai upaya meminimalisasi limbah cair yang dihasilkan.

**Kata kunci**— Limbah cair domestik, pengelolaan, peran.

**Abstract**— The management of domestic liquid waste is the role of all related parties, starting from the community as the main source of producing liquid waste to the relevant authorities and supported by policies and sanctions that must be applied to support the implementation of sustainable domestic liquid waste management. This research was conducted to determine the role of all parties / stakeholders in participating in addressing the problems of domestic liquid waste management. The research was conducted using an explanatory descriptive method. A special strategy is needed in managing domestic wastewater. The domestic liquid waste management strategy must emphasize more direct community involvement as the main producer of domestic liquid waste supported by related parties through capacity building, with the main key is changing the basic behavior of the community in using clean water as an effort to minimize the liquid waste produced.

**Keywords**— Domestic wastewater, management, role.

## I. PENDAHULUAN

Limbah cair domestik lebih umum dikenal sebagai air limbah domestik. Pemahaman air limbah domestik sebagaimana tertuang dalam PerMenKLHK No. P.68 tentang baku mutu air limbah domestik, adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air [1]. Air Limbah adalah air buangan yang berasal dari rumah tangga termasuk tinja manusia dari lingkungan permukiman [2]. Dari pemahaman tersebut, sumber air limbah domestik adalah kamar mandi, tempat cuci pakaian, dapur, garasi dan sebagainya. Limbah-limbah tersebut dibuang secara langsung ke saluran drainase. Sampai saat ini, keberadaan limbah cair domestik kurang mendapat perhatian, karena bentuknya cair sehingga dapat langsung dibuang ke saluran drainase dan terbawa aliran menuju sungai atau air permukaan. Pada kenyataannya, air limbah tersebut banyak sekali mengandung senyawa-senyawa berbahaya seperti deterjen yang berasal dari tempat cuci piring dan baju serta cuci mobil, atau cecceran minyak dari oli bekas ataupun dari dapur. Kondisi ini sangat berpengaruh terhadap karakteristik atau kualitas air yang ada di saluran drainase. Jika air ini mengalir ke sungai maka sungai akan menjadi tercemar. Kualitas air di saluran drainase, diperparah dengan adanya tambahan air limbah yang berasal dari efluen tangki septik. Pada umumnya, efluen tangki septik dibuang langsung ke saluran drainase tanpa melalui resapan. Hal ini disebabkan karena terbatasnya lahan pada masing-masing permukiman. Padahal, kondisi tangki septik belum menjamin bahwa kualitas air efluennya mempunyai kualitas yang tidak berbahaya jika dibuang langsung ke lingkungan. Dalam Indonesia *Green Technology Journal* menyebutkan bahwa pencemaran air sungai di DAS Brantas, 60% - 70% disebabkan oleh limbah domestik, dengan kontribusi pencemar: 60% dari limbah domestik (sanitasi, sampah, detergen); 30% limbah industri; sementara itu, 10%

merupakan limbah pertanian dan peternakan [3]. Melihat kondisi tersebut, sangat diperlukan adanya pengelolaan limbah cair domestik untuk menjaga dan menghindarkan lingkungan dari pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah cair tersebut. Pengelolaan limbah cair domestik tidak terlepas dari peran semua pihak terkait, dimulai dari masyarakat sebagai sumber utama penghasil limbah cair serta pihak terkait yang berwenang hingga kebijakan dan sanksi yang harus diterapkan sehingga mendukung pengelolaan limbah cair domestik. Oleh sebab itulah, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana peran semua pihak/*stakeholder* dalam berpartisipasi menyingkapi permasalahan pengelolaan limbah cair domestik.

## II. METODE

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode deskriptif eksplanatori. Data dikumpulkan berdasarkan hasil kuisisioner yang disebarakan kepada *stakeholder* sebagai responden terpilih. Responden dipilih menggunakan dua metode yaitu random sampling untuk responden masyarakat dan purposive sampling untuk pihak-pihak terkait. Masyarakat yang menjadi responden berasal dari tiga Kelurahan yaitu: Kelurahan Sawojajar, Kelurahan Sumber Sari dan Kelurahan Kedungkandang. Beberapa pertimbangan dipilihnya ketiga kelurahan ini selain perbedaan kepadatan penduduk, antara lain juga disebabkan: Kelurahan Sawojajar telah dinyatakan ODF, di Kelurahan Kedungkandang banyak ditemukan aktivitas buang air besar disepanjang saluran drainase, sedangkan di Kelurahan Sumber Sari dinyatakan belum ODF meskipun tidak terlihat aktivitas masyarakat yang buang air besar di sembarang tempat. Kuisisioner disebarakan diperkuat dengan melakukan telaah terhadap literature, buku, jurnal dan artikel lain yang relevan untuk memperoleh data sesuai dengan tujuan penelitian. Validitas kuisisioner ditentukan dengan menggunakan formula Kuder and Richardson Formula (KR 20).

Pengamatan kualitas limbah cair ditentukan berdasarkan SNI 6989.59:2008: Air dan air limbah – Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Responden/*stakeholder* ditentukan menggunakan metode purposive sample, kemudian dilakukan pemetaan *stakeholder* berdasarkan tugas dan fungsinya. Diperoleh *stakeholder*/responden yaitu: Dinas Kesehatan Kota Malang (DKKM), Dinas lingkungan Hidup Daerah (DLHD), Perusahaan Umum Jasa Tirta 1, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Bidang Air Minum dan Limbah, serta Puskesmas yang meliputi Puskesmas Gribig, Puskesmas Dinoyo, dan Puskesmas Kedungkandang yang menangani bidang penyehatan lingkungan atau sanitasi di ketiga daerah penelitian serta masyarakat di daerah pengamatan.

Di dalam pengumpulan data menggunakan kuisisioner, untuk mendapatkan hasil yang representatif dan sesuai dengan yang diharapkan, sebelumnya dilakukan uji validitas dan reabilitas terhadap kuisisioner yang disebarakan kepada 10% dari jumlah total responden. Dengan menggunakan formula KR20 diperoleh nilai  $KR20 = 0,66$ , lebih besar dari nilai yang ditunjukkan di tabel sebesar 0,62. Nilai ini menunjukkan bahwa kuisisioner valid untuk disebarakan ke seluruh responden terpilih.

Beberapa hal yang berhasil diidentifikasi dari kuisisioner yang disebarakan menunjukkan peran *stakeholder*/responden dalam pengelolaan limbah cair domestik, terlihat pada tabel 1.

TABEL I  
HASIL IDENTIFIKASI PERAN *STAKEHOLDER* DALAM PENGELOLAAN LIMBAH CAIR DOMESTIK

Kontribusi bagi pengelolaan limbah cair domestik		Analisis Penilaian
<i>Stakeholder</i> Utama		
Masyarakat	1. Menghasilkan limbah cair domestik dan melakukan pengelolaan limbah terutama limbah yang berasal dari toilet ke tangki septik	Belum optimal karena tangki septik yang dibuat hanya untuk

		Kontribusi bagi pengelolaan limbah cair domestik	Analisis Penilaian
<b>Stakeholder Utama</b>			
		sementara airnya dan limbah dari kegiatan lain dibuang ke saluran drainase	memenuhi persyaratan sebagai penampung limbah padat yang berasal dari toilet.
		2. Ikut terlibat dalam kegiatan pengelolaan limbah cair domestik dengan aktif dalam kegiatan pemicuan/sosialisasi.	
<b>Stakeholder Kunci</b>			
Dinas Kesehatan (DKK)		1. Fasilitator yang menginisiasi dan memberikan pemicuan tentang pentingnya tidak buang air besar sembarangan	Belum optimal karena masih ada beberapa wilayah yang masyarakatnya masih mempunyai kebiasaan Buang Air Besar Sembarangan (BABs).
		2. Menyenggarakan, membimbing dan melaksanakan kegiatan penyehatan lingkungan	
		3. Menyenggarakan penelitian dan pengembangan kesehatan yang mendukung perumusan kebijakan	
Dinas Lingkungan Hidup Daerah (DLHD)		1. Memberi masukan perumusan kebijakan teknis di bidang tata lingkungan hidup.	Belum optimal karena pelaksanaan kegiatan masih memfokuskan pada limbah terpusat.
		2. Melaksanakan pengendalian dan pemantauan program di bidang tata lingkungan hidup.	
		3. Melaksanakan monitoring, evaluasi, dan pelaporan pelaksanaan program di bidang tata lingkungan hidup	
Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) bidang Air Minum dan Limbah		1. Merumuskan dan melaksanakan kebijakan teknis Bidang Air Minum dan Air Limbah.	Belum optimal karena masih memfokuskan pada pekerjaan teknis yaitu pengadaan Instalasi Pengolahan limbah domestik
		2. Merencanakan dan melaksanakan pengembangan, pembangunan dan pemeliharaan SPAM dan instalasi air limbah.	
		3. Menyiapkan bahan perumusan dan pelaksanaan kebijakan teknis Pengembangan SPAM dan Instalasi Air Limbah.	
		4. Melaksanakan pengembangan dan penelitian mengenai pengelolaan dan pengembangan instalasi limbah cair domestik	
Perum Jasa Tirta 1		1. Memantau dan menjaga kualitas air Sungai Brantas dari pencemaran yang diakibatkan limbah industri, domestik.	Belum optimal karena masih menekankan pada sumber pencemar terpusat
		2. Pengelolaan daerah aliran sungai, yang meliputi antara lain perlindungan, pengembangan dan penggunaan air sungai dan/ atau sumber-sumber air termasuk pemberian informasi, rekomendasi, penyuluhan, dan bimbingan.	
<b>Stakeholder Pendukung</b>			
Akademisi		1. Melakukan kajian-kajian ilmiah terkait pengelolaan limbah cair domestik.	Banyak kajian dan teknologi yang dihasilkan namun belum optimal diaplikasikan karena keterbatasan dana.
		2. Mengembangkan teknologi pengolah limbah cair domestik	
		3. Menentukan kelayakan bagi kegiatan dari sisi keilmuan yang relevan	
		4. Memberikan rekomendasi solusi-solusi pengelolaan yang berinovasi pada peningkatan kualitas lingkungan	

Berdasarkan hasil analisis peran *stakeholder* kunci sebagaimana terlihat pada tabel 1, menunjukkan bahwa keterlibatan *stakeholder* sudah berjalan namun belum optimal sesuai dengan tugas dan fungsinya. Kesenjangan muncul antara *stakeholders* kunci dengan *stakeholder* yang lain. Kondisi yang teridentifikasi pada saat proses wawancara dengan beberapa responden, menyatakan bahwa banyak hal yang mempengaruhi antara lain: belum

adanya mekanisme yang terkoordinasi dengan jelas yang mengatur bagaimana peran dan keterkaitan antar *stakeholder* didalam pengelolaan limbah cair domestik, tanggungjawab antar *stakeholder* kunci belum terkoordinasi dan terpadukan sehingga saling melengkapi dan menyempurnakan, dengan kata lain masih berjalan sendiri-sendiri dengan berpegang teguh pada tugas dan fungsi. Banyak peraturan perundangan yang telah dikeluarkan, baik oleh pemerintah pusat maupun daerah, namun sangat minim peraturan perundangan yang secara khusus memberikan arahan teknis operasional menyebabkan biasanya pemahaman *stakeholder*. Di samping itu, dalam hal pemberian peran, aturan main yang ada belum memberikan peran secara optimal kepada *stakeholder* kunci.

Sementara itu, hasil pengamatan terhadap responden masyarakat atau responden utama, menunjukkan bahwa masyarakat sangat memahami tentang adanya limbah cair domestik yang dihasilkan dari setiap aktivitas yang dilakukan setiap harinya. Namun, pemahaman masyarakat belum menyentuh hingga ke pengelolaannya. Sampai saat ini, limbah cair yang dihasilkan, langsung dibuang ke saluran drainase, tanpa mempertimbangkan bahwa kebiasaan yang selama ini dilakukan dapat berdampak negatif terhadap lingkungan.

Pengelolaan air limbah di tingkat rumah tangga, masih terbatas pada pengolahan limbah dari toilet saja, yaitu dengan menyediakan tangki septik. Tangki septik yang digunakan hanya terbatas pada pengelolaan limbah yang berasal dari toilet, sedangkan dari sisi kualitas tangki septik yang digunakan, hampir semua masyarakat menyerahkan sepenuhnya kepada pekerja bangunan, tanpa mempertimbangkan kinerja tangki septik, yang terpenting mampu menampung limbah yang berasal dari toilet, terutama limbah padatnya. Limbah padat toilet akan tertampung pada tangki septik, sedangkan yang berbentuk cair dikeluarkan melalui outlet yang masuk dan mengalir ke saluran drainase. Kinerja tangki septik yang tidak sesuai dengan yang diharapkan terlihat pada hasil uji laboratorium terhadap kualitas limbah cair yang diambil dari saluran drainase di daerah penelitian. Di Kelurahan Sawojajar, ditemukan adanya bakteri total coliform rata-rata 61.85 MPN/100 ml pada musim kemarau (kisaran nilai = 143-20 MPN/100 ml), dan 61.85 MPN/100 ml pada musim hujan (kisaran nilai = 231 – 21 MPN/100 ml). Kelurahan Sumpersari menunjukkan rata-rata sebesar 46,72 MPN/100 ml pada musim kemarau (kisaran nilai = 100-27 MPN/100 ml) dan 97.00 MPN/100 ml pada musim penghujan (kisaran = 244-20 MPN/100 ml). Sedangkan di Kelurahan Kedungkandang rata-rata total coliform sebesar 13,33 MPN/100 ml pada musim penghujan (kisaran pada =35-13 MPN/100 ml) dan 38,33 MPN/100 ml pada musim kemarau (kisaran pada = 54-31 MPN/100 ml). Keberadaan bakteri total Coliform didalam air, berhubungan erat dengan adanya pembuangan limbah domestik[4]. Sedangkan Chapra menyatakan bahwa salah satu petunjuk adanya zat pencemar dalam perairan yang diakibatkan oleh limbah domestik adalah ditemukannya kelompok bakteri coliform [5]. Pendapat ini diperkuat George Tchobanoglous yang menyatakan bahwa limbah dari kegiatan domestik mempunyai sifat spesifik antara lain Total Suspended Solid (TSS), kekeruhan, Dissolved Oxygen (DO), Biological Oxygen Demand (BOD), Coliform, serta Chemical Oxygen Demand (COD) [6]. Sementara itu, jika merujuk pada informasi yang diperoleh dari Puskesmas Gribig, menyatakan bahwa Kelurahan Sawojajar merupakan salah satu kelurahan yang menyandang predikat Open Defecation Free (ODF) yaitu kondisi ketika setiap individu dalam suatu kelompok tidak buang air besar sembarangan, yang 100% masyarakatnya telah buang air besar di jamban sehat. Dengan kategori ODF, seharusnya di Kelurahan Sawojajar tidak ditemukan lagi bakteri total coliform di dalam saluran drainase. Kondisi ini menunjukkan, belum efektifnya kinerja tangki septik atau tangki septik tidak memenuhi kriteria yang telah ditetapkan atau kinerjanya sudah mengalami penurunan karena tidak adanya pemeliharaan. Sehingga efluen dari tangki septik masih mengandung total coliform yang jika dibuang ke saluran drainase, secara otomatis akan ikut terbawa. Melihat kondisi tersebut, diperlukan pemantauan dan

pengelolaan yang lebih intensif terhadap kinerja tangki septik pada khususnya dan penanganan limbah cair yang dibuang ke saluran drainase pada umumnya.

Mengacu pada uraian sebelumnya, diperlukan strategi khusus dalam mengelola limbah cair domestik. Strategi pengelolaan limbah cair domestik harus lebih menekankan kepada keterlibatan masyarakat secara langsung sebagai penghasil utama limbah cair domestik yang didukung pihak terkait melalui pengembangan kapasitas. Beberapa aspek yang disarankan sebagai upaya strategi pengelolaan limbah cair domestik antara lain terlihat pada tabel 2.

TABEL II  
ASPEK DIMENSI PEMBANGUNAN DAN PENGEMBANGAN KAPASITAS SEBAGAI UPAYA STRATEGI PENGELOLAAN LIMBAH CAIR DOEMSTIK

Dimensi	Fokus	Tipe aktivitas
Pengembangan SDM	Menyediakan tenaga teknis dan profesional berdasarkan kualitas serta mengembangkan kualitas SDM yang telah ada di bidang pengelolaan limbah cair domestik	Memberikan pelatihan pengelolaan limbah cair domestik, insentif bulanan atau harian bagi pengurus organisasi, bonus atau penghargaan bagi anggota yang berprestasi dalam pengelolaan lingkungan serta mampu membangkitkan dan mengajak masyarakat sekitar dalam proses pengelolaan lingkungan
Penguatan organisasi	Monitoring dan evaluasi sistem manajemen pengelolaan limbah cair domestik yang menghasilkan suatu tindakan upaya pengeolaan limbah cair domestik.	Pelatihan kepemimpinan budaya berorganisasi yang baik, cara berkomunikasi serta struktur manajerial yang terbuka. Pemberian reward berdasarkan penilaian performansi untuk mengukur kontribusi-kontribusi dari individu-individu anggota organisasi kepada organisasinya dengan cara pemberian insentif.
Reformasi kelembagaan	Lembaga dan sistem struktur makro	Perubahan atau perbaiki kebijakan/peraturan pengelolaan limbah cair domestik disesuaikan kondisi lapangan/wilayah yang bersangkutan.
Teknologi	Penerapan teknologi pengolahan limbah cair domestik tepat guna (murah, mudah dalam pemeliharaan dan operasional)	Pembangunan IPAL komunal dan perbaikan sistem sanitasi, dengan melibatkan kelembagaan masyarakat dalam perencanaan , pembuatan keputusan, pengendalian dan evaluasi serta sistem informasi manajemen lingkungan

Peran serta masyarakat ditingkatkan melalui partisipasi aktif dalam setiap kegiatan pengelolaan limbah cair domestik baik yang dilakukan secara swakelola atau mandiri yang didukung penuh oleh pihak terkait melalui bantuan baik yang berupa dana maupun keilmuan. Penerapan teknologi tepat guna hasil transfer keilmuan dari lembaga akademisi sebagai sarana pengolahan limbah cair domestik secara komunal dapat diterapkan melalui program-program pemerintah maupun swasembada. Namun, bagian terpenting dalam upaya pengelolaan ini adalah perubahan perilaku mendasar sebagai upaya meminimalisasi limbah cair yang dihasilkan terutama dalam pemakaian air untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari. Jika konsumsi air ditekan secara otomatis akan berpengaruh terhadap jumlah limbah cair yang dihasilkan. Penggunaan bahan-bahan yang ramah lingkungan juga akan mempengaruhi kandungan bahan kimia yang ada dalam buangan cair domestik. Oleh sebab itu perubahan gaya hidup dalam pemanfaatan air bersih perlu ditingkatkan. Langkah akhir yang tidak kalah penting adalah penerapan aturan yang disepakati oleh semua pihak dalam pelaksanaannya, dimulai dari kedisiplinan hingga pemberian sanksi atas pelanggaran yang ditemukan dilapangan harus benar-benar dilaksanakan dengan penuh tanggungjawab dan keinginan untuk menjaga kenyamanan lingkungan dari pencemaran yang timbul.

#### IV. KESIMPULAN

Pengelolaan limbah cair domestik memerlukan peran aktif dari semua pihak yang terdiri dari masyarakat sebagai penghasil utama limbah cair domestik yang didukung oleh pihak-pihak terkait yang meliputi Pemerintah serta peran akademisi dalam mentransfer teknologi

pengolahan limbah cair yang tepat guna. Penerapan dan pelaksanaan peraturan, dimulai dari kedisiplinan hingga pemberian sanksi atas pelanggaran, benar-benar dilaksanakan dengan penuh tanggungjawab serta keinginan untuk menjaga kenyamanan lingkungan dari pencemaran yang timbul, memperkuat jalannya pelaksanaan pengelolaan limbah cair domestik dengan baik.

#### REFERENSI

- [1] Pemerintah Indonesia, *Peraturan Menteri Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Indonesia, 2016.
- [2] Badan Standarisasi Indonesia, *Air dan air limbah – Bagian 57: Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan*, vol. 59. Jakarta: Badan Standarisasi Indonesia, 2008.
- [3] A. C. S. P. Suswati and W. Gunawan, "Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Taman Tanaman Air (Constructed Wetlands)," *Indones. Green Technol. J.*, vol. 2, 2013.
- [4] D. Agustiningih, S. Samudro, and S. Sasongko, "Anallisis Kualitas Air Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal," *Presipitasi*, vol. 9, 2012.
- [5] S. C. Chapra, "Surface Water Quality Modelling." McGraw-Hill Book Company, Inc, Singapura, 1997.
- [6] G. Tchobanoglous, "Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse, Third Edition." McGraw-Hill Book Company, Inc, Michigan, 1991.
- [7] Prihatiningsih, Bekti., et all., 2018, Analysis of the Distribution of Domestic wastewater in the Brantas River Area Malang City, ICRMCE 2018, (pp. eISSN: 2261-236X). Solo Baru: MATEC Web of Conferences 195, 05004 (2018).
- [8] Suswati, A. C. S. P. & Wibisono, Gunawan., 2013, Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Taman Tanaman Air (Constructed Wetlands), *Indonesia Green Technology Jouenal*, Vol. 2, No. 2. (E-ISSN.2338-1787), pp. 70-77

# Perancangan Robot Pengantar Makanan Otomatis dengan Navigasi Line Follower

Marianus Tiga<sup>1</sup>, Rahman Arifuddin<sup>2</sup>, Dwi Arman Prasetya<sup>3</sup>, Nachrowie<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Elektro Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia

<sup>1</sup>marianustiga92@gmail.com

<sup>2</sup>rahman.arifuddin@unmer.ac.id

<sup>3</sup>arman.prasetya@unmer.ac.id

<sup>4</sup>nachrowie@unmer.ac.id

**Abstrak**— Pada era teknologi dan informasi yang semakin berkembang pesat, kebutuhan akan sarana dan prasarana yang dilengkapi dengan teknologi juga semakin meningkat. Penerapan teknologi pada dunia pramusaji untuk meningkatkan kapasitas sebuah pramusaji dengan bantuan robot, dengan ini dapat meminimalisir kesalahan para pramusaji karena kelelahan dan jenuh dalam menjalankan pekerjaannya. Miniatur robot ini berbasis *line follower*, dimana robot akan mengikuti rute yang telah ditetapkan menuju meja pelanggan. Tahapan pembuatan adalah dengan merancang *hardware*, *software* dan mekanik.

**Kata kunci**— Pramusaji, Robot, Line follower.

**Abstract**— In the era of technology and information that is growing rapidly, the need for facilities and infrastructure equipped with technology is also increasing. The application of technology in the world of waiters to increase the capacity of a waiter with the help of robots, by this can minimize the errors of waiters due to fatigue and boredom in carrying out their work. This miniature robot is based on a line follower, where the robot will follow a predetermined route to the customer's table. The manufacturing stage is to design hardware, software, and mechanics.

**Keywords**— Waiter, Robot, Line follower.

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan system informasi pada era industry 4.0, menuntut sebuah inovasi akan teknologi yang akan diterapkan agar memiliki manfaat pada kehidupan manusia. Teknologi robotika juga sangat berpengaruh pada kehidupan manusia, dimana pada teknologi robotika ini hadir sebuah kolaborasi antara tenaga mesin maupun elektronik untuk mempermudah suatu masalah yang dihadapi manusia [1].

Pelayanan merupakan suatu urutan kegiatan yang berlangsung antara satu orang dengan orang lain dalam hal penyediaan kebutuhan pelanggan. Dalam hal lain bias disebutkan sebagai kegiatan membantu seseorang dalam menyiapkan atau mengurus sesuatu yang diperlukan.

Keterbatasan yang dimiliki manusia dalam hal tenaga yang tidak bisa dipaksakan terus menerus untuk bekerja, diperlukan suatu bantuan yang melibatkan mesin dalam pengerjaannya [2]. Dengan *system* otomasi selain dapat mengatasi keterbatasan yang dimiliki manusia [3][4], akan tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi kesalahan kerja serta biaya operasional yang dapat ditekan.

Otomasi yang dapat dilakukan adalah dengan menciptakan robot pelayan otomatis yang dapat membantu pekerjaan pelayan (manusia), dimana sebuah robot tidak memiliki rasa lelah jika bekerja. Banyak sekali penerapan robot pelayan otomastis ini diterapkan [5], misalnya robot rescue, robot pembersih kaca, robot *housekeeping* dan robot pelayan restoran.

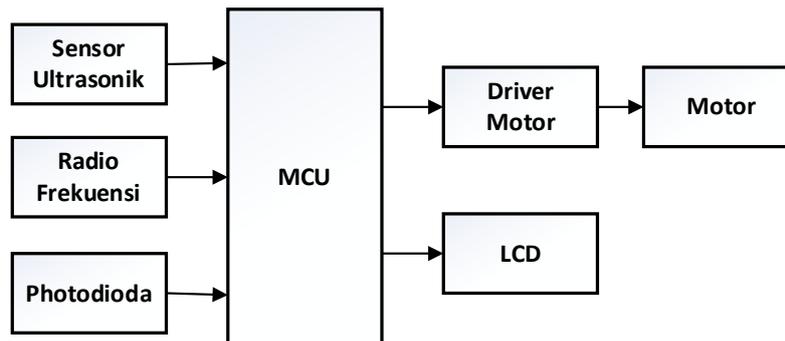
Pada penelitian ini difokuskan pada perancangan robot pelayan restoran, dimana robot akan membawa makanan yang ditaruh dibagian atas. Untuk jalur yang dilalui oleh robot adalah berbasis garis [6][7], robot akan mengikuti garis yang sudah ada sesuai dengan rute meja pelanggan yang sudah ditetapkan.

## II. METODE

Pada penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang harus dilakukan, analisis kebutuhan untuk *hardware* dan *software* yang harus sesuai dengan perancangan. Perancangan *system* pada penelitian ini meliputi blok diagram keseluruhan alat, perancangan *hardware* dan perancangan *software*.

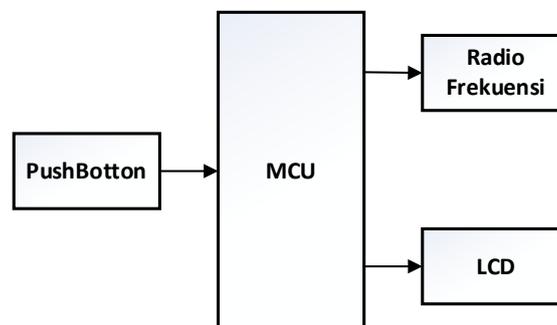
### A. Blok Diagram

Blok diagram ini merupakan alur dan kebutuhan *hardware* yang dibutuhkan dalam perancangan *system*. Blok diagram terbagi menjadi dua bagian yaitu blok diagram pada *system* robot dan blok diagram pada bagian meja pelanggan.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Robot

Berdasarkan gambar 1 blok diagram *system* robot terdapat radio frekuensi untuk menerima data yang dikirim meja pelanggan, sensor ultrasonic untuk menghindari robot bertabrakan dengan orang yang ada disekitar, photodiode sebagai pembaca garis pada jalur yang sudah ditetapkan.



Gambar 2. Blok Diagram Meja Pelanggan

Berdasarkan gambar 2, merupakan blok diagram meja pelanggan, pada bagian ini terdapat pushbutton untuk menentukan meja mana yang telah menekan tombol kemudian data tersebut dikirim menggunakan radio frekuensi ke robot.

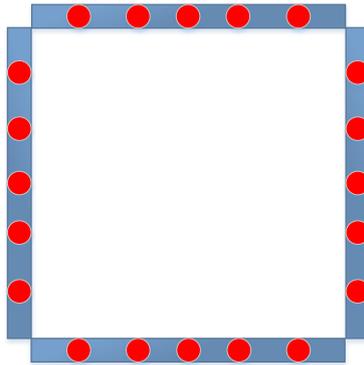
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Perancangan Hardware

Perancangan *hardware* meliputi bagian peletakan sensor photodioda, perancangan mekanik robot dan perancangan *hardware* pada meja pelanggan.

#### a. Peletakan Sensor Fotodioda

Desain peletakan sensor photodioda ini bertujuan untuk memudahkan pergerakan robot ketika membaca lintasan yang sudah ditentukan.

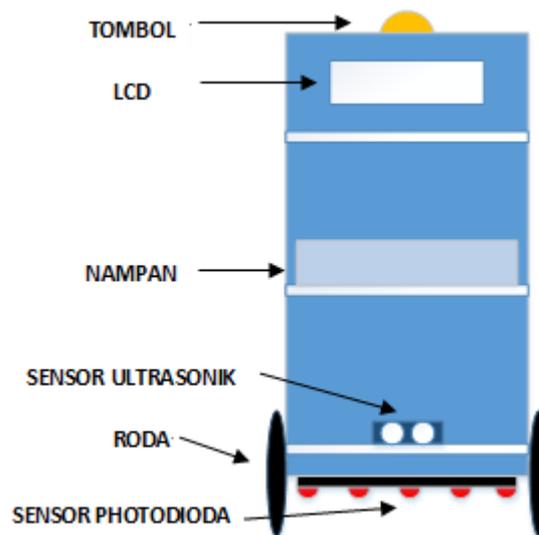


Gambar 3. Peletakan Sensor Fotodioda

Berdasarkan gambar 3, setiap sisi terdapat lima buah sensor yang terpasang (photodiode +LED), sehingga total semua sensor pada keempat sisi adalah duapuluh buah sensor. Peletakan setiap sisi ini dimaksudkan agar system mampu membaca jika terdapat perempatan pada lintasan.

b. Perancangan mekanik robot

Perancangan mekanik robot bertujuan untuk memastikan peletakan setiap komponen pendukung lainnya dan sensor pada badan robot.



Gambar 4. Desain Mekanik Robot

Berdasarkan gambar 4, merupakan bagian tampak depan dari desain mekanik robot dengan peletakan setiap sensor dan komponen pendukung lainnya. Dimensi dari robot adalah dengan panjang 70cm, lebar 70cm dan tinggi 100cm.

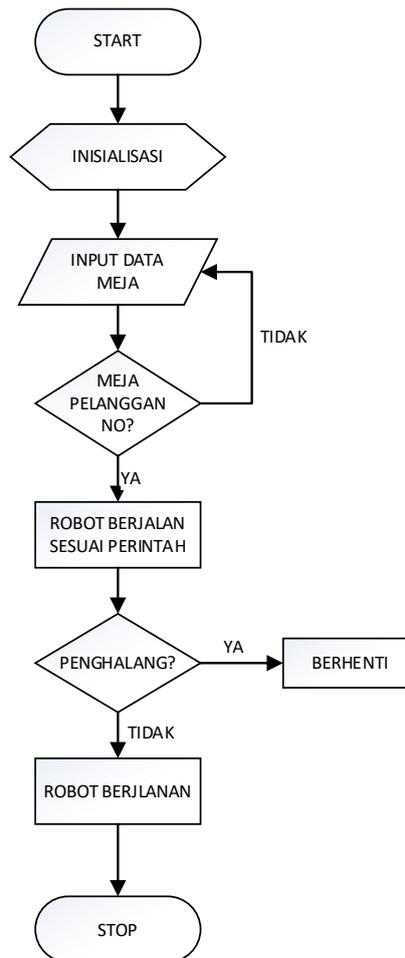
c. Perancangan mekanik pada meja

Perancangan *hardware* pada meja terbagi menjadi dua bagian, yaitu pada meja operator dan meja pelanggan. Seperti pada gambar 5



Gambar 5. Perancangan Mekanik Meja Operator





Gambar 8. Flowchart Sistem

Berdasarkan gambar 8 merupakan perancangan *software* secara keseluruhan dimana dimulai dari input data meja yang kemudian dilanjutkan dengan robot berjalan sesuai dengan perintah dan jika ada penghalang robot akan berhenti.

#### C. Hasil

Hasil yang diperoleh adalah berupa miniatur robot pramusaji otomatis dengan dimensi panjang 70cm, lebar 70cm dan tinggi 100cm. miniatur robot pramusaji ini dilengkapi dengan minimum system ATmega 16, sensor garis, sensor jarak, modul radio frekuensi, dan LCD. Kemampuan miniature robot pramusaji ini sendiri dapat melakukan pergerakan maju mengikuti rute yang telah dibuat. *System* komunikasi antara robot dengan setiap meja pelanggan menggunakan radio frekuensi.

#### D. Pembahasan

*System* pada miniature robot ini sangat kompleks dengan menggabungkan semua fitur pada ATmega 16 dan interface pada banyak device. Miniature robot ini dirancang untuk bergerak secara otomatis mengikuti lintasan yang telah dibuat melalui pembacaan sensor. Setiap lintasan dibuat untuk menghubungkan setiap lintasan. Miniatur robot ini menggunakan sensor garis yaitu photodiode dan LED. Hasil pantulan cahaya dari LED akan ditangkap oleh photodiode, dimana intensitas yang diterima pantulan saat lantai warna putih dan hitam akan berbeda.

Untuk mengantarkan makanan dari dapur ke meja pelanggan menggunakan input dari nomor pada setiap meja. Setiap nomor meja memiliki jalur sendiri sesuai dengan mapping yang telah ditetapkan. Misalkan meja A, maka robot akan bergerak sesuai dengan rute,

kemudian jika bertemu pada perempatan pertama maka robot akan berbelok ke kiri dan akan berhenti dilanjutkan dengan menyodorkan nampan. Setelah pelanggan mengambil makanan maka diharuskan menekan tombol pada robot, sehingga robot akan kembali ke tempat semula.

Mempertahankan posisi robot agar mampu berjalan secara lurus dengan mengikuti rute yang telah ditetapkan, maka perlu dilakukan pengontrolan secara digital. Pengontrolan secara digital ini dengan cara mengintegrasikan data pembacaan sensor dengan PWM dan direksi motor DC. Kontrol digital dapat menggunakan kontrol PID untuk mempertahankan pergerakan robot tetap pada jalurnya.

#### IV. KESIMPULAN

Prototipe robot ini dapat diterapkan pada restoran sehingga dapat meningkatkan pelayanan dan waktu pelayanan terhadap pelanggan. Penggunaan lima buah sensor photodiode pada bagian bawah dengan satu sisi untuk mempermudah pergerakan robot dalam mendeteksi lintasan perempatan, dengan *system* tiga sensor ditengah untuk kondisi robot berjalan lurus dan dua sensor bagian samping kanan dan kiri untuk mendeteksi adanya lintasan perempatan. Penggunaan PID juga dapat dengan mudah mempertahankan posisi robot saat berada pada jalurnya.

#### REFERENSI

- [1] R. Arifuddin, D. R. Santoso, and O. Setyawati, "Pengembangan Sistem Akuisisi Data Nirkabel untuk Pengukuran Distribusi Suhu Bawah Permukaan," *J. EECCIS*, vol. 9, no. 2, pp. 123–129, 2016.
- [2] S. Siswanto, D. A. Prasetya, N. Rachman, and B. F. Hidayatulail, "PENGENDALI ROBOT BERODA BERBASIS SENSOR TELEMETRI VOICE PATTERN RECOGNITION," *JASIEK (Jurnal Apl. Sains, Informasi, Elektron. dan Komputer)*, 2019.
- [3] R. Ridarmin, F. Fauzansyah, E. Elisawati, and E. Prasetyo, "Prototype Robot Line Follower Arduino Uno Menggunakan 4 Sensor Tcrt5000," *Informatika*, vol. 11, no. 2, pp. 17–23, 2019.
- [4] A. Latif, H. A. Widodo, R. Rahim, and K. Kunal, "Implementation of Line Follower Robot based Microcontroller ATmega32A," *J. Robot. Control*, vol. 1, no. 3, pp. 70–74, 2020.
- [5] R. Arifuddin and Y. Sinatra, "Identifikasi Sensor Suhu pada Setup Awal Untuk Pengukuran Suhu Bawah Permukaan," *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.)*, vol. 3, no. 2, pp. 209–212, 2018.
- [6] D. Y. Krisna and S. Satrio, "PERANCANGAN ROBOT LINE FOLLOWER PEMADAM API," *J. Algorith. Log. dan Komputasi*, vol. 2, no. 2, 2019.
- [7] Y. H. Fajar, D. Syauby, and R. Maulana, "Implementasi Maze Mapping pada Robot Line Follower untuk menentukan Shortest Path," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. e-ISSN*, vol. 2548, p. 964X, 2019.

# Pengelompokkan Perilaku Pembelian Konsumen Batik pada UMKM Menggunakan *Fuzzy Clustering*

I Dewa made Widia<sup>1</sup>, Sovia Rosalin<sup>2</sup>, Salman Ratih Asriningtias<sup>3</sup>, Elta Sonalita<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Pendidikan Vokasi Universitas Brawijaya

JL. Veteran No. 12-13 Malang, Jawa Timur, Indonesia

<sup>4</sup> Jurusan Teknik Elektro Universitas Merdeka Malang

Jalan Terusan Raya Dieng 62-64 Malang, Jawa Timur, Indonesia

<sup>1</sup>[dewa\\_vokasi@ub.ac.id](mailto:dewa_vokasi@ub.ac.id) (penulis korespondensi), <sup>2</sup>[soviavokasi@ub.ac.id](mailto:soviavokasi@ub.ac.id), <sup>3</sup>[salnanratih@gmail.com](mailto:salnanratih@gmail.com),

<sup>4\*</sup>[elta.sonalitha@unmer.ac.id](mailto:elta.sonalitha@unmer.ac.id)

*Abstrak*— Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) adalah usaha yang dimiliki dan dikelola oleh seseorang atau sekelompok kecil orang dengan jumlah modal atau kekayaan serta pendapatan tertentu. Salah satu produk unggulan dari UMKM adalah batik, karena Batik merupakan salah satu warisan bangsa Indonesia yang unik. Kondisi klasik yang selalu dimiliki UMKM batik adalah terbatasnya jumlah modal yang menuntut UMKM harus memiliki strategi dalam pengelolaan modal, yaitu mampu mengoptimalkan modal dalam proses perencanaan produksi. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses produksi adalah jumlah permintaan dari konsumen. Tingginya daya saing, menuntut UMKM untuk melihat lebih jeli peluang yang ada yaitu dengan cara melihat perilaku konsumen yang menjadi sasaran pasarnya. Oleh sebab itu perlu dilakukan analisis atau pemetaan perilaku pembelian konsumen batik pada UMKM. Pemetaan ini bertujuan untuk mengelompokkan konsumen yang memiliki perilaku yang sama. Pemetaan atau pengelompokkan dilakukan menggunakan Fuzzy Clustering. Hasil penelitian di dapatkan Fuzzy Clustering mampu mengelompokkan perilaku konsumen batik pada UMKM.

*Kata kunci*— Batik, *Customes Buying Behaviour*, *Fuzzy Clustering*, MSMEs.

*Abstract*— Micro, Small and Medium Enterprises (MSMEs) are businesses owned and managed by a person or a small group of people with a certain amount of capital or wealth and income. One of the superior products of UMKM is batik, because batik is one of the unique Indonesian heritage. The classic condition that batik UMKM always has is the limited amount of capital that requires MSMEs to have a strategy in capital management, namely being able to optimize capital in the production planning process. One of the factors that influence the production process is the amount of demand from consumers. The high competitiveness demands MSMEs to look more closely at the opportunities that exist, by looking at the behavior of consumers who are the target market. Therefore it is necessary to analyze or map the buying behavior of batik consumers at MSMEs. This mapping aims to group consumers who have the same behavior. Mapping or grouping is done using Fuzzy Clustering. The results of the research in Fuzzy Clustering are able to classify the behavior of batik consumers in MSMEs.

*Keywords*— Batik, *Customes Buying Behaviour*, *Fuzzy Clustering*, MSMEs.

## V. PENDAHULUAN

Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) adalah usaha yang dimiliki dan dikelola oleh seseorang atau sekelompok kecil orang dengan jumlah modal atau kekayaan serta pendapatan tertentu. Kota Solo merupakan kota yang memiliki banyak jumlah industri kecil menengah atau UMKM dengan jumlah produksi terbesar pada jenis UMKM Batik [1]. Batik merupakan warisan budaya bangsa hal ini dibuktikan dengan penetapan batik sebagai warisan budaya milik Indonesia oleh *United Nations Educational Scientific and Cultural Organizations* (UNESCO), pada tanggal 2 Oktober 2009. Mengingat batik merupakan salah satu produk unggulan UMKM dan pentingnya peran UMKM dalam meningkatkan perekonomian bangsa [2], maka UMKM batik perlu untuk didukung dan dikembangkan.

Kondisi klasik yang dimiliki oleh UMKM batik adalah terbatasnya jumlah modal [3]. UMKM dituntut harus memiliki strategi dalam pengelolaan modal, yaitu mampu mengoptimalkan modal dalam perencanaan proses produksi [4]. Salah satu faktor yang mempengaruhi perencanaan proses produksi adalah jumlah permintaan dari konsumen [5]. Tingginya daya saing, menuntut UMKM untuk melihat lebih jeli peluang yang ada yaitu dengan cara melihat perilaku pembelian konsumen yang menjadi sasaran pasarannya [6].

Oleh sebab itu perlu dilakukan analisis pengelompokkan atau pemetaan perilaku konsumen pada UMKM batik.

Salah satu faktor yang mempengaruhi perilaku pembelian konsumen adalah faktor personal [7] dan sejarah transaksi pembelian [8]. Faktor personal meliputi usia, jenis kelamin, pendidikan, pekerjaan dan pendapatan. Faktor transaksi meliputi rata-rata harga yang dibeli, rata-rata jumlah transaksi yang dilakukan selama satu bulan, rata-rata total belanja dalam satu bulan, jenis hari ketika pembelian dan pertimbangan pembelian. Analisis pemetaan konsumen dilakukan dengan proses pengelompokkan pelanggan yang memiliki perilaku yang sama. Untuk memudahkan proses pengelompokkan ini maka menggunakan teknik clustering, karena pada prinsipnya clustering adalah mengelompokkan data secara otomatis, yaitu hanya melihat dari kesamaan karakteristik tanpa perlu melihat label atau kriteria kelompoknya [9]. sehingga data konsumen akan dikelompokkan sesuai kesamaan karakteristik perilaku pembelian.

Banyak metode yang bisa digunakan dalam Teknik clustering diantaranya *K-means clustering* [10][11] dan *fuzzy clustering* [12][13]. Dari kedua metode tersebut *fuzzy clustering* bekerja lebih baik dibanding *K-Means Clustering* [14][15]. Oleh sebab itu dalam penelitian ini untuk proses pengelompokkan perilaku pembelian konsumen menggunakan metode *Fuzzy Clustering*.

## VI. METODE

### A. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dengan cara wawancara langsung ke UMKM batik dan memberikan kuisioner kepada customer yang ada di UMKM batik tepatnya berlokasi di Beteng Trace Center Solo. Data yang diperoleh adalah 120 responden. Data berupa data personal konsumen dan riwayat transaksi konsumen selama melakukan pembelian batik.

### B. Faktor Perilaku Pembelian Konsumen

Pada penelitian ini akan dibahas dua faktor perilaku pembelian konsumen yaitu faktor personal dan faktor riwayat transaksi pembelian. Beberapa faktor personal diantaranya adalah usia, jenis kelamin, pendidikan, pekerjaan dan pendapatan. Sedangkan faktor riwayat transaksi pembelian diantaranya adalah rata-rata harga yang dibeli, rata-rata jumlah transaksi yang dilakukan selama satu bulan, rata-rata total belanja dalam satu bulan, jenis hari ketika pembelian dan pertimbangan pembelian.

Detail data perilaku pembelian konsumen untuk faktor personal dapat dilihat pada Tabel I. Detail detail data perilaku konsumen untuk faktor transaksi dapat dilihat pada Tabel II. Dalam teknik clustering data yang diolah harus dalam bentuk angka atau numerik, sehingga perlu dilakukan konversi data text menjadi data numerik yang dapat dilihat juga pada kolom konversi untuk masing-masing data pada Tabel I dan Tabel II.

TABEL I  
DATA PERSONAL KONSUMEN

Parameter	Data Personal	Konversi	Jumlah
Usia	< 20	1	13
	20-30	2	23
	31-40	3	53
	41-50	4	27
	>50	5	4
Jenis Kelamin	Laki-laki	1	37
	Perempuan	2	83
Pendidikan	SMA	1	27
	D1/D2/D3/D4	2	7
	S1	3	57

Parameter	Data Personal	Konversi	Jumlah
Pekerjaan	S2	4	25
	S3	5	4
	PNS	1	42
	SWASTA	2	26
	BUMN	3	21
	Wiraswata	4	16
Pendapatan	Pelajar/Mahasiswa	5	15
	< 1.000.000	1	18
	1.000.000 - 3.000.000	2	22
	3.000.000 - 5.000.000	3	25
	5.000.000 - 10.000.000	4	40
	>10.000.000	5	15

TABEL II  
DATA TRANSAKSI KONSUMEN

Parameter	Data Transaksi	Konversi	Jumlah
Harga	< 200.000	1	14
Pembelian	200.000 - 500.000	2	80
	500.000 - 1.000.000	3	17
	> 1.000.000	4	9
Jumlah	< 3	1	96
Transaksi	3-5	2	16
	> 5	3	8
Total Belanja	< 500.000	1	89
	500.000 - 1.000.000	2	21
Jenis Hari	>1.000.000	3	10
	Libur Nasional	1	46
	Weekday	2	16
Pertimbangan	Weekend	3	58
	Selera	1	33
Pembelian	Tren	2	23
	Kualitas	3	27
	Harga	4	13
	Produk Terbaru	5	24

### C. Implementasi Fuzzy Clustering dalam Pengelompokan Peilaku Pembelian Konsumen

Langkah pertama dalam proses pengeompokkan data konsumen menggunakan metode *fuzzy clustering* adalah melakukan normalisasi data. Hal ini dilakukan untuk menyamakan nilai rentang data untuk masing-masing parameter atau karakteristik. Metode normalisasi yang digunakan adalah *min-max normalization*, yang dapat dilihat pada persamaan (1) [16].

$$x_{ni} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

Langkah berikutnya adalah proses *fuzzy clustering* dengan tahapan sebagai berikut [17]. Menentukan jumlah *cluster*. Dalam menentukan jumlah minimal memiliki nilai 2 *cluster* dengan jumlah maksimal *cluster* dapat diperoleh berdasarkan persamaan  $\leq \sqrt{n}$  [18]. Diketahui data *customer* berjumlah 120 maka Maka  $max\ cluster = \sqrt{120} = 11$ .

- Menentukan parameter pada *fuzzy clustering* diantaranya *weighting exponent* ( $m = 2$ ), Iterasi maksimum ( $I = 1000$ ), *error* terkecil yang diharapkan ( $\epsilon = 0,00001$ ), Fungsi objektif awal ( $P_0 = 0$ ), Iterasi awal ( $t = 1$ ).
- Membangkitkan bilangan acak ( $\mu_{ik}$ ) 0-1 (matrik partisi U) sejumlah  $n \times m$  dimana  $n$  adalah jumlah data dan  $m$  adalah jumlah kluster.
- Menentukan derajat keanggotaan untuk tiap-tiap data dan atribut (matrik partisi U). Menghitung jumlah setiap kolom sesuai persamaan (2)

$$Q_i = \sum_{k=1}^c \mu_{ik} \quad (2)$$

Menghitung derajat keanggotaan tiap-tiap kluster sesuai persamaan (3).

$$\mu_{ik} = \frac{\mu_{ik}}{Q_i} \quad (3)$$

Dimana  $i$  adalah data ke- $i$  dan  $c$  menunjukkan jumlah kluster.

- Menghitung pusat kluster sesuai persamaan (4).

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik})^m \times x_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^m} \quad (4)$$

Dimana  $n$  adalah jumlah data,  $i$  adalah data ke- $i$ ,  $k$  adalah kluster ke- $k$ ,  $j$  adalah atribut ke- $j$  dan  $m$  adalah *weighting exponent*.

- Menghitung fungsi objektif pada iterasi ke- $t$ , sesuai persamaan (5).

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c \left( \left[ \sum_{j=1}^d (x_{ij} - v_{kj})^2 \right] (\mu_{ik})^m \right) \quad (5)$$

Dimana  $n$  adalah jumlah data,  $c$  adalah jumlah kluster,  $d$  adalah jumlah atribut,  $x_{ij}$  adalah data ke- $i$  atribut ke- $j$ ,  $v_{kj}$  adalah pusat kluster ke  $k$  atribut ke  $j$ ,  $\mu_{ik}$  adalah bobot data ke- $i$  kluster ke- $k$ , dan  $m$  adalah *weighting exponent*.

- Menghitung perubahan matrik partisi sesuai persamaan (6).

$$\mu_{ik} = \frac{[\sum_{j=1}^d (x_{ij} - v_{kj})^2]^{-\frac{1}{m-1}}}{\sum_{k=1}^c [\sum_{j=1}^d (x_{ij} - v_{kj})^2]^{-\frac{1}{m-1}}} \quad (6)$$

- Cek kondisi berhenti, jika  $(|P_t - P(t-1)| < \epsilon)$  atau  $I > MaxIter$  maka berhenti. Jika tidak maka  $t = t + 1$  ulangi langkah ke 4.

Untuk mengetahui apakah hasil cluster satu dengan kluster lain memiliki anggota dengan karakteristik yang jauh berbeda atau apakah hasil dalam satu kluster yang sama memiliki anggota dengan kemiripan karakteristik dapat diukur dengan menggunakan *cluster variance* [19]. Persamaan untuk menghitung *cluster variance* dapat dilihat pada persamaan (7).

$$v_c^2 = \frac{1}{n_c - 1} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d}_i)^2 \quad (7)$$

Dimana  $v_c^2$  adalah *variance* pada *cluster*  $c$ ,  $c$  memiliki nilai 1- $k$ ,  $k$  adalah jumlah *cluster*,  $n_c$  adalah jumlah data pada *cluster*  $c$ ,  $d_i$  adalah data ke  $i$  pada suatu *cluster*,  $\bar{d}_i$  adalah rata-rata dari data pada suatu *cluster*. Terdapat dua jenis *cluster variance* yaitu *Variance within cluster* ( $V_w$ ) dan *Variance between cluster* ( $V_b$ ).

*Variance within cluster* digunakan untuk melihat hasil variansi penyebaran data yang

ada dalam sebuah *cluster*. Semakin kecil nilai  $V_w$  maka semakin bagus *clusternya*. Persamaan untuk menghitung  $V_w$  dapat dilihat pada persamaan (8).

$$v_w = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^k (n_i - 1)v_i^2 \quad (8)$$

Dimana,  $N$  adalah jumlah semua data,  $k$  adalah jumlah *cluster* dan  $n_i$  adalah jumlah data anggota dalam *cluster*  $i$ . *Variance between cluster* digunakan untuk melihat hasil variansi penyebaran data antar *cluster*. Semakin besar nilai  $V_b$  maka semakin bagus *clusternya*. Persamaan untuk menghitung  $V_b$  dapat dilihat pada persamaan (9).

$$v_b = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k n_i (d_{ij} - d)^2 \quad (9)$$

Dimana,  $k$  adalah jumlah *cluster*,  $d_{ij}$  adalah data ke  $j$  pada suatu *cluster* ke  $i$  dan  $d'$  adalah rata-rata dari  $d_i$ . Untuk melihat varian semua *cluster* maka dapat diukur dengan persamaan (10).

$$V = \frac{v_w}{v_b} \quad (10)$$

Jika nilai  $V$  semakin kecil maka nilai *cluster* semakin baik.

## VII. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan hasil *cluster* atau pengelompokan yang baik maka penentuan jumlah *cluster* harus ditentukan dengan tepat. Untuk menentukan jumlah *cluster* dilakukan proses *clustering* dengan menggunakan jumlah *cluster* dengan nilai antara 2 sampai 11. Hasil *error* yang diperoleh untuk jumlah *cluster* yang berbeda dapat dilihat pada Tabel III.

TABEL III  
HASIL CLUSTERING

Nama Proses	Jumlah Cluster	Jumlah Iterasi	Error
Proses 1	2	7	0.0000055787
Proses 2	3	1000	0.0065008661
Proses 3	4	258	0.0000056795
Proses 4	5	409	0.0000007417
Proses 5	6	1000	0.0586656140
Proses 6	7	1000	0.0820497459
Proses 7	8	1000	0.0837654441
Proses 8	9	141	0.0000098235
Proses 9	10	1000	0.0143874842
Proses 10	11	1000	0.0134521846

Berdasarkan Tabel III, nilai *error* terkecil adalah pada saat jumlah *clusternya* adalah 2 dengan nilai *error* 0.0000055787. Proses *clustering* pada jumlah 2 *cluster* berhenti dikarenakan sudah mencapai nilai *ereor* yang diharapkan yaitu pada iterasi ke-7 Iterasi, sehingga jumlah *cluster* terbaik adalah 2 *cluster*. Hasil pengelompokkan menggunakan metode *fuzzy clustering* untuk 2 *cluster* yang dapat dilihat pada Tabel IV.

TABEL IV  
HASIL *CLUSTERING*

NAMA <i>CLUSTER</i>	JUMLAH DATA
Cluster 1	59
Cluster 2	61

Karakteristik personal yang diperoleh dari hasil *clustering* dari masing-masing kelompok atau *cluster* dapat dilihat pada Tabel V.

TABEL V  
KARAKTERISTIK PERSONAL KELOMPOK / *CLUSTER*

NAMA <i>CLUSTER</i>	KARAKTERISTIK	KETERANGAN
Cluster 1	Usia	31-40
	Jenis kelamin	Laki-laki
	Pendidikan	S1
	Pekerjaan	Swasta
Cluster 2	Pendapatan	3.000.000 - 5.000.000
	Usia	31-40
	Jenis Kelamin	Perempuan
	Pendidikan	S1
	Pekerjaan	PNS
	Pendapatan	3.000.000 - 5.000.000

Karakteristik riwayat transaksi konsumen yang diperoleh dari hasil *clustering* dari masing-masing kelompok atau *cluster* dapat dilihat pada Tabel VI.

TABEL VI  
KARAKTERISTIK TRANSAKSI KELOMPOK / *CLUSTER*

NAMA <i>CLUSTER</i>	KARAKTERISTIK	KETERANGAN
Cluster 1	Harga	200.000 – 500.000
	Jumlah Transaksi	< 3
	Total Belanja	< 500.000
	Hari	Weekend
Cluster 2	Pertimbangan	Selera
	Harga	2.00.000 – 500.000
	Jumlah Transaksi	< 3
	Total Belanja	500.000 – 1.000.000
	Hari	Libur Nasional
	Pertimbangan	Kualitas

Untuk membuktikan bahwa hasil *clustering* memiliki hasil yang baik, yaitu dalam satu *cluster* terdiri dari anggota yang memiliki karakteristik yang hampir sama dan anggota antar *cluster* memiliki karakteristik yang berbeda, maka dilakukan uji validitas menggunakan *cluster variance*. Hasil pengujian *cluster variance* untuk jumlah *cluster* berbeda dapat dilihat pada Tabel VII.

TABEL VII  
HASIL VALIDITAS *CLUSTER*

Nama Proses	Vw	Vb	V
Proses 1	0.491525424	7040.068213	0.00006982
Proses 2	2.769230769	3511.056268	0.00078872
Proses 3	4.103448276	1312.597887	0.00312620
Proses 4	2.47826087	938.9937073	0.00263927
Proses 5	14.42105263	1495.441904	0.00964334
Proses 6	5.824561404	636.5914749	0.00914961
Proses 7	19.53982301	749.1169988	0.02608381
Proses 8	15.67256637	597.4860201	0.02623085
Proses 9	17.0625	423.5920479	0.04028050
Proses 10	21.95454545	250.5801777	0.08761485

*Cluster* dikatakan bagus jika memiliki nilai *variance within cluster* ( $V_w$ ) dan *variance* ( $SV$ ) kecil dan memiliki *variance between cluster* ( $V_b$ ) besar. Berdasarkan Tabel VII untuk Proses 1 dengan jumlah 2 *cluster* memiliki nilai  $V_c$  dan  $V$  terkecil dan nilai  $V_b$  terbesar. Hal ini menunjukkan bahwa hasil *cluster* terbaik adalah *cluster* untuk proses 1.

#### VIII. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil proses *clustering*, jumlah *cluster* terbaik adalah 2 *cluster* dengan nilai *error* 0.0000055787 dan berhenti pada iterasi ke-7. Data konsumen dikelompokkan ke dalam dua *cluster* yang berbeda.
2. Hasil pengelompokkan memiliki nilai yang akurat karena memiliki nilai karena berdasarkan hasil uji validitas *clustering*, hasil *cluster* memiliki nilai *variance within cluster* dan *variance* terkecil dan *variance between cluster* terbesar.
3. Perlu adanya pengembangan metode pada *fuzzy clustering* khususnya dalam menentukan pusat *cluster* sehingga tidak perlu dilakukan pengujian satu persatu dalam rentang tertentu untuk menentukan jumlah *cluster* yang optimal. Hal ini sangat kurang efisien karena memakan waktu yang lama. Selain itu penentuan iterasi maksimum yang kurang tepat akan memberikan hasil yang kurang bagus karena memungkinkan proses *clustering* berhenti ketika kondisi belum konvergen atau belum mencapai *error* yang diharapkan, maka akan lebih baik jika kondisi berhenti untuk iterasi proses *clustering* diutamakan mencapai *error* minimum atau mengalami konvergen terlebih dahulu.

#### REFERENSI

- [1] D. Soebagiyo and M. Wahyudi, "Analisis Kompetensi Produk Unggulan Daerah Pada Batik Tulis Dan Cap Solo Di Dati Ii Kota Surakarta," *J. Ekon. Pembang. Kaji. Masal. Ekon. dan Pembang.*, vol. 9, no. 2, p. 184, 2008, doi: 10.23917/jep.v9i2.1026.
- [2] S. N. Sarfiah, H. E. Atmaja, and D. M. Verawati, "UMKM Sebagai Pilar Membangun Ekonomi Bangsa," *J. Ris. Ekon. Pembang.*, vol. 4, no. 2, pp. 41–52, 2019.
- [3] H. Purwadio and P. Wirawan, "Variabel Prioritas Pengembangan Sentra Industri Batik di Kecamatan Sumberjambe, Kabupaten Jember," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 1, pp. 1–5, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i1.13789.
- [4] N. G. D. Wirawan and I. G. B. Indrajaya, "Pengaruh Modal Dan Tenaga Kerja Terhadap Produksi dan Pendapatan Pada UKM Pie Susu Di Denpasar," *e-Jurnal EP Unud*, vol. 8, no. 2, pp. 453–485, 2019, [Online]. Available: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/eep/article/view/43660>.
- [5] Tundo, R. Akbar, and E. I. Sela, "Analisis Perbandingan Fuzzy Tsukamoto Dan Sugeno Comparison Analysis of Fuzzy Tsukamoto and Sugeno in Determining the Amount of Weaving Fabric Production," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 171–180, 2020, doi: 10.25126/jtiik.202071751.
- [6] A. O. Oke, P. Kamolshotiros, O. Y. Popoola, M. A. Ajagbe, and O. J. Olujobi, "Consumer behavior towards decision making and loyalty to particular brands," *Int. Rev. Manag. Mark.*, vol. 6, no. 4, pp. 43–52, 2016.
- [7] R. N., "Factors affecting consumer buying behavior September 2016," *Int. J. Appl. Res.*, vol. 2, no. 10, pp. 76–80, 2016.
- [8] D. P. Hidayatullah, R. I. Rokhmawati, and A. R. Perdanakusuma, "Analisis Pemetaan Pelanggan Potensial Menggunakan Algoritma K-Means dan LRFM Model Untuk Mendukung Strategi Pengelolaan Pelanggan ( Studi Pada Maninjau Center Kota Malang )," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 8, pp. 2406–2415, 2018.
- [9] Suyanto, *Data Mining untuk Klasifikasi dan Klasterisasi Data*. Yogyakarta: Informatika, 2018.
- [10] Y. Darmi and A. Setiawan, "Penerapan metode clustering k-means dalam pengelompokan penjualan produk," *J. Media Infotama Univ. Muhammadiyah Bengkulu*, vol. 12, no. 2, pp. 148–157, 2016.
- [11] M. A. Efendi, U. M. Sukabumi, and B. K. Khusus, "Pengelompokan Data Pelamar Kerja Menggunakan Algoritma K-Means Clustering pada SMK Negeri 1 Kota Sukabumi," pp. 1–6, 2019.
- [12] S. Redjeki, "Pemodelan Pengelompokan Prestasi Dosen Menggunakan Metode Fuzzy C-Means," *JIKO (Jurnal Inform. dan Komputer)*, vol. 2, no. 2, p. 67, 2017, doi: 10.26798/jiko.2017.v2i2.63.
- [13] W. Sanusi, A. Zaky, and N. Afni, "Analisis Fuzzy C-Means dan Penerapannya Dalam Pengelompokan Kabupaten / Kota di Provinsi Sulawesi Selatan Berdasarkan Faktor- faktor Penyebab Gizi Buruk," *J. Math. Comput. Stat.*, vol. 2, no. 1, pp. 47–54, 2018.
- [14] A. Ramadhan, Mustakim, and Z. Efendi, "Perbandingan K-Means dan Fuzzy C-Means untuk Pengelompokan Data User Knowledge Modeling," *Semin. Nas. Teknol. Informasi, Komun. dan Ind.* 9, pp. 219–226, 2017.
- [15] R. Syarif, M. T. Furqon, and S. Adinugroho, "Perbandingan Algoritme K-Means Dengan Algoritme Fuzzy C Means ( FCM ) Dalam Clustering Moda Transportasi Berbasis GPS," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 10, pp. 4107–4115, 2018.
- [16] E. F. Oluwatobi Ayodeji Akanbi, Iraj Sadegh Amiri, *A Machine-Learning Approach to Phishing Detection and Defense*. Elsevier Ltd, 2015.
- [17] K. Dewi, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [18] J. Yu and Q. Cheng, "The upper bound of the optimal number of clusters in fuzzy clustering," *Sci. China Ser. Inf. Sci.*, vol. 44, no. 2, pp. 119–125, 2001.
- [19] T. Alfina and B. Santosa, "Analisa Perbandingan Metode Hierarchical Clustering, K-Means dan Gabungan Keduanya dalam Membentuk Cluster Data (Studi Kasus : Problem Kerja Praktek Jurusan Teknik Industri ITS)," *Anal. Perbandingan Metode Hierarchical Clust. K-means dan Gabungan Keduanya dalam Clust. Data*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2012.

# Pemeriksaan Suhu Tubuh tanpa Kontak Langsung sebagai Pencegahan *Covid-19* untuk Pengunjung Gedung Berbasis IoT

Subairi<sup>1</sup>, Aries Boedi Setiawan<sup>2\*</sup>, Krisna Tiwikrama<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia

<sup>1</sup>subairi@unmer.ac.id,

<sup>2\*</sup> aries@unmer.ac.id

<sup>3</sup>krishnatiwikrama12@gmail.com

*Abstrak*— Meningkatnya kasus penderita *Covid-19* di Indonesia merupakan indikasi abainya masyarakat terhadap protokol kesehatan, kepatuhan terhadap protokol kesehatan dapat mencegah menularnya wabah lebih banyak lagi. Diantara banyaknya protokol yang harus dipatuhi masyarakat ketika memasuki gedung perkantoran, mall tempat ibadah dan lainnya adalah pengukuran suhu tubuh. Pengukuran suhu tubuh tanpa kontak langsung adalah salah satu cara efektif menghindari penyebaran antar manusia dengan menjaga jarak satu dengan yang lainnya. Pengukuran suhu tubuh dilakukan secara otomatis ketika sensor mendeteksi benda didepan alat ukur. Pembacaan suhu tubuh ini juga memanfaatkan teknologi penyedia layanan cloud berbasis *Internet of Things* (IoT) guna pemantauan suhu dari waktu ke waktu dan menghitung pengunjung yang telah masuk gedung guna mengetahui kapasitas gedung agar tidak melebihi kapasitas yang telah ditentukan. Rancangan perangkat keras pada alat ini menggunakan 32bit mikrokontroler dan sensor *contactless infrared* MLX-90614. Hasil pembacaan sensor dapat langsung ditampilkan pada display yang tersedia dengan akurasi mencapai 0.5 derajat Celcius, jika sensor mendeteksi suhu diatas nilai ambang yang dibolehkan maka ada indikator untuk memberitahu petugas dilokasi dan pintu portal tidak membuka. Jumlah pengunjung juga ditampilkan pada papan informasi dan akan menyalakan peringatan jika kapasitas gedung sudah terpenuhi.

*Kata kunci*— Covid-19, *Contactless* Temperatur, Arduino, IOT.

*Abstract*— The increasing number of cases of Covid-19 sufferers in Indonesia is an indication that society is ignoring health protocols, discipline in health protocols can prevent the spread of more outbreaks. Among the many rules that must be obeyed when entering office buildings, malls, places of worship, etc, is the measurement of body temperature. Taking body temperature without direct contact is an effective way to avoid spreading between people by keeping a distance from each other. Body temperature measurement is carried out automatically when the sensor detects an object in front of the measuring instrument. This body temperature reading also utilizes cloud service provider technology based on the Internet of Things (IoT) to monitor temperature from time to time and count visitors who enter the building to find out the building capacity so that it does not exceed the predetermined capacity. . The hardware design of this tool uses a 32bit microcontroller and the MLX-90614 contactless infrared sensor. The sensor readings can be immediately displayed on the existing dot matrix display with an accuracy of temperature reading reaching 0.5 degrees Celsius, if the sensor detects a temperature above the allowable threshold value, then there is an indicator to notify the officer and the portal door cannot be opened. The number of visitors is also displayed on the information board and will light up a warning when the building capacity is met.

*Keywords*— Covid-19, *Contactless* Temperatur, Arduino, IOT.

## I. PENDAHULUAN

Covid-19 merupakan virus yang bisa menjangkit pada sistem pernapasan manusia dikenal juga dengan virus corona. Pada banyak kejadian kasus, virus ini hanya memberikan gejala sakit ringan pada sistem pernapasan atau bahkan tidak timbul gejala sama sekali dikenal dengan orang tanpa gejala (OTG), dikasus lain, virus ini juga dapat menimbulkan infeksi pernapasan yang cukup parah, seperti tuberkulosis paru (TBC), *Severe Acute Respiratory Syndrome* (SARS), *Middle-East Respiratory Syndrome* (MERS) dan pneumonia. Beberapa gejala bila terinfeksi virus Corona penderita mengalami gejala flu, sakit kepala, batuk, nyeri tenggorokan, dan demam seperti hidung berair dan meler, tidak bisa merasa dan membau atau gejala penyakit infeksi pernapasan berat, seperti demam tinggi, batuk berdahak bahkan berdarah, sesak napas, dan nyeri dada [1].

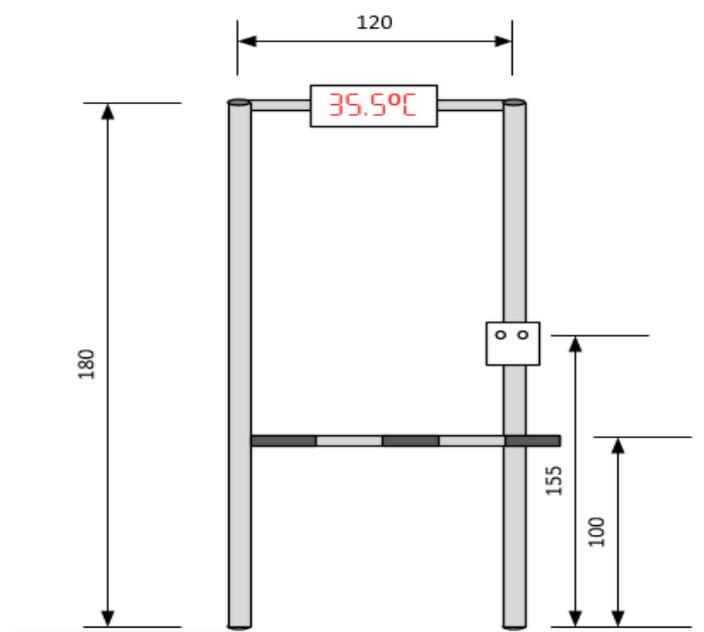
Akibat pandemi *Covid-19* ini semua sektor sosial ekonomi mengalami dampak, untuk mengurangi dampaknya pemerintah memberlakukan kehidupan normal baru. Normal baru ini adalah alternatif kebijakan nasional untuk memenuhi kebutuhan sosial dan konsumsi masyarakat yang membutuhkan kondisi sosial dan interaksi. Juga, kegiatan keagamaan yang tidak mungkin terus-menerus mengurung masyarakat dalam ruang daring (*online*) [2]. Untuk itu pemerintah mengeluarkan peraturan untuk kehidupan normal baru yang tertuang dalam peraturan menteri dalam negeri no.440-830 tahun 2020 salah satunya mengatur penggunaan pemeriksaan suhu tubuh untuk area tertutup ataupun semi tertutup maksimal pada suhu 37,5 derajat *celcius* [3].

Pengukuran suhu badan dengan metode *Contactless Infrared Thermometer* bertujuan meminimalisir interaksi dan menjaga jarak aman dengan suspect atau *carrier virus COVID-19*. Fungsinya untuk memastikan setiap pengunjung yang masuk dalam area tertentu sudah terdata suhu tubuhnya dan dipastikan dalam rentang yang diperbolehkan, apabila suhu normal maka dapat masuk atau mengakses wilayah tersebut. Monitoring suhu tubuh dilakukan *display* penunjuk angka dan melalui tampilan laman *web* secara *real time*, dimana data suhu tubuh pengunjung dikirim ke jaringan internet dan disimpan pada *cloud*. Perekaman suhu melalui laman *web* untuk mencegah kontak langsung dan meminimalkan penularan *covid-19*. Pengunjung dapat mengetahui suhu tubuhnya dengan mendekatkan tangan atau dahi ke depan sensor dan hasil pengukuran ditampilkan pada *display dot matrik* yang tersedia[4].

## II. METODE

### A. Rancangan Mekanik Portal

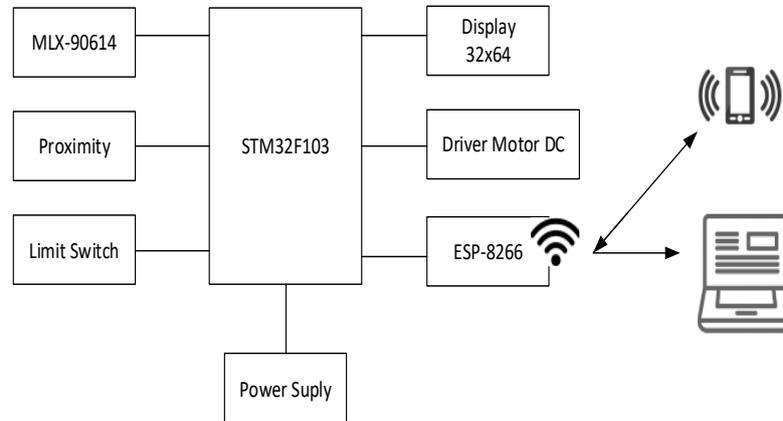
Portal sebagai pintu masuk dilengkapi dengan palang pintu yang akan membuka jika suhu terukur kurang dari batas yang ditetapkan yaitu kurang dari 37,8 C. Penggerak dari portal ini menggunakan *motor DC power window* dengan torsi motor sebesar  $T = 1,25N.m$ ,  $V = 12volt DC$ , Daya = 17 Watt, Putaran = 71 rpm [5]. Sedangkan lengan portal terbuat dari bahan pipa PVC yang ringan sehingga tidak membebani motor. Rangka pintu terbuat dari bahan galvalum ringan dan mudah di pindahkan. Portal ini dapat dibongkar pasang menyesuaikan kebutuhan sehingga dapat mudah untuk dikemas. Perakitan desain portal dilakukan tanpa proses pengelasan karena bahan baku dari kerangka alat ini menggunakan besi ringan. Rancangan portal ditunjukkan pada Gambar. 1.



Gambar 1. Rancangan Pintu Portal

### B. Rancangan kontrol

Komponen utama dari kontroler ini menggunakan ic-mikrokontroler 32bit ARM yaitu tipe STM32F103, sensor suhu *infrared* mlx-90614, modul *wifi* esp8266, sensor *infrared proximity*, *driver motor* DC, *buzzer*, *dot matrik display*, *limit switch* dan *power supply* 12Vdc. Seluruh komponen dirakit pada *printed circuit board* (PCB) sesuai rangkaian skematik yang telah didesain. Gambar 2 merupakan diagram blok dari rancangan in.

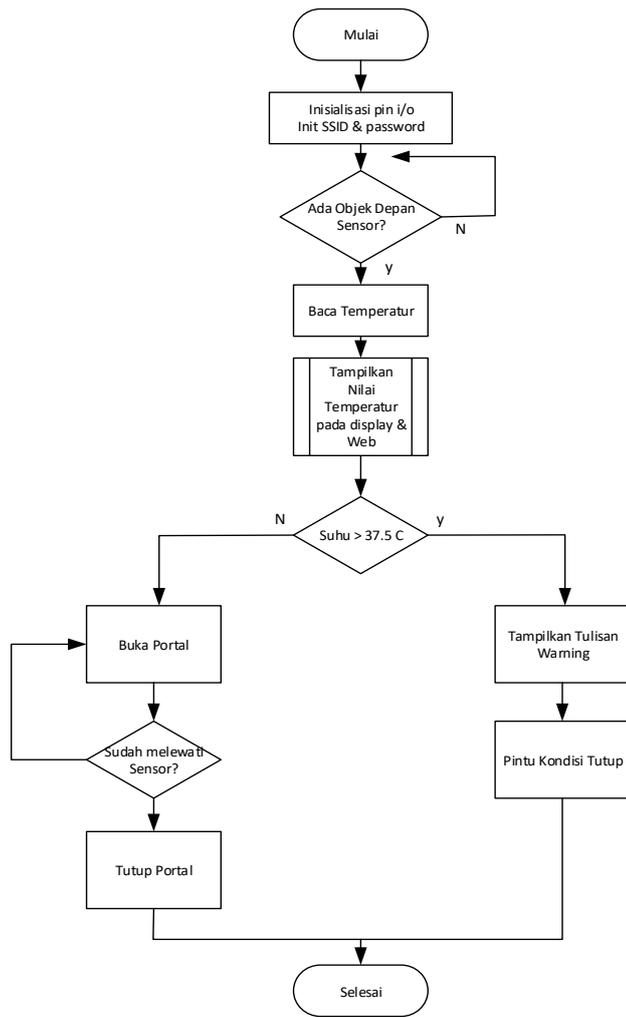


Gambar 2. Diagram blok rancangan *hardware*

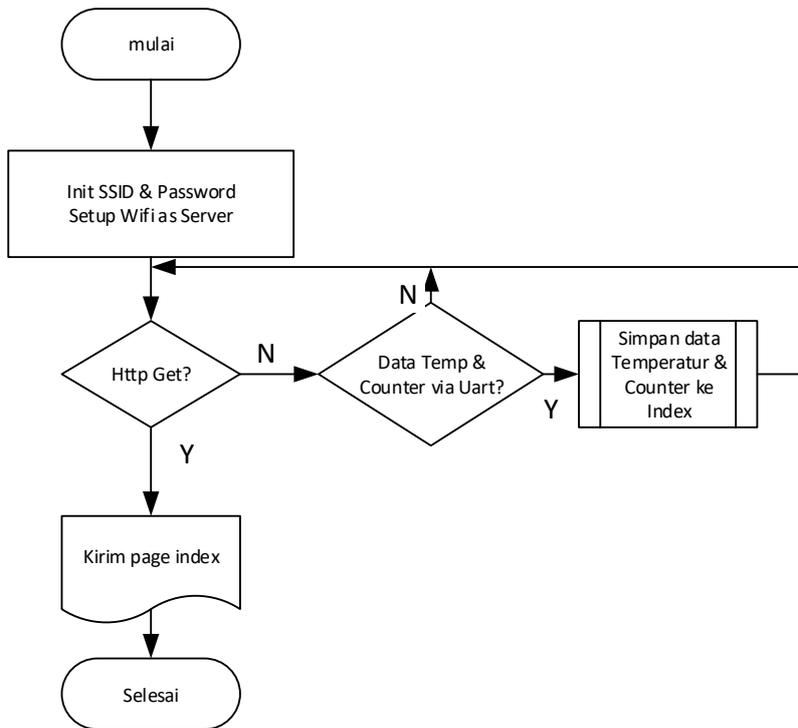
Dari Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa mikrokontroler mengendalikan seluruh proses pada sistem. Sensor MLX-90164 dapat mendeteksi suhu baik ruang maupun objek pada pada rentang suhu -20 s/d 120 derajat *celcius* dengan akurasi 0,5 derajat [6]. Sensor *proximity* menggunakan *infrared* digunakan untuk mendeteksi objek didepan sensor dan sebagai sensor *counter* pengunjung, sedangkan *limit switch* digunakan untuk membatasi gerak putaran motor pada lengan portal. *Display* yang digunakan untuk menampilkan pembacaan sensor dan jumlah pengunjung menggunakan modul led *dot matriks* resolusi **32 × 64 dot** dengan jarak antar piksel sebesar 4,75mm. Esp-8266 sebagai perangkat *wifi* kontroler terkoneksi dengan kontrol utama melalui komunikasi *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART). Kontrol utama mengirim data hasil pengukuran suhu dan konter pengunjung kemudian esp-8266 menampilkan hasil tersebut melalui aplikasi berbasis *web* yang bisa diakses melali jaringan *wifi* dari esp-8266 yang telah dikonfigurasi sebagai *wifi-station* [7].

### C. Rancangan Software

Perancangan *software* dibuat menggunakan *tools* pemograman Arduino IDE melalui referensi *library* [8][9] dengan memodifikasi dibeberapa bagian untuk penyesuaian dengan mikrokontrol yang digunakan. Sedangkan alortima pemrograman disusun berdasarkan *flowchart* yang telah dibuat seperti pada Gambar 3. Dengan adanya diagram alir mempermudah dalam penyusunan logika pemograman dan pembuatan program itu sendiri.



Gambar 3. Diagram Alir program



Gambar 4. Diagram Alir program server

Gambar 3. Menunjukkan jalannya program pada kontrol utama, sedangkan pada gambar 4. Ditunjukkan bagaimana proses jalannya program pada esp-8266 yang dikonfigurasi sebagai web server untuk menampilkan suhu dan data konter pengunjung pada halaman web yang bisa diakses menggunakan PC ataupun browser pada HP.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah perakitan alat selesai dikerjakan maka dilakukan pengujian-pengujian terhadap hasil rancangan yang telah dilakukan sebelumnya. Adapun hasil-hasil pengujian dari sistem perbgian antara lain:

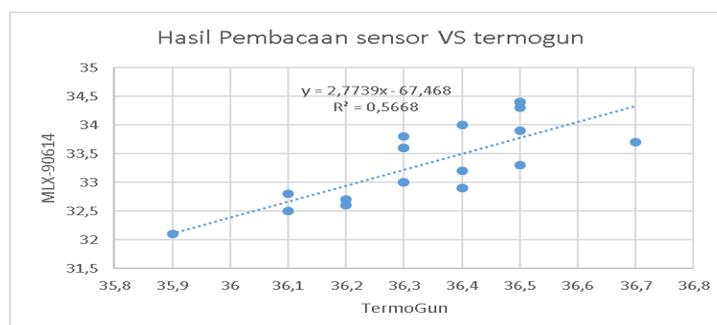
#### A. Kalibrasi sensor

Klibrasi sensor perlu dilakukan untuk memastikan sensor telah membaca suhu dengan benar, yaitu dengan membandingkan pembacaan sensor suhu dengan termogun yang sudah banyak dijual dipasaran. Dari hasil pengujian 20 sampel pembacaan sensor terhadap objek ukur berupa dahi dan bagian tubuh lain seperti yang ditampilkan pada tabel 1.

TABEL I  
HASIL PERBANDINGAN PEMBACAAN SUHU *TERMOGUN* DAN *MLX-90166*

Termo Gun	MLX-90164	Selisih
36,4	32,9	3,5
36,2	32,6	3,6
36,4	33,2	3,2
36,2	32,7	3,5
36,4	32,9	3,5
36,1	32,5	3,6
36,7	33,7	3,0
36,5	33,9	2,6
36,5	33,3	3,2
36,5	34,4	2,1
36,3	33,6	2,7
36,3	33,6	2,7
36,5	34,3	2,2
35,9	32,1	3,8
36,5	34,4	2,1
36,3	33,8	2,5
36,3	33,0	3,3
36,4	34,0	2,4
36,3	33,0	3,3
36,1	32,8	3,3
<b>Mean = 36,34</b>	<b>33,34</b>	<b>3,00</b>
<b>SD = 0,1818</b>	<b>0,6698586</b>	<b>0,546255</b>

Dari tabel I didapat hasil rata-rata selisih pengukuran sebesar 3.0 derajat. Selanjutnya penentuan nilai kalibrasi perbandingan hasil pengukuran sensor dan referensi linear dengan regresi sederhana menggunakan *tools* excel seperti pada gambar 5. Variabel kalibrasi digunakan sebagai referensi penentuan hasil ahir tampilan pembacaan sensor, dengan tujuan hasil pembacaan sensor sesuai dengan alat referensi (*Termogun*).



Gambar 5. Variabel kalibrasi sensor

Persamaan yang ditunjukkan dari gambar 5 dimasukkan dalam baris program dalam arduino dengan x merupakan hasil sensor terkalibrasi sesuai persamaan (1) [10].

$$y = 2,7739x - 67,468 \quad (1)$$

$$x = (y + 67,468)/2,7739 \quad (2)$$

Dimana:

y adalah hasil pembacaan sensor.

x adalah hasil sensor terkalibrasi sesuai nilai regresi linier.

Persamaan (2) kemudian dimasukkan dalam kode program yang menampilkan suhu terbaca seperti ditunjukkan gambar 6.



(a)

```

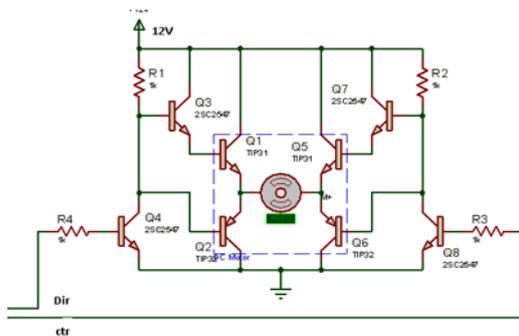
if(millis() > timee +1000 )
{
    timee=millis();
    dmd.selectFont(Arial14Bold);
    dmd.drawString(6,0, " Suhu  ",7,GRAPHICS_NORMAL);
    //dmd.drawString(4,0,"Warning ",9,GRAPHICS_NORMAL);
    //display_datetime();
    temp=mlx.readObjectTempC();
    temp= (temp+67.468)/2.7739;
    display_temp(temp);
}
    
```

(b)

Gambar 6. (a) Display sensor suhu, (b) Kode program kalibrasi

### B. Pengaturan Buka Tutup Portal

Buka tutup portal dikendalikan oleh mikrokontrol melalui dua pin, dimana masing-masing pin berfungsi sebagai pengatur gerak buka dan tutup portal dan satu pin sebagai kontrol *on-off* motor. Gambar 7 (a) adalah rancangan *driver* motor penggerak portal.



(a)

```

void motor_tutup_portal()
{
    digitalWrite(PB6,1);
    digitalWrite(PB7,0);
}
void motor_buka_portal()
{
    digitalWrite(PB6,1);
    digitalWrite(PB7,1);
}

// Buka Tutup Portal
void buka_portal(float temp)
{
    if(temp > 37.5) motor_tutup_portal();
    else motor_buka_portal();
}
    
```

(b)

Gambar 7. (a) Penggerak motor portal, (b) Program buka tutup portal

Motor yang digunakan adalah motor DC dengan penggerak transistor yang disusun *half bridge* sehingga motor bisa dikendalikan untuk buka dan tutup. Untuk hasil simulasi dari rangkaian tersebut dapat dilihat melalui tabel 2.

TABEL II.  
PENGATURAN KONTROL MOTOR PORTAL

Dir	Ctr	Kondisi motor
0	0	Off
0	1	CCW
1	0	Off
1	1	CW

Dari Tabel II terlihat bahwa motor akan aktif ketika pin Ctr bernilai 1 dan *off* ketika nilainya 0, sedangkan arah motor ditentukan oleh pin Dir. Pengaturan buka tutup portal ditentukan oleh hasil pembacaan sensor suhu, jika suhu terbaca kurang dari 37.5 derajat celsius maka portal diperintah untuk membuka, sedangkan jika suhu lebih dari 37,5 derajat celsius maka portal tetap tertutup. Potongn kode program untuk buka dan tutup portal bisa di lihat pada gambar 7 (b).

### C. Tampilan web

Esp 8266 sebagai *web server* menampilkan hasil pembacaan sensor suhu yang terdeteksi dan hasil *counter* pengunjung dalam sebuah halaman *web* yang bisa diakses secara lokal melalui alamat <http://192.168.1.100> via *browser* laptop maupun android. Gambar 8. merupakan hasil dari tampilan *web* dari sistem pengukuran suhu tanpa kontak langsung dengan objek yang diukur.



Gambar 8. Tampilan Web daris sistem

Gambar 8. merupakan tampilan *web* dari sistem pemantau suhu tanpa kontak langsung dengan objek yang diukur. Pada laman *web* tersebut ditampilkan suhu terukur dan *counter* pengunjung yang telah memasuki ruangan.

## IV. KESIMPULAN

Dari uraian hasil yang telah dipaparkan bahwa pengukuran suhu tanpa kontak langsung dengan objek ukur dapat dilakukan dengan baik. Alat ukur ini menjadi salah satu cara untuk memutus rantai penyebaran *covid-19* dengan menerapkan protokol kesehatan yaitu pengecekan kondisi tubuh dan jaga jarak antar petugas dan pengunjung suatu gedung atau tempat tertutup lainnya. Dengan tampilan *web* petugas dimudahkan dalam memantau jumlah pengunjung sesuai yang di syaratkan yaitu 50% kapasitas gedung.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penulisan artikel ini terutama pada Lab Robotik Program Studi Teknik Elektro Universitas Merdeka Malang sebagai tempat penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] D. Rina, "Pencegahan Penyebaran Virus Corona di Bandara Menggunakan Artificial Intellegence," *STRING (Satuan Tulisan Ris. dan Inov. Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 94–100, 2020.
- [2] A. Habibi, "Normal Baru Pasca Covid-19," *'ADALAH*, vol. 4, no. 1, 2020.
- [3] Republik Indonesia, *Keputusan Menteri Dalam Negeri Nomor 440-830 Tahun 2020 tentang Pedoman Tataunan Normal Baru Produktif dan Aman Corona Virus Disease 2019 Bagi Aparatur Sipil Negara di Lingkungan Kementerian Dalam Negeri dan Pemerintah Daerah*. Indonesia, 2020.
- [4] G. S. Ajie, "Portable Contactless Temperature Measurement as a Prevention The Spread of COVID-19," 2020.
- [5] H. Firdaus, "RANCANG BANGUN PENGGERAK PINTU PAGAR GESER MENGGUNAKAN 12 VOLT DIRECT CURRENT

- (DC) POWER WINDOW MOTOR GEAR,” 2019.
- [6] Malexis, *MLX90614 family Datasheet Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39*. Malexis, 2019.
- [7] R. P. Pratama, “APLIKASI WEBSEARVER ESP8266 UNTUK PENGENDALI PERALATAN LISTRIK,” *INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol.*, vol. 17, no. 2, pp. 39–44, 2017.
- [8] adafruit, “Adafruit-MLX90614-Library.” Adafruit Industries, 2020, [Online]. Available: <https://github.com/adafruit/Adafruit-MLX90614-Library>.
- [9] F. arc Alexander, “DMD.” freetronics, 2014, [Online]. Available: <https://github.com/freetronics/DMD>.
- [10] A. Rahmadi, “PERANCANGAN ALAT PENGUJI KUALITAS FISIKA AIR MINERAL,” *Telkommika*, vol. 2, no. 1, pp. 7–16, 2004, doi: 10.12928/telkommika.v2i1.1749.

# Implementasi IoT untuk Kontrol dan Monitoring Tingkat Kekeuhan pada Kolam Ikan Hias Menggunakan Metode *Fuzzy* Sugeno

Wahyu Dirgantara<sup>1</sup>, Abd. Rabi<sup>2</sup>, Choiri Muchlis<sup>3\*</sup>

<sup>1,3</sup> Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang (Institusi)  
Jalan Taman Agung 1 Malang Indonesia (Alamat termasuk nama negara)

<sup>1</sup>wahyu.dirgantara@unmer.ac.id (penulis korespondensi), <sup>2</sup>arrabik@gmail.com

<sup>3\*</sup>choirimuchlis@gmail.com

**Abstrak**— Budidaya ikan hias di Indonesia sedang marak diminati masyarakat, namun dalam prosesnya terdapat permasalahan seperti mengatasi kekeuhan serta stresnya ikan jika terlalu sering dilakukan pergantian air pada kolam. Dengan memanfaatkan jaringan berbasis Lokal Area Network (LAN) untuk monitoring di android serta menggunakan metode *fuzzy* sugeno untuk sistem kontrol kekeuhan akan membuat ikan merasa nyaman serta peternak tidak perlu khawatir akan keruhnya air kolam ikan hiasnya. Dari hasil simulasi didapatkan sistem bisa berjalan dengan baik dan sistem bisa di implementasikan pada kolam ikan hias.

**Kata kunci**— Ikan Hias, Stres Ikan Hias, LAN, Monitoring dan Fuzzy Sugeno.

**Abstract**— The cultivation of decorative fish in Indonesia is in great demand by the public, However, in the process, there are problems such as overcoming turbidity and stress of fish if too frequent water changes are made in the pond but in the process there is a problem. By utilizing a Local Area Network (LAN) based network for monitoring on Android and using the Sugeno fuzzy method for the turbidity control system, it will make the fish feel comfortable and breeders don't have to worry about the turbidity of the ornamental fish pond water. From the simulation results, it is found that the system can run well and the system can be implemented in ornamental fish ponds.

**Keywords**— Decorative Fish, Stress Fish, Lan, Monitoring, Fuzzy Sugeno

## I. PENDAHULUAN

Budidaya ikan di Negara Indonesia sangat diminati, hal ini dikarenakan lahan yang luas dan keuntungan besar yang didapatkan peternak. Namun ada beberapa masalah yang mendasar yang harus diperhatikan oleh peternak seperti pemberian pakan, jika pakan tidak mencukupi untuk keperluan gizi ikan maka pertumbuhannya akan terganggu, pemberian pakan juga mengakibatkan air menjadi keruh dan kotoran ikan mengakibatkan PH air menjadi naik (asam) sehingga mengakibatkan kematian pada ikan [1].

Metode *fuzzy* merupakan konsep yang sudah lama ada pada diri kita, konsep inilah yang diterapkan pada sistem control yang menggunakan metode *fuzzy* [2]. Seperti pada penelitian “Sistem Peringatan Dini untuk Deteksi Kebakaran pada Kebocoran Gas Menggunakan *Fuzzy Logic Control*”, metode yang digunakan adalah *fuzzy* sugeno untuk mengaktifkan kipas 1-3 dalam hal ini dipengaruhi oleh jumlah konsentrasi gas dan suhu yang ada di dalam ruangan [3]. *Internet of Things* (IoT) merupakan kumpulan berbagai hal (*Things*), berupa perangkat fisik (*embedded system or hardware*) yang bisa saling bertukar informasi antar sumber informasi, operator layanan ataupun perangkat lainnya yang terhubung kedalam sistem sehingga bisa memberikan kemudahan serta manfaat lebih lainnya [4].

Dari latar belakang yang dijelaskan pada dua paragraph diatas adalah yang mendasari penelitian ini. Dengan mengontrol tingkat kekeuhan kolam ikan hias secara otomatis akan membuat ikan yang ada di dalam kolam menjadi nyaman serta tidak stres karena bersentuhan langsung dengan peternak, selain dari pada itu. Untuk peternak tidak perlu repot-repot dalam mengurus kolam karena sirkulasi pergantian air sudah diatur otomatis.

## II. METODE

Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat beberapa tahapan yang dilalui. Tahapan tersebut antara lain:

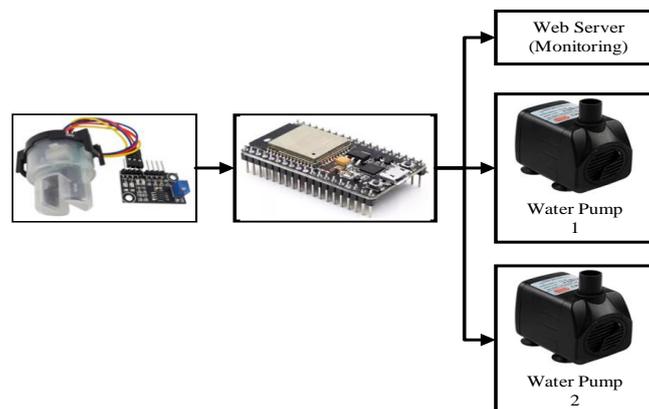
1. Menentukan Himpunan *Fuzzy*
2. Proses *Fuzzification* (proses ini mengubah nilai tegas menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi keanggotaan dalam bentuk *fuzzy*)
3. Pembentukan *Fuzzy Rule*
4. *Inferensi* atau Fungsi Implikasi (mengubah nilai input *fuzzy* untuk menghasilkan nilai output *fuzzy* berdasarkan *fuzzy rule*)
5. Defuzzifikasi (Mengubah output *fuzzy* yang diperoleh menjadi nilai output tegas dengan menggunakan metode *single ton*)

Dari lima tahap tersebut disimulasikan sehingga hasil dari sistem yang dibuat bisa diamati secara langsung. Kemungkinan-kemungkinan yang terjadi dilapangan sudah dimasukkan kedalam sistem *fuzzy* yang dibuat berdasarkan data hasil wawancara dengan peternak ikan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini terdapat dua jenis yaitu *hardware* dan *software*. Untuk penjelasan *hardware* dan *software* dijelaskan sebagai berikut:

### A. Hardware

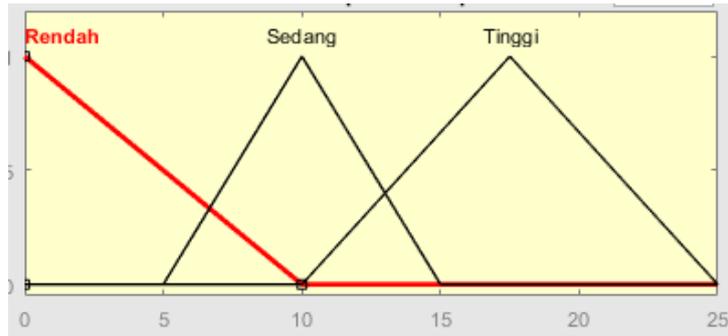


**Gambar 1.** Arsitektur Sistem Pemantauan Kekeruhan Air Kolam Ikan Hias

Cara kerja sensor kekeruhan hampir sama dengan fotodiode, hasil dari sensor kekeruhan akan dikirim ke esp32 dan diproses menggunakan algoritma *fuzzy* sugeno, output yang dihasilkan berupa tampilan yang bisa diakses melalui *handphone* (hp) dan nyala dari *water pump* 1 dan 2.

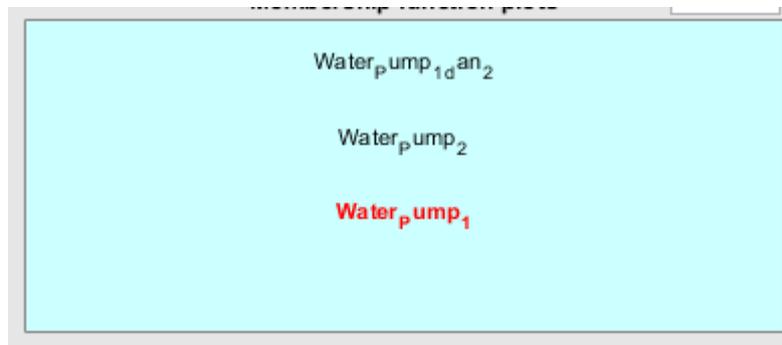
### B. Software

*Software* pada penelitian ini merupakan sebuah aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan sistem, tujuannya untuk mengetahui apakah sistem berjalan sesuai dengan yang diinginkan (kondisi hasil wawancara dengan peternak ikan hias). Berikut merupakan parameter yang di *fuzzy*-kan:



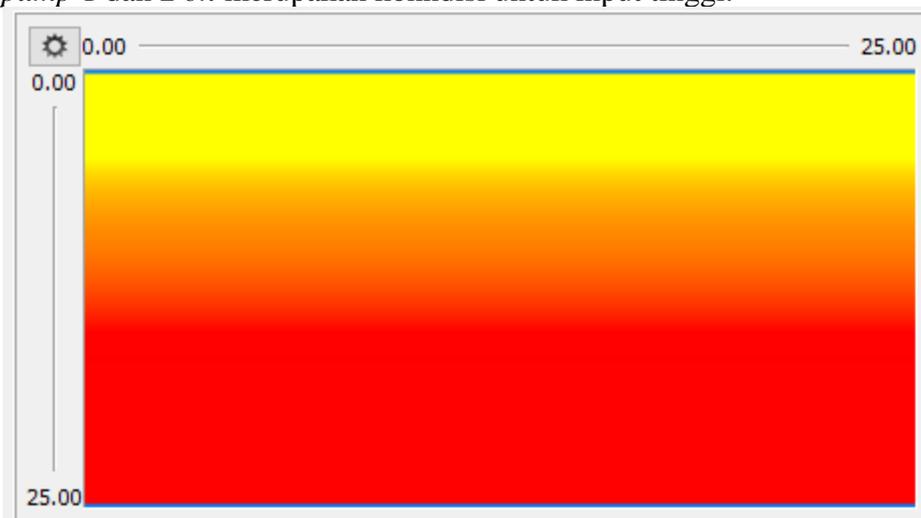
Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Himpunan Input (Kekeruhan)

Gambar 2. merupakan himpunan keanggotaan untuk input, terdapat tiga kriteria, rendah mempunyai *range* 0–10 merupakan kriteria kondisi air masih dikatakan bening, sedang mempunyai *range* 5–15 merupakan kriteria ke dua yang menggambarkan kondisi air agak keruh, dan tinggi mempunyai *range* 10–25 dan menggambarkan kondisi dimana air keruh sekali.



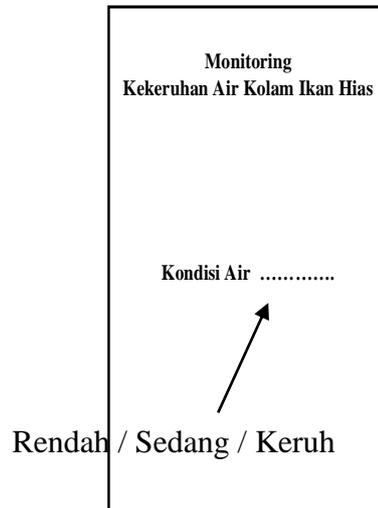
Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Himpunan Output (Water Pump 1 dan 2)

Gambar 3 merupakan output *fuzzy* sugeno, *water pump 1 on* merupakan output untuk kondisi rendah pada input, *water pump 2 on* merupakan output untuk kondisi input sedang dan *water pump 1 dan 2 on* merupakan konndisi untuk input tinggi.



Gambar 4. Hasil Output Fuzzy (Surface 2D)

Terdapat 3 warna berbeda yang diperlihatkan. Masing-masing wana inilah yang mewakili output *fuzzy* yang dibuat, seperti contoh wana mewah mengartikan bahwa output *fuzzy* adalah *water pump 1 dan 2* (nilai output adalah 5) jika tidak mencapai nilai 5 maka output tidak akan bekerja (kondisi *off*).



Gambar 5. Tampilan Monitoring Kekeruhan Air pada Kolam Ikan Hias

Gambar 5 merupakan tampilan pada android, tampilan tersebut hanya menunjukkan kondisi air saja dan tidak menunjukkan hasil output *fuzzy* nya. Tujuannya adalah memudahkan dalam memantau kondisi air pada kolam ikan sehingga peternak ikan hias hanya perlu untuk memberi makan saja.

### C. Pembahasan

Tahapan ini adalah analisis *fuzzy*, pengujian ini menggambarkan proses *fuzzy* yang dipakai dalam penelitian ini, nilai yang dipakai diambil secara acak untuk membuktikan proses *fuzzy* secara manual.

1. Menentukan Himpunan *Fuzzy*  
Variable input kekeruhan

Table 1. Input Variabel

Keterangan	Range
Rendah	0 – 10
Sedang	5 – 15
Tinggi	10 – 25

Fungsi keanggotaan (*membership function*) kekeruhan dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\mu_{Rendah} = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 10 \\ \frac{10-x}{10}; & 0 \leq x \leq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang} = \begin{cases} 0; & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 15 \\ \frac{x-5}{10-5}; & 5 \leq x \leq 10 \\ \frac{15-x}{15-10}; & 10 \leq x \leq 15 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi} = \begin{cases} 0; & x \leq 10 \text{ atau } x \geq 25 \\ \frac{x-10}{17,5-10}; & 10 \leq x \leq 17,5 \\ \frac{25-x}{25-17,5}; & 17,5 \leq x \leq 25 \end{cases}$$

Variabel output *water pump*

Table 2. Output Variabel

Keterangan	Range
Water Pump 1	1
Water Pump 2	3
Water Pump 1 dan 2	5

Fungsi keanggotaan (*membership function*) *water pump* yang kondisi *on* dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\mu_{Water Pump 1} = \begin{cases} 1; & x = 0 - 1 \\ 0; & x < 0 \text{ atau } x > 1 \end{cases}$$

$$\mu_{Water Pump 2} = \begin{cases} 1; & x = 2 - 3 \\ 0; & x < 2 \text{ atau } x > 3 \end{cases}$$

$$\mu_{Water Pump 1\&2} = \begin{cases} 1; & x = 4 - 5 \\ 0; & x < 4 \text{ atau } x > 5 \end{cases}$$

## 2. Menentukan Fungsi Implikasi

Beberapa proposisi (aturan) yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

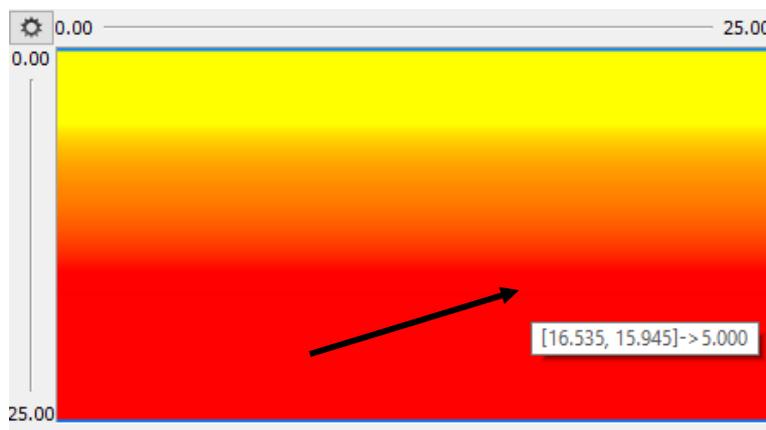
```
if Kekeruhan is Rendah then Water_Pump is Water_Pump_1
if Kekeruhan is Sedang then Water_Pump is Water_Pump_2
if Kekeruhan is Tinggi then Water_Pump is Water_Pump_1_dan_2
#-----
# Total rules: 3. Good Rules: 3. Bad Rules: 0.
# Rules successfully processed at 4:42.59 am (06/11/20)
# You may proceed to control the engine
```

Gambar 6. *Inference* atau *Fuzzy Rules*

Ada tiga *rules* yang dipakai untuk masing-masing keputusan. Karena output berupa *single tone* maka *rules* yang digunakan hanya ada tiga hal ini juga dipengaruhi kebutuhan akan eksekusi dari sebuah sistem.

## 3. Defuzzifikasi

Penegasan atau dikenal dengan defuzzifikasi merupakan penalaran dari penentuan himpunan *fuzzy* dan *inference* sistem. berikut merupakan penjelasan hasil defuzzifikasi Gambar 4.



Gambar 7. Contoh Hasil Defuzzifikasi

Penalaran metode sugeno hampir sama dengan Mamdani, namun yang berbeda disini adalah konsekuen (output) sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*. Melainkan berupa konstanta atau persamaan linier [5]. Pada Gambar 6 diperlihatkan bahwa input untuk kekeruhan adalah 16,535 dan 15,945 dan hasil defuzzifikasinya bernilai 5 yang artinya *water pump 1* dan *2 on*.

Untuk mendapatkan nilai defuzzifikasi kita bisa menggunakan dua pendekatan dengan menggunakan persamaan berikut:

- Model *Fuzzy* Sugeno Orde-Nol

$$IF (X_1 \text{ is } A_1) \cdot (X_2 \text{ is } A_2) \cdot (X_3 \text{ is } A_3) \cdot \dots \cdot (X_n \text{ is } A_n) \text{ THEN } z = k$$

Dengan  $A_i$  merupakan himpunan *fuzzy* ke I sebagai antensenden, dan  $k$  merupakan konstanta sebagai konsekuen.

- Model *Fuzzy* Sugeno Orde-Satu

$$IF (X_1 \text{ is } A_1) \bullet \dots \bullet (X_n \text{ is } A_n) THEN z = P_1 \times X_1 + \dots + P_n \times X_n + q$$

$A_i$  merupakan himpunan fuzzy ke  $i$  sebagai anteseden, dan  $P_i$  merupakan konstanta ke  $i$  dan  $q$  juga merupakan konstanta dalam konsekuen.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi sistem yang dibuat maka dapat disimpulkan:

1. Sistem untuk mengontrol kekeruhan bisa diimplementasikan untuk kolam ikan hias.
2. Jika dibandingkan perhitungan secara aplikasi dan manual akan terlihat perbedaan nilai, hal ini disebabkan pada pembulatan beberapa angka dibelakang koma.
3. Berdasarkan hasil simulai dapat terlihat ada tiga warna berbeda, masing-masing warna mewakili output untuk *fuzzy*. Warna kuning mewakili *water pump* 1, warna orange mewakili *water pump* 2 dan warna merah mewakili *water pump* 1 dan 2.
4. Untuk monitoring hanya menunjukkan nilai kekeruhan yang dibaca oleh sensor, sedangkan untuk jangkauan koneksi dengan android menggunakan bersifat *Local Area Network* (LAN).

#### REFERENSI

- [1] M. A. Sofia and H. Mustafidah, "Basis Data Fuzzy Model Tahani untuk Menentukan Jenis Pakan Ikan Berdasarkan Harga dan Kandungan Gizi Bahan Baku Pakan ( Fuzzy Database for Determining the Type of Fish Feed Based on Price and Nutrition Content of Raw Feed Using Tahani Model )," vol. III, no. November, pp. 143–155, 2015.
- [2] B. Prasetya, A. B. Setiawan, and B. F. Hidayatulail, "Fuzzy Mamdani Pada Tanaman Tomat Hidroponik (Mamdani Fuzzy on Hydroponics Tomato Plants)," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 228–263, 2019.
- [3] W. T. Dirgantara, H. Suyono, and O. Setyawati, "Sistem Peringatan Dini untuk Deteksi Kebakaran pada Kebocoran Gas Menggunakan Fuzzy Logic Control," *J. EECCIS*, vol. 11, no. 1, pp. 27–32, 2018.
- [4] A. J. Kuswinta, I. G. P. W. Wedashwara W, and I. W. A. Arimbawa, "Implementasi IoT Cerdas Berbasis Inference Fuzzy Tsukamoto pada Pemantauan Kadar pH dan Ketinggian Air dalam Akuaponik," *J. Comput. Sci. Informatics Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 65–74, 2019, doi: 10.29303/jcosine.v3i1.245.
- [5] S. Kusumadewi, "Artificial intelligence (teknik dan aplikasinya)," *Yogyakarta Graha Ilmu*, vol. 278, 2003.

# Terapan Prinsip Arsitektur Hijau pada Arsitektur Vernakular

Farida Murti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Arsitektur Universitas 17 Agustus 1945 (Untag) Surabaya  
Jalan Semolowaru 45 Surabaya

<sup>1</sup>\*faridamurti@untag-sby.ac.id

*Abstrak*— Penelitian ini menjelaskan bagaimana terapan prinsip arsitektur hijau menurut Brenda dan Robert Vale pada arsitektur vernakular dengan contoh kasus hunian masyarakat *Osing* yang terdapat di Desa Wisata Kemiren, Kecamatan Glagah, Kabupaten Banyuwangi. Arsitektur vernakular adalah arsitektur tanpa arsitek, maksudnya adalah arsitektur yang berasal dari lokasi setempat yang tumbuh, berkembang atas peran masyarakatnya sendiri, tanpa ada campur tangan arsitek. Permasalahan dari penelitian ini adalah bagaimana mengidentifikasi dan mendeskripsikan 6 prinsip arsitektur hijau : mengkonservasi energi, bekerja bersama iklim, penghargaan terhadap pengguna, membatasi sumber daya baru, penghargaan terhadap tapak dan holistik serta penerapannya pada studi kasus yang diteliti. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kualitatif. Hasil dari kajian ini adalah arsitektur hunian *Osing* sudah menerapkan prinsip-prinsip arsitektur hijau pada bangunan dan lingkungannya, meskipun prinsip berhuni mereka berdasarkan ketentuan adat dan kebiasaan yang dijalankan secara turun temurun.  
*Kata kunci*— Prinsip arsitektur hijau, arsitektur vernakular, Arsitektur *Osing*

*Abstract*— This study explains how to apply the principles of green architecture according to Brenda and Robert Vale to vernacular architecture with the example of the housing case of the *Osing* community in Kemiren Tourism Village, Glagah District, Banyuwangi Regency. Vernacular architecture is architecture without an architect, that is, architecture that comes from a local growing location. It is developed on the role of its own people, without any interference from the architect. The objectives of this research are how to identify and describe the 6 principles of green architecture and their application in case studies. The principles are: conserving energy, working with climate, respect for users, limiting new resources, respect for site and holistic. The research method used is descriptive qualitative. The result presents that *Osing's* residential architecture has applied the principles of green architecture to the building and its environment, even though the principle of their occupation is based on the provisions of customs and habits that have been carried out from generation to generation.

*Keywords*— Green architecture principles, vernacular architecture, *Osing* architecture

## I. PENDAHULUAN

Pembahasan tentang arsitektur hijau, pemahaman, dampak, model desain dan terapannya ke berbagai karya arsitektur modern, tradisional sudah banyak dibahas terutama dikaitkan dengan isu *global warming*. Beberapa *literature review* yang melihat korelasi antara konsep *green architecture* dengan konsep penataan ruang, cahaya dan udara pada rumah tradisional [1], Paradigma dan manifestasi arsitektur hijau dengan focus pada arsitektur hemat energi [2], Kajian prinsip arsitektur hijau pada bangunan perkantoran modern [3], Penerapan konsep green architecture pada bangunan perpustakaan berdasarkan beberapa variable mengacu pada GBCI seperti tepat guna lahan, efisiensi dan konservasi energi, konservasi air, kualitas udara & kenyamanan udara dalam ruang, dan manajemen lingkungan bangunan [4], Pengukuran indeks arsitektur hijau dengan studi kasus kampung adat [5]

Selanjutnya bagaimanakah penerapan arsitektur hijau pada arsitektur vernakular yang selama ini di pahami sebagai arsitektur rakyat?

### A. Prinsip-prinsip Arsitektur Hijau Brenda dan Robert Vale (1991) [6]

1. **Conserving Energy**. Yaitu bangunan memanfaatkan energi secara baik dan benar. Bangunan yang baik harus memperhatikan pemakaian energi sebelum dan sesudah bangunan dibangun. Desain bangunan harus mampu memodifikasi iklim dan dibuat beradaptasi dengan lingkungan bukan merubah kondisi lingkungan yang sudah ada.

2. **Working with Climate**. yaitu bangunan memanfaatkan kondisi alam, iklim dan lingkungan sekitar ke dalam bentuk serta pengoperasian bangunan

3. **Respect for User.** Yaitu bangunan harus memperhatikan kondisi pemakai baik pada tahap perencanaan dan pengoperasiannya
4. **Limiting New Resources.** Yaitu bangunan dirancang mengoptimalkan material yang ada dengan meminimalkan penggunaan material baru, dimana pada akhir umur bangunan dapat digunakan kembali untuk membentuk tatanan arsitektur lainnya.
5. **Respect for Site.** Yaitu bangunan beradaptasi pada kondisi tapaknya. Hal ini bertujuan keberadaan bangunan baik dari segi konstruksi, bentuk dan pengoperasiannya tidak merusak lingkungan sekitar
6. **Holistic.** Yaitu mendesain bangunan dengan semua prinsip menjadi satu dalam proses perancangan. Prinsip-prinsip *green architecture* pada dasarnya tidak dapat dipisahkan, karena saling berhubungan satu sama lain

## **B. Arsitektur Vernakular**

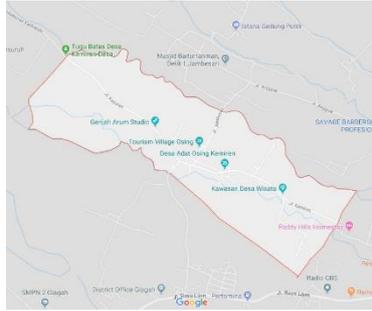
Istilah vernakular sendiri pertama kali diperkenalkan oleh Bernard Rudofsky tahun 1964 [7], melalui pameran yang bertema *Architecture without Architects di Museum of Modern Art (MoMA)*. *Term vernacular* ini sendiri berasal dari kata *verna* (dari bahasa Latin) yang artinya *domestic, indigenous, native slave*, atau *home-born slave*, dan dipilih oleh Rudofsky untuk mengklasifikasikan arsitektur lokal (umumnya berupa hunian) yang ditemukannya di berbagai belahan dunia. Dari sinilah selanjutnya dalam berbagai literatur kontemporer makna yang paling populer bagi arsitektur vernakular adalah arsitektur tanpa arsitek.

Arsitektur Vernakular pada hakekatnya dipandang sebagai “*anonymous, indigenous, naïve, naif, primitive, rude, popular spontaneous, local or folk based*”. (Victor Papanek - 1995 :114) [8] , sehingga memunculkan istilah arsitektur tanpa arsitek, maksudnya adalah arsitektur yang berasal dari lokasi setempat yang tumbuh, berkembang atas peran masyarakatnya sendiri, tanpa ada campur tangan arsitek. Secara garis besar, teori vernakular dijelaskan oleh Rudofsky (1964); Rapoport (1966); dan Papanek (1995) dalam satu kalimat “*Vernacular architecture underlines architecture with character of anonymity (memiliki karakter individu yang tidak ada patronnya); self build (menyesuaikan dengan ketrampilan, pengetahuan lokal, praktis yang dimiliki oleh masyarakatnya sendiri, dan tidak dibangun secara masal); sustainable sources (penggunaan material yang ada di lingkungan) and pragmatic of encountering environmental hindrances (diterjemahkan sebagai lingkungan alam, lingkungan buatan dan lingkungan sosial)*”

## **C. Arsitektur Osing**

Mendengar kata arsitektur Osing, mungkin bagi sebagian orang menimbulkan tanda tanya, seperti apa wujud arsitekturnya, siapa yang menempati hunian tersebut dan sederet pertanyaan lainnya. Arsitektur adalah salah satu hasil kebudayaan suku Osing atau lebih dikenal sebagai *wong Osing* [9] yang oleh beberapa kalangan dan hasil penelitian dianggap sebagai penduduk asli Banyuwangi atau disebut *laros* (akronim daripada *Lare Osing*, wikipedia). Terletak di Banyuwangi, sebuah wilayah di ujung paling Timur pulau Jawa yang juga dikenal sebagai Blambangan yang merupakan keturunan raja Blambangan yang berdiri pada abad 18-20.

Salah satu komunitas Osing yang masih melestarikan tradisi dan budayanya terdapat di desa Kemiren yang berada di kecamatan Glagah. Saat ini, desa tersebut dinobatkan sebagai desa adat dan desa wisata. Arsitektur *Osing* dapat dikelompokkan ke dalam arsitektur vernakular.



Gambar 1 : Desa Kemiren, Kecamatan Glagah, Kabupaten Banyuwangi

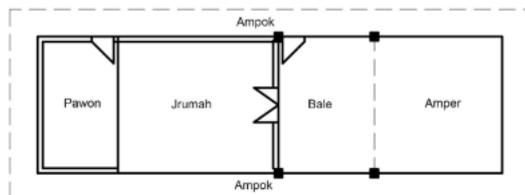


Gambar 2: Gerbang masuk desa Kemiren



Gambar 3 : Suasana deretan hunian yang saling berhadapan

Organisasi ruang rumah osing, terdiri dari :



Gambar 4. Denah Rumah Adat Suku Osing

1. *Bale* adalah bagian depan rumah yang berfungsi sebagai ruang menjamu tamu dan ruang melakukan kegiatan adat.
2. *Jrumah* adalah bagian dalam rumah yang privat disebut dengan ruang keluarga. Di area ini terdapat area-area tidur keluarga, area tidur tidak dibatasi menggunakan dinding tetapi hanya ditandai dengan penggunaan selambu pada tempat tidur. Dalam njerumyah terdapat empat tiang (*saka tepas*) melambangkan musyawarah dan penyatuan kedua belah pihak orang tua saat anak-anak mereka menikah.
3. *Pawon* adalah merupakan area servis yaitu dapur berfungsi sebagai tempat memasak. Selain sebagai tempat memasak pawon juga berfungsi sebagai area melakukan pekerjaan rumah tangga, seperti mencuci, menyetrika, dan sejenisnya.
4. *Amper* adalah bagian rumah paling depan yang biasanya disebut teras. Teras ini berfungsi sebagai pekarangan yang biasa ditanami bunga atau pohon berbuah.
5. *Ampok* : Teras samping

Ada tiga karakter bentuk arsitektur hunian Osing yang dibedakan berdasarkan pada bentuk atapnya yaitu :

Tipe *cerocogan* : Memiliki atap dua yang melambangkan bahwa penghuninya adalah keluarga muda (muda –mudi yang baru saja menikah) atau keluarga yang ekonominya relatif rendah



Gambar 5. Tipe rumah *cerocogan*

Tipe *baresan*: Memiliki atap tiga yang melambangkan bahwa pemiliknya sudah mapan, secara materi berada di bawah rumah tikel balung



Gambar 6. Tipe rumah *baresan*

Tipe *tikel balung* : Mempunyai ciri beratap empat, hal ini melambangkan bahwa penghuninya sudah mapan



Gambar 7. Tipe rumah *tikel balung*

Selanjutnya bagaimanakah terapan arsitektur hijau menurut Brenda dan Robert Vale (1991) pada arsitektur vernakular dengan contoh kasus arsitektur hunian Osing?

## II. METODE

Metode penelitian adalah kualitatif deskriptif [10] . Data dikumpulkan melalui observasi langsung dan wawancara. Observasi secara langsung digunakan untuk merekam aspek fisik arsitektural dan non fisik . wawancara dilakukan kepada warga, pokdarwis dan arsitek muda Banyuwangi. Obyek penelitian adalah hunian masyarakat asli Osing yang terdapat di desa wisata yang sengaja di konservasi dan masih dipertahankan keasliannya.

Analisis dilakukan dua tahap, yaitu tahap pertama adalah merekam, mengidentifikasi, dan mendeskripsikan 6 prinsip arsitektur hijau Brenda dan Robert Vale (1991): mengkonservasi energi, bekerja bersama iklim, penghargaan terhadap pengguna, membatasi sumber daya baru, penghargaan terhadap tapak dan holistik yang akan digunakan untuk mengambil data dan menganalisis. Tahap kedua adalah mengidentifikasi penerapan 6 prinsip arsitektur hijau pada studi kasus yang diteliti. Setelah melakukan analisis dua tahap maka diinterpretasikan atau ditafsirkan hasilnya.

## III. PEMBAHASAN

Pembahasan berikut ini adalah mengeksplorasi keterkaitan antara 6 prinsip arsitektur hijau menurut Brenda dan Robert Vale (1991) pada arsitektur hunian Osing. Masing-masing prinsip tersebut akan di tinjau satu persatu, bagaimana terapannya pada obyek yang di studi.

### 1. *Conserving Energy.*

Pembentuk hunian arsitektur Osing terbuat dari material alami seperti kayu, bambu, batu bata dan genteng tanah liat yang mudah didapat dari potensi alam setempat. Untuk mempersiapkan elemen bangunan dikerjakan secara manual menggunakan tenaga masyarakat dan dikerjakan secara bergotong royong. Hunian asli Osing, sama sekali tidak mengenal paku/besi, karena sebagai teknik pengikatnya menggunakan pasak.

Peralatan yang digunakan juga sederhana, yaitu peralatan yang biasa digunakan untuk peralatan pertanian dan perkebunan. Proses pembangunan tidak membutuhkan waktu lama, karena tidak banyak ketentuan yang terkait dengan ukuran ruang, jumlah ruang dan luasan ruang. Adapun bentuk hunian tergantung pada kebutuhan penghuni pada saat tersebut, sehingga ibaratnya rumah tumbuh, karena nantinya hunian memiliki beberapa varian, gabungan dari hunian tipe cerocogan, baresan dan tikel balung.

Usia bangunan relatif pendek bila dibandingkan dengan bangunan batu, karena material yang digunakan mudah lapuk karena terbuat dari bambu dan kayu. Sisa material bangunan yang sudah lapuk dan tidak dapat digunakan lagi, dimanfaatkan sebagai bahan bakar tungku perapian tanah liat untuk memasak yang menggunakan bahan bakar kayu.

Hunian menggunakan pencahayaan alami pada siang hari, karena dinding bangunan terbuat dari anyaman bambu yang disela-selanya masih memungkinkan cahaya matahari masih bisa menerangi ruang dalam meskipun intensitasnya kecil, sehingga suasana ruang dalam relatif terang. Pencahayaan buatan digunakan pada malam hari berupa penerangan lampu dengan bakar minyak.

Sedangkan untuk penghawaan secara alami pada siang dan malam hari melewati sela-sela dinding yang berfungsi sebagai sirkulasi udara dari luar ke dalam ruang. Selain itu pada bagian depan bangunan terdapat bukaan berupa pintu, sedangkan jendela di buat untuk hunian yang usianya relatif baru. Di satu sisi masyarakat Osing tidak menolak modernitas. Pada saat ini, ada yang sudah menggunakan pencahayaan dan penghawaan buatan.



Gambar 8 : Suasana bagian amper dan bale kondisi terang dan terbuka



Gambar 9: Penerangan alami



Gambar 10: Perangkat memasak di pawon menggunakan bahan bakar kayu sisa bangunan

## 2. *Working with Climate.*

Penataan massa bangunan berbentuk linear dan saling berdampingan satu hunian dengan hunian lainnya kurang lebih 1-2 meter yang digunakan sebagai jalur sirkulasi dan sekaligus sebagai potensi untuk pencahayaan dan penghawaan. Kedekatan antar massa bangunan juga memberikan keuntungan memberikan bayangan naungan satu dengan lainnya.

Hunian Osing memiliki orientasi kosmologis, yaitu utara selatan, dibawah pengaruh kepercayaan Hindu Bali pada masa tersebut, dimana orientasi terbaik menghadap kaja-kangin sebelum pengaruh Islam untuk selanjutnya memberikan perubahan. Pada saat ini arah orientasi yang lebih didasarkan pada kemudahan pencapaian dan sirkulasi.



Gambar 11 : Orientasi massa bangunan mengarah pada jalan



Gambar 12 : Hunian yang saling berdampingan dan memiliki jarak satu dengan lainnya

### 3. *Respect for User.*

Arsitektur hunian Osing dikategorikan sebagai arsitektur vernakular, yaitu arsitektur yang berasal, tumbuh dan berkembang dari rakyat dan untuk rakyat dan oleh karenanya disebut rumah rakyat. Demikian juga untuk tipologinya mulai dari tipe 2 atap, 3 atap dan 4 atap, yang untuk selanjutnya berkembang menjadi rangkaian ke 3 bentuk atap tergantung dari kemampuan pemiliknya. Apapun tipe bangunannya tetap menggunakan material alami yang berasal dari potensi setempat.

### 4. *Limiting New Resources.*

Sebagaimana konsep arsitektur vernakular *sustainable sources* (penggunaan material yang ada di lingkungan), yang selaras dengan pemahaman arsitektur hijau *Limiting New Resources* (mengoptimalkan material yang ada dengan meminimalkan penggunaan material baru dimana pada akhir umur bangunan dapat digunakan kembali untuk membentuk tatanan arsitektur lainnya), maka material pembentuk hunian Osing menggunakan material alami yang banyak terdapat di tempat tersebut, seperti :

- a. Kayu : sebagai material konstruksi pembentuk rangka pembentuk bangunan kolom, balok, atap dan dinding



Gambar 13 : Material alami kayu pembentuk rangka dan elemen bangunan



Gambar 14 : Material alami kayu pembentuk elemen dinding bangunan

b. Bambu ; sebagai material atap, dinding



Gambar 15 : Material anyaman bambu pembentuk elemen dinding bangunan



Gambar 16: Material anyaman bambu pembentuk elemen atap

c. Tanah liat : sebagai atap genteng



Gambar 17: Material atap genteng yang terbuat dari tanah liat

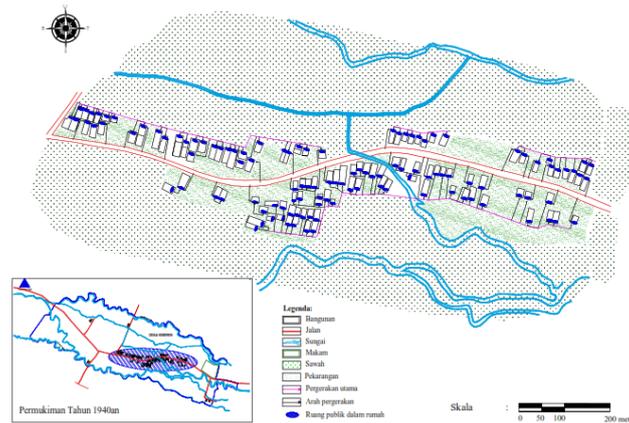
d. Batu bata : sebagai penutup lantai



Gambar 18: Material batu bata pembentuk lantai

**5. *Respect for Site.***

Zonasi pembagian wilayah antara hunian dan fungsi lain seperti untuk sawah, ladang, hutan, terbagi dengan jelas, karena mayoritas mereka adalah petani dan peladang. Letak lahan pertanian berdekatan dengan rumah tinggalnya, sehingga mudah untuk akses dan pengelolaannya. Prosentase untuk hunian relatif lebih kecil dibandingkan dengan lahan pertaniannya.



Gambar 19 : Zonasi desa Kemiren

Hunian berada sepanjang akses jalan utama dan berorientasi ke jalan tersebut, berjajar membentuk garis linear. Letak hunian berada pada daerah yang datar dan aman, menyesuaikan dengan bentuk kontur lahan yang dibiarkan tetap sesuai aslinya. Kontur lahan yang tidak aman untuk hunian dimanfaatkan sebagai lahan perkebunan dengan jenis tanaman kemiri dan duren yang menjadi sumber utamanya sehingga nama desanya diambil dari nama tanaman tersebut. Kemiren

Sungai Sobo yang berada pada sisi selatan desa dan sungai Gulung yang berada pada sisi utara desa, menjadi sumber mata air yang dimanfaatkan untuk irigasi sawah. Oleh karenanya desa kemiren adalah desa yang sangat subur.

#### 6. *Holistic*.

Yaitu mendesain bangunan dengan semua prinsip menjadi satu dalam proses perancangan. Prinsip-prinsip *green architecture* pada dasarnya tidak dapat dipisahkan, karena saling berhubungan satu sama lain

### IV. HASIL

Berdasarkan pembahasan keterkaitan antara prinsip-prinsip arsitektur hijau pada arsitektur hunian Osing, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

#### 1. *Conserving Energy*.

Penggunaan material lama / bekas berguna untuk memperpanjang usia material, terutama kayu. Kalau material bambu relatif lebih singkat usia pakainya. Material yang tidak digunakan akan berakhir di dapur sebagai bahan bakar tungku perapian untuk memasak. Tetapi asap hasil pembakaran dari tungku, sebenarnya bermanfaat untuk memelihara material bangunan itu sendiri dari kelapukan akibat serangga atau rayap. Asap tersebut tetap dapat disalurkan melalui celah-celah anyaman dinding bambu dan ruang di bawah atap.

Desain bangunan yang semi terbuka pada bagian depan, dan penggunaan dinding bercelah yang terbuat dari anyaman bambu, memungkinkan pencahayaan dan penghawaan buatan tidak diperlukan, hanya pada kondisi tertentu saja penggunaan pencahayaan alami digunakan. Sehingga pemanfaatan energi relatif kecil dan memungkinkan prinsip arsitektur hijau dapat diterima.

## **2. *Working with Climate***

Bentuk bangunan yang saling berdekatan dan berjarak, serta orientasi utara selatan, adalah bentuk adaptasi terhadap iklim setempat yang memberikan pengaruh kenyamanan dalam ruang siang ataupun malam hari.

## **3. *Respect for User.***

Arsitektur hunian adalah cerminan dari kebutuhan dan tata nilai yang dianut oleh masyarakatnya. Masyarakat dan pengguna dilibatkan sepenuhnya pada tahap persiapan dan pembangunan huniannya. Sehingga ada rasa memiliki. Peran serta masyarakat yang membantu proses pembangunan yang dilakukan secara gotong royong juga member manfaat yaitu semakin kuatnya hubungan sosial kemasyarakatan.

## **4. *Limiting New Resources***

Penggunaan material pembentuk hunian dan perabot menggunakan bahan alami : kayu, bambu, batu bata, lumpur yang diperoleh dari lingkungan setempat yang selaras dengan mengoptimalkan material yang ada dengan meminimalkan penggunaan material baru. Karena jenis materialnya mudah mengalami lapuk, perlu perawatan dengan cara mengasapkan (secara tidak langsung) yang berasal dari tungku masak dengan bahan bakar kayu di pawon (dapur). Material yang masih bisa didaur ulang, dipergunakan kembali di bangunan, sedangkan yang sudah tidak layak, dijadikan bahan bakar tungku perapian. Oleh karenanya tidak ada material yang terbuang sia-sia.

## **5. *Respect for Site***

Massa hunian berorientasi pada akses jalan eksisting, sementara yang hunian lama masih mengikuti orientasi makrokosmos, sehingga arah massa menghadap ke utara dan ke selatan. Massa dibangun di permukaan tanah yang datar atau memiliki kemiringan yang landai, sedangkan kontur yang curam digunakan untuk areal perkebunan.

## **6. *Holistic***

Semua pelaksanaan mulai dari perencanaan, pembangunan dan setelah dihuni, diatur secara adat dan diketahui oleh seluruh masyarakat.

Dari pembahasan dan hasil, arsitektur hunian Osing dapat membuktikan bahwa prinsip-prinsip arsitektur hijau ternyata selaras dengan prinsip-prinsip arsitektur vernakular. Konteks waktu menjadi salah satu faktor yang perlu dijadikan variabel untuk menguji terapan prinsip-prinsip tersebut.

## **V. KESIMPULAN**

Prinsip arsitektur vernakular yang berasal dari lokasi setempat yang tumbuh, berkembang atas peran masyarakatnya sendiri, menyesuaikan dengan ketrampilan, pengetahuan lokal, praktis yang dimiliki oleh masyarakatnya sendiri, penggunaan material yang ada di lingkungan, selaras dengan lingkungan alam, lingkungan buatan dan lingkungan sosial, ternyata sejalan dan selaras dengan prinsip-prinsip arsitektur hijau menurut Brenda dan Robert Vale. Keduanya dapat disimpulkan merupakan prinsip yang berpijak pada arsitektur yang berkelanjutan. Hal ini sudah dibuktikan terapan arsitektur hijau ini pada arsitektur hunian Osing di desa adat Kemiren, kecamatan Glagah kabupaten Banyuwangi.

Meskipun secara periodisasi waktu, prinsip-prinsip arsitektur hijau masih relatif baru. Bisa jadi prinsip tersebut sebenarnya sudah mengakar lama dalam kehidupan masyarakat sejak masa lalu, dan ibaratnya pada masa kini, kita diajak kembali pada kearifan lokal, menghargai alam dan menggunakannya sebatas yang dibutuhkan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada :

1. Masyarakat desa Kemiren yang dengan sangat terbuka menerima kehadiran kami dan berbagi pengetahuan tentang keseharian berdasar nilai-nilai yang dianut, mengizinkan mengambil dokumentasi hunian dan lingkungannya, terutama ketua pokdarwis desa wisata kemiren
2. Arsitek muda Banyuwangi yang memberikan informasi seputar arsitektur Osing
3. Para mahasiswa peserta mata kuliah Sejarah Arsitektur Timur Untag Surabaya yang membantu mendokumentasi dan mengumpulkan data fisik dan non fisik
4. Rekan kerja ibu Mufidah dan ibu Uniek Praptiningrum yang juga menemani pada saat pelaksanaan kuliah lapangan.



## REFERENSI

- [1] Anisa. "Aplikasi Green Architecture Pada Rumah Tradisional", Jurnal Teknologi, vol. 6, No.2, pp 87-94 Juli 2014
- [2] Priatman, Jimmy. "Paradigma dan Manifestasi Arsitektur Hijau", Dimensi Teknik Arsitektur, vol.30, No.2, pp.167-175, Desember 2002.
- [3] Mauludi, Achmad Fikri dkk, "Kajian Prinsip Arsitektur Hijau Pada Bangunan Perkantoran (Studi Kasus *United Tractor Head Office* dan Menara BCA), Sinektika Jurnal Arsitektur, vol.17, No.2, 155-161, Juli 2020.
- [4] Cahyani, Oni Indah, "Penerapan Konsep Green Architecture Pada Bangunan Perpustakaan Universitas Indonesia, Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi, vol.17, No.2, pp. 76-86, Desember 2018.
- [5] Ramadhan, Try, " Pengukuran Indeks Arsitektur Hijau (Green Architecture) Pada Aspek Sumber Siklus Material (Studi Kasus : Kampung Adat Dukuh di Kabupaten Garut dan Kampung Naga di Kabupaten Tsikmalaya, Thesis, Universitas Pendidikan Indonesia, Jakarta, 2014.
- [6] Vale, Robert dan Brenda (1991). *Green Architecture Design to Sustainable Future*. Thames and Hudson, London
- [7] Rudolphsky, Bernard (1964) *Architecture Without Architect*. Doubleday & Company, Inc., Garden City, New York
- [8] Papanek, Victor (1995) *The Green Imperative. Ecology and Ethics in Design and Architecture*. Thames and Hudson., pp.113-138.
- [9] [https://id.wikipedia.org/wiki/Rumah\\_Osing](https://id.wikipedia.org/wiki/Rumah_Osing)
- [10] Whitney, F. (1960). *The Element Of Research*. Prentice-Hall, Inc, New York

# Prinsip Rancangan *Double-Skin Facade* Pada Bangunan Publik Menggunakan Motif Batik Jawa Timur

Razqyan Mas Bimatyugra Jati<sup>1\*</sup>, Adisti Safrilia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Jurusan Arsitektur Universitas Merdeka Malang  
Jalan Puncak Jaya No 36 Malang Indonesia*

\*jati@unmer.ac.id (penulis korespondensi) (alamat email)

*Abstrak*— Upaya untuk menjaga, melestarikan dan menghargai eksistensi batik dapat dilakukan dalam bidang arsitektur dengan mewujudkannya ke dalam bangunan. Untuk mewujudkan motif batik ke dalam *double-skin facade* bangunan, melibatkan persepsi visual. Salah satu unsur yang mempengaruhinya adalah cahaya. Seperti diketahui Indonesia selalu disinari cahaya matahari sepanjang tahun. Fenomena yang ada seringkali cahaya alami (*sunlighting*) yang menyinari bangunan berlebihan. Oleh karena itu perlu *shading device* berupa *double-skin facade* bangunan agar membuat nyaman pengguna bangunan. Upaya ini dilakukan untuk menghargai eksistensi batik dalam bidang arsitektur yakni menggabungkan motif batik sebagai desain *double-skin facade* bangunan umum. Sehingga diharapkan identitas lokal bangunan akan terlihat. Dalam proses studi nantinya dilakukan beberapa tahapan terkait studi pustaka, pengambilan parameter operasional, melakukan komparasi bangunan yang menerapkan *double-skin facade* bangunan dengan motif batik hingga mampu memberikan kriteria atau rekomendasi motif batik yang dapat diterapkan ke dalam desain *double-skin facade* bangunan dengan motif batik. Motif batik Jawa Timur dipilih karena motifnya yang beragam dan sesuai dengan kriteria desain *double-skin facade* bangunan, sehingga terpilihlah motif batik surya kawung dan kembang sruni yang diharapkan dapat menjadi identitas lokal bangunan di Jawa Timur.

*Kata kunci*— arsitektur hijau, pencahayaan alami, motif batik, *double-skin facade*, dan bangunan publik.

*Abstract*— Efforts to maintain, preserve, and appreciate the existence of batik can be made in the field of architecture by transforming it into buildings. To make the batik motif into the *double-skin facade* of the building involves visual perception. One of the elements that influence it is light. As is well known, Indonesia is always exposed to sunlight throughout the year. The phenomenon that exists is often excessive natural light (*sunlighting*) illuminating the building. Therefore, it is necessary to have a *shading device* in the form of a secondary building skin to make building users comfortable. This effort is made to appreciate the existence of batik in the field of architecture by combining batik motifs as *double-skin facade* designs for public buildings. So it is expected that the local identity of the building will be seen. In the study process, several stages are carried out related to literature study, taking operational parameters, making comparisons of buildings that apply *double-skin facade* to buildings with batik motifs so that they can provide criteria or recommendations for batik motifs that can be applied to *double-skin facade* designs of buildings with batik motifs. The East Javanese batik motif was chosen because of its various motifs and following the *double-skin facade* design criteria of the building so that the *kawung* and *kembang sruni* batik motifs were chosen which are expected to become the local identity of buildings in East Java.

*Keywords*— green architecture, natural lighting, batik motifs, *double-skin facade*, and public buildings.

## I. PENDAHULUAN

Permasalahan ketidaknyamanan visual yang diakibatkan oleh masuknya cahaya matahari yang berlebihan ke dalam bangunan umum di daerah beriklim tropis lembab merupakan permasalahan yang sering ditemui. Di dalam dunia arsitektur permasalahan ini dapat dipecahkan dengan memberikan *double-skin facade* atau kulit bangunan / fasad kedua yang bertujuan untuk mereduksi cahaya datang yang berlebihan, sehingga *double-skin facade* dapat meningkatkan kenyamanan visual dalam bangunan. Menurut Hendriksen, Sorensen and Aaqvist Transparansi, *double-skin facade* dapat meningkatkan pandangan ke luar bangunan yang lebih baik dibandingkan dengan lapisan fasad tunggal. Selain itu, *double-skin facade* ini dapat dianalogikan sebagai “baju” yang menyelimuti bangunan, sehingga berperan dalam melindungi bangunan dari cahaya yang berlebihan yang secara tidak langsung *double-skin facade* juga dapat memberikan citra pada bangunan. Pemberian citra bangunan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang ada di beberapa bangunan di daerah yang dirasa kurang adanya nilai lokalitas atau budaya yang mencirikan masing-masing daerah.

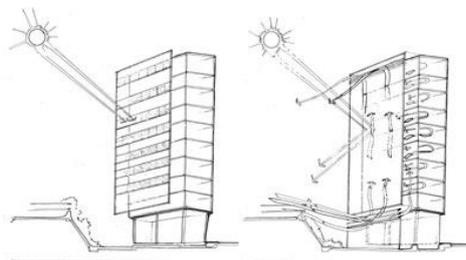
Keragaman budaya di daerah Jawa Timur pada umumnya memiliki ragam hias yang hampir dimiliki beberapa daerah lain yaitu batik. Sedari dulu batik memberikan citra yang khas bagi pemakainya. Oleh karenanya kolaborasi antara *double-skin facade* yang dapat memberikan citra pada bangunan dengan batik yang juga memberikan citra yang khas pada pemakainya dipandang perlu karena nantinya mampu memberikan citra bangunan yang sesuai dengan karakter budaya setempat.

Maka dengan dilakukan studi motif batik Jawa Timur yang sesuai dengan kriteria desain *double-skin facade* pada bangunan dapat menyelesaikan dua permasalahan sekaligus yang saat ini terjadi beberapa bangunan di Jawa Timur yaitu *double-skin facade* sebagai pereduksi cahaya matahari dan *double-skin facade* untuk meningkatkan citra identitas muatan lokal bangunan Jawa Timur.

Dalam mencari variabel/parameter operasional dalam kriteria desain *double-skin facade* bangunan umum dengan menggunakan motif batik jawa timur, maka diperlukan kajian teori keilmuan tentang *double-skin facade* bangunan, pencahayaan alami sebagai sumber cahaya yang masuk dan motif batik jawa timur.

### **Double-Skin Façade**

Pengertian *double-skin facade* (kulit atau lapis kedua) adalah lapisan kedua pada fasad bangunan. Setelah dinding, jendela, skylight, dan elemen lain, di luar dinding terluar bangunan itu terdapat lapisan lain yang dipasang ke dinding.



Gambar 1. Ilustrasi pemakaian *double-skin facade* pada bangunan

Dalam keilmuan sains bangunan, *double-skin facade* ini termasuk ke dalam bagian pencahayaan bangunan sebagai pencegah masuknya cahaya alami (*sunlighting*) ke dalam bangunan. Untuk mencegah masuknya cahaya alami ke dalam bangunan secara berlebihan maka dibutuhkan *shading device*. *Shading device* ini terbagi menjadi empat macam yaitu :

1. *Shading device* horisontal
2. *Shading device* vertikal

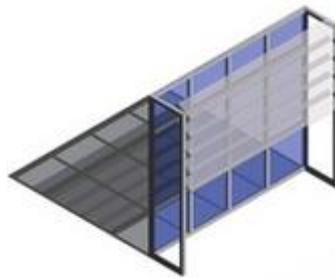
3. Tabir/tirai termasuk *secondary skin*

4. *Self shading*

Fasad *second skin* adalah suatu wujud konstruksi selimut bangunan, terdiri dari dua permukaan transparan maupun tidak transparan yang dipisahkan oleh rongga [1]. Tiga unsur utama yang termasuk dalam definisi ini dijelaskan sebagai berikut:

- Pembangunan sampul, (atrium, kaca ventilasi rumah dan finishing koridor yang bersifat mengkilap dikecualikan)
- Transparansi permukaan pelapis dinding
- Rongga aliran udara (konstruksi jendela ganda dan konstruksi kedap udara yang transparan dikecualikan). Perlu dicatat bahwa dalam solusi adaptasi tertentu, rongga dapat ditutup untuk menghindari adanya ventilasi.

Manfaat penggunaan *double-skin façade* adalah mampu menangkal sinar matahari langsung. Meskipun daya tangkalnya tidak 100%, namun kulit terluar bangunan ini cukup optimal menahan laju suhu panas matahari yang dapat merusak jendela, termasuk dinding wajah bangunan [2].



Gambar 2. Hasil masuknya cahaya dengan menggunakan *double-skin façade* pada jendela

Penempatan *double-skin facade* pada umumnya diletakkan di area bukaan jendela, lubang angin, dan pintu menuju balkon karena fungsinya sebagai penghias atau pemberi citra pada bangunan.



Gambar 3. Ilustrasi komponen pada *double-skin facade* dengan material kaca

Konsep fasad *second skin* sebagai sepasang kulit bangunan yang dipisahkan oleh koridor udara dengan lebar mulai dari 20 cm hingga beberapa meter [3]. Rongga terhubung dengan udara luar sehingga jendela dari fasad interior dapat dibuka, bahkan dalam kasus gedung-gedung tinggi berpedoman pada tekanan angin, memungkinkan adanya ventilasi alami dan pendinginan termal massa bangunan pada malam hari [4].

### **Pencahayaan Alami**

Secara prinsip dalam strategi desain pencahayaan alami ditentukan beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya suatu penerangan dalam suatu bangunan, seperti : arah sumber datangnya cahaya matahari, penzanaan ruangan dan *lay-out* bangunan, aspek pemantulan dan pembentuk daerah bayangan.

Selain faktor diatas ada beberapa cara memasukkan cahaya alami ke dalam bangunan, yaitu orientasi bangunan karena Indonesia terletak di garis khatulistiwa maka Indonesia relatif stabil menerima cahaya, sehingga arah datang sinar matahari dari timur dan tenggelam pada sisi barat akan terjadi sepanjang waktu. Oleh karenanya arah hadap bangunan terhadap arah datang sinar matahari begitu dipertimbangkan. Selain itu orientasi bangunan disesuaikan dengan tujuan perancangan dan kebutuhan cahaya pada ruang tertentu [5]. Salah satu contohnya pada bangunan museum kebutuhan cahaya difungsikan untuk memberikan kenyamanan visual pada informasi yang ada pada museum tersebut.

Untuk memasukkan cahaya dapat dimasukkan ke dalam ruangan melalui tiga bagian yaitu melalui bagian samping, bagian atas, dan bagian bawah [5]. Hal ini dapat menjadi rujukan dalam rancangan *double-skin façade* pada bangunan.

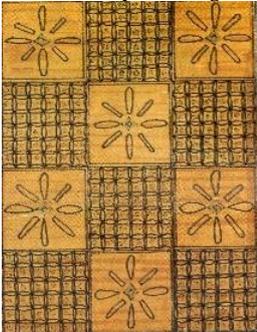
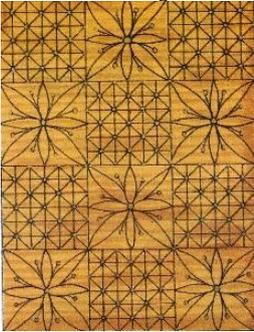
### **Ragam dan Karakteristik Motif Batik Jawa Timur**

Secara etimologi, kata batik berasal dari bahasa Jawa, “amba” yang berarti lebar, luas, kain; dan “titik” yang berarti *titik* atau *matik* (kata kerja membuat titik) yang kemudian berkembang menjadi istilah “batik”, yang berarti menghubungkan titik-titik menjadi gambar tertentu pada kain yang luas atau lebar atau “menggambar titik”. Batik memiliki struktur penyusun yang terdiri atas ornamen utama, ornamen pelengkap dan isen/latar [6]. Ragam motif batik Jawa Timur dapat dikategorikan menjadi 9 (sembilan), menurut variasi motifnya [7]. Kesembilan kategori tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) motif klasik,
- 2) motif kontemporer berbasis potensi alam laut sebagai komoditas,
- 3) motif kontemporer berbasis potensi alam daratan sebagai komoditas (alam daratan berbasis tumbuhan dan buah, termasuk di dalamnya adalah bunga dan potensi alam daratan berbasis satwa),
- 4) motif kontemporer berbasis potensi sosial dan ekonomi sebagai komoditas,
- 5) motif kontemporer berbasis ikon daerah,
- 6) motif kontemporer berbasis dokumentasi atau catatan peristiwa,
- 7) motif kontemporer berbasis catatan sejarah,
- 8) motif kontemporer berbasis ide kreatif bebas,
- 9) motif pelestarian budaya di luar batik.

Tabel 1. Motif batik Jawa Timur beserta karakteristiknya

No.	Motif Batik Klasik Jawa Timur	Karakteristik Motif Batik
-----	-------------------------------	---------------------------

1.	<p style="text-align: center;">Batik Merak Ponorogo</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simbol Burung Merak dominan (ciri khas Ponorogo)</li> <li>2. Di dominasi keseimbangan asimetri</li> <li>3. Pola batik menyebar</li> </ol>
2.	<p style="text-align: center;">Batik Cengkih Trenggalek</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simbol bunga cengkih dominan (ciri khas Trenggalek)</li> <li>2. Pola berulang (repetisi) dominan</li> <li>3. Keseimbangan simetri</li> </ol>
3.	<p style="text-align: center;">Batik Anjuk Ladang Nganjuk</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simbol prasasti anjuk ladang dominan (ciri khas Nganjuk)</li> <li>2. Pola berulang (repetisi) dominan</li> <li>3. Keseimbangan simetri</li> </ol>
4.	<p style="text-align: center;">Batik Surya Kawung</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simbol Surya Kawung untuk kegiatan upacara</li> <li>2. Pola berulang (repetisi) dominan</li> <li>3. Keseimbangan simetri</li> </ol>
5.	<p style="text-align: center;">Batik Kembang Srani</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simbol untuk para bangsawan</li> <li>2. Pola berulang (repetisi) dominan</li> <li>3. Keseimbangan simetri</li> </ol>
6.	<p style="text-align: center;">Batik Sekar Jagad Blitar</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simbol Bunga Rossela dominan (ciri khas Blitar)</li> <li>2. Pola berulang (repetisi) dominan</li> <li>3. Keseimbangan asimetri</li> </ol>

		
7.	Batik Batang Bambu Bojonegoro 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simbol Batang bambu dominan (ciri khas Bojonegoro)</li> <li>2. Pola berulang (repetisi) dan menyebar dominan</li> <li>3. Keseim-bangan simetri</li> </ol>
8.	Batik Kismis Pamekasan 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simbol Buah kismis dominan (ciri khas Blitar)</li> <li>2. Pola berulang (repetisi) dengan sulur-sulur daun dominan</li> <li>3. Keseim-bangan asimetri</li> </ol>

Ragam motif batik Jawa Timur pada dasarnya sangat beragam. Hal ini dikarenakan hampir di setiap wilayah kota/kabupaten terdapat pusat-pusat produksi batik. Keberagaman motif dapat berkenaan dengan yang klasik ataupun yang kontemporer. Ragam klasik mengacu pada motif yang sudah mengakar, turun-temurun, dan standar, sehingga bentuknya tetap. Adapun motif kontemporer mengacu pada bentuk-bentuk pengekspresian mutakhir, terutama dikarenakan oleh ciri khas (kekhasan) daerah (misalnya terkait dengan karakter alam, komoditas unggulan daerah).

### Parameter Operasional

Kriteria yang digunakan dalam upaya untuk memberikan citra identitas lokal pada bangunan dengan menggunakan motif batik jawa timur pada umumnya memiliki beberapa kriteria sebagai berikut :

- a. Motif batik yang menyesuaikan karakter yang khas pada setiap daerah
- b. Umumnya menggunakan prinsip desain perulangan dalam pola motif batiknya.

Dalam pemberian citra pada bangunan dapat menggunakan *double-skin façade* yang dapat berfungsi sebagai baju/selimit bangunan. Sehingga penggabungan pola motif batik dengan *double-skin façade* bangunan dirasa mampu untuk memberikan citra daerah lokal pada bangunan. Berikut beberapa kriteria yang mempengaruhi desain *double-skin façade* bangunan tersebut :

1. Arah orientasi bangunan
2. Penempatan *double-skin façade* pada bangunan
3. Jarak dengan kulit terluar pada bangunan
4. Pola dan Material *double-skin façade* yang digunakan
5. Aktivitas pelaku

## II. METODE

Metode yang digunakan adalah metode deskriptif kualitatif yang dimulai dengan mengidentifikasi masalah dan latar belakang terkait *glare*/silau sehingga membutuhkan *shading device*. *Shading device* tersebut diharapkan mampu beradaptasi dengan isu kelokalan

yang dikaitkan dengan batik. Selanjutnya dilakukan studi pustaka berkaitan dengan *shading device* berupa *double skin façade*, pencahayaan alami dan motif batik utamanya di daerah Jawa Timur. Setelah didapatkan hasil kajian studi Pustaka, maka merumuskan parameter operasional pada objek komparasi bangunan publik yang menggunakan *double skin façade* guna mendapatkan studi komparasi terkait penerapan *double skin façade* tersebut. Dalam pembahasan objek komparasi bangunan menggunakan parameter operasional melalui arah orientasi bangunan, penempatan *double skin façade pada bangunan*, jarak dengan kulit terluar pada bangunan, pola dan material *double-skin facade* yang digunakan, dan aktivitas pengguna. Setelah membahas objek komparasi bangunan, selanjutnya adalah merumuskan kriteria desain *double skin façade* bangunan dengan menggunakan motif batik.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan dilakukan pembahasan mengenai objek komparasi pada bangunan umum yang menggunakan *double-skin facade* dengan motif batik Jawa Timur yang dianalisa menurut karakteristiknya.

#### Objek komparasi bangunan

Objek komparasi bangunan menggunakan objek komparasi bangunan umum yang menggunakan *double-skin facade* yang terdiri dari bangunan hotel, perpustakaan dan perkantoran.

#### 3.1 Hotel Horison Pekalongan



Gambar 4. Hotel horison Pekalongan



Gambar 5. Lokasi hotel horizon pekalongan

##### 1. Arah orientasi bangunan

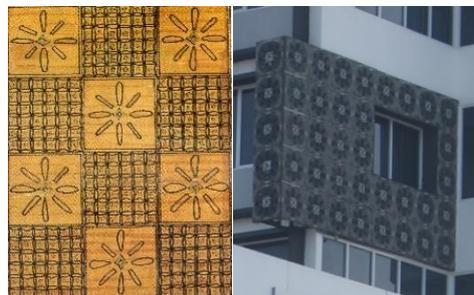
Terletak di koordinat  $6^{\circ}53'19''$  lintang selatan dan  $109^{\circ}39'47''$  bujur timur dengan arah orientasi bangunan menghadap ke arah selatan yaitu menghadap ke arah jalan utama Jl. Gajah Mada, Pekalongan. Namun orientasi bukaan dominan pada arah timur dan barat bangunan.

2. Penempatan *double-skin facade* pada bangunan  
Penempatan *double-skin facade* bangunan dengan motif batik diletakkan pada muka/fasad bangunan dan pada beberapa bagian sisi bangunan yang letaknya tepat di depan lubang-lubang cahaya bangunan.



Gambar 6. Tampak muka dan sisi hotel horison Pekalongan

3. Jarak dengan kulit terluar pada bangunan  
Terdapat jarak  $\pm 30$  cm antara *double-skin facade* bangunan dengan kulit bangunan. Jarak ini seperti rongga udara antara 2 panel yaitu panel *double-skin facade* bangunan dan lubang cahaya bangunan.
4. Pola dan material *double-skin facade* bangunan  
Material menggunakan plat besi yang dilubangi membentuk motif batik surya kawung yang disusun secara berulang. Batik surya kawung merupakan pengembangan dari batik kawung yang merupakan salah satu ciri khas dari kota Pekalongan.



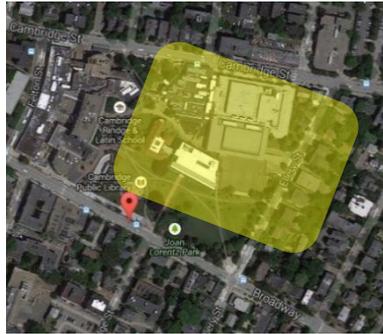
Gambar 7. Motif batik pada Hotel Horison Pekalongan

5. Aktivitas pelaku dalam bangunan  
Aktivitas pelaku dalam bangunan adalah berelaksasi atau beristirahat. Hal ini mengakibatkan bangunan harus membuat nyaman para pelaku di dalamnya untuk beristirahat.

### 3.2 Cambridge Public Library



Gambar 8. Cambridge Public Library



Gambar 9. Lokasi Cambridge *Public Library*

1. Arah orientasi bangunan

Terletak di koordinat  $42^{\circ}22'27''$  lintang utara dan  $71^{\circ}6'38''$  bujur barat dengan arah orientasi bangunan dan bukaan cahaya menghadap ke arah selatan yaitu menghadap ke arah *broadway street* yang merupakan arah datangnya sinar matahari ke dalam bangunan.

2. Penempatan *double-skin facade* pada bangunan

*Double-skin facade* bangunan diletakkan di sekitar area bukaan pada muka bangunan yang didominasi oleh bukaan cahaya berupa jendela.



Gambar 10. Tampak muka bangunan Cambridge *public library*

3. Jarak dengan kulit terluar pada bangunan

Terdapat jarak  $\pm 100$  cm antara *double-skin facade* bangunan dengan kulit bangunan. Jarak ini seperti rongga udara antara 2 panel yaitu panel *double-skin facade* bangunan dan lubang cahaya bangunan (jendela).



Gambar 11. Ruang atau jarak antara *double-skin facade* bangunan dengan jendela

4. Pola dan material *double-skin facade* bangunan

Material menggunakan aluminium yang disusun dengan pola berulang dengan bentuk geometri persegi panjang sebagai penangkal sinar matahari yang masuk dengan lapisan terluar berupa kaca.

5. Aktivitas pelaku dalam bangunan

Pelaku dalam bangunan memiliki aktivitas membaca yang membutuhkan kenyamanan visual yang cukup sehingga tidak mengganggu aktivitas pelaku bangunan tersebut.

### 3.3 Aurora Place Office and Residence



Gambar 12. Aurora place office & residence



Gambar 13. Lokasi Aurora place office & residence

1. Arah orientasi bangunan

Terletak di titik koordinat  $33.8649694^\circ$  lintang selatan dan  $151.2119528^\circ$  bujur timur dengan arah orientasi bangunan menghadap ke [Macquarie Street](#) yang berada di sisi timur bangunan dan bukaan menghadap ke arah timur dan barat.

2. Penempatan *double-skin facade* pada bangunan

*Double-skin facade* bangunan diletakkan di sekitar area bukaan pada muka bangunan, didominasi oleh bukaan cahaya berupa jendela yang berada pada sisi timur dan barat bangunan.

3. Jarak dengan kulit terluar pada bangunan

Terdapat jarak  $\pm 200$  cm antara *double-skin facade* bangunan dengan kulit bangunan. Jarak ini seperti rongga udara antara 2 panel yaitu panel *double-skin facade* bangunan dan lubang cahaya bangunan (jendela).



Gambar 14. Ruang atau jarak antara *double-skin facade* bangunan dengan jendela

4. Pola dan material *double-skin facade* bangunan

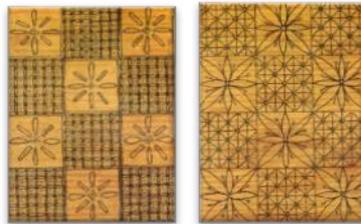
Material menggunakan lapisan terluar berupa kaca yang berukuran  $135 \times 240$  cm dengan ketebalan 6 – 12 mm. Pola kaca disusun berulang.

5. Aktivitas pelaku dalam bangunan

Aktivitas yang dilakukan dalam bangunan adalah bekerja. Dalam hal ini diperlukan pencahayaan alami yang cukup optimal untuk mendukung kegiatan para pelaku bangunan yang umumnya dilakukan di pagi hingga sore hari.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil dari penjelasan dari berbagai contoh objek komparasi pada bangunan umum yang menggunakan *double-skin facade* tersebut diperoleh beberapa prinsip dalam merancang *secondary skin*. Prinsip rancangan *double-skin facade* memiliki jarak terhadap dinding luar bangunan. Terdapat rongga aliran udara dan cahaya yang umumnya berulang. Rongga aliran udara dan cahaya ukurannya menyesuaikan kebutuhan, pada umumnya berukuran 20 cm sampai 2 m. Material rongga aliran udara dan cahaya umumnya terdiri dari material yang transparan. Umumnya *double-skin facade* terdapat pada bukaan cahaya berupa jendela ataupun ventilasi. Desain *double-skin facade* bangunan memiliki pada umumnya disusun berulang (repetisi). Motif batik jawa timur pada umumnya menyesuaikan karakter atau potensi di masing-masing daerahnya seperti karakter alamnya ataupun komoditi terbesar didaerah tersebut. Motif batik jawa timur memiliki prinsip desain berulang (repetisi) sehingga sesuai dengan prinsip rancangan *double-skin facade* yang terdapat rongga aliran udara dan cahaya yang tersusun berulang. Bentuk motif batik jawa timur memiliki bentuk motif melebar pada umumnya mengikuti bentuk flora dan potensi daerah setempat yang berusaha ditonjolkan dengan membesarkan dan melebarkan motif batik tersebut sehingga dapat menjadi pusat perhatian. Salah satu contoh batik yang dapat diaplikasikan menjadi desain *double-skin facade* bangunan adalah batik dengan motif surya kawung dan kembang sruni.



Gambar 15. Motif batik surya kawung dan kembang sruni

Selain kelebihan tersebut terdapat beberapa kekurangan yang dihasilkan seperti *double-skin facade* dengan motif batik hanya bisa memantulkan cahaya matahari yang berlebih, belum bisa memanfaatkan cahaya alami tersebut sebagai sumber cahaya utama dalam bangunan sehingga masih perlu adanya bantuan dari pencahayaan buatan.

#### REFERENSI

- [1] D. Saelens, "Energy performance assessment of single storey multiple-skin facades," 2002.
- [2] A. Compagno, *Intelligente Glasfassaden/Intelligent Glass Façades: Material, Anwendung, Gestaltung/Material, Practice, Design*. Birkhäuser, 2002.
- [3] S. Uuttu, "Study of current structures in double-skin facades," *Master's thesis, Helsinki Univ. Technol.*, 2001.
- [4] J. Priatman, "'ENERGY CONSCIOUS DESIGN' KONSEPSI DAN STRATEGI PERANCANGAN BANGUNAN DI INDONESIA," *Dimens. (Journal Archit. Built Environ.*, vol. 31, no. 1, 2004.
- [5] P. Manurung, "Pencahayaan Alami dalam Arsitektur," *Yogyakarta. Penerbit Andi*, p. 30, 2012.
- [6] A. Sunaryo, "Ornamen Nusantara, Kajian Khusus tentang Ornamen Nusantara, Semarang." Dahara Press, 2009.
- [7] Y. Anshori and A. Kusrianto, *Keeksotisan batik jawa timur*. PT. Elek Media Komputindo–2011-ISBN: 978-602-00-1195-0, 2011.

# Penggunaan Ruang Publik di Permukiman Kota Daerah Aliran Sungai Brantas Kelurahan Samaan RW 05 Kota Malang

Adisti Safrilia<sup>1</sup>, Razqyan Masbimatyugra Jati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> *Jurusan Arsitektur Universitas Merdeka Malang  
Jalan Pisang Candi, Malang, Indonesia*

[adisti.safrilia@unmer.ac.id](mailto:adisti.safrilia@unmer.ac.id)

[jati@unmer.ac.id](mailto:jati@unmer.ac.id)

*Abstrak*—Di perkotaan yang berkembang sering kali kita jumpai permasalahan yang terkait dengan permukiman sebagai ruang kota. Mulai dari kualitas permukiman sampai pada kelayakan permukiman. Banyak dijumpai di kota-kota besar dan berkembang beberapa kawasan permukiman yang tumbuh pada tempat yang tidak semestinya. Kota Malang yang dulu merupakan kota kecil, seiring berjalannya waktu mulai berkembang menjadi kota besar dengan beragam aktivitas. Kurangnya lahan untuk pengadaan permukiman, mahalnya permukiman yang layak yang ada di perkotaan, rendahnya tingkat ekonomi masyarakat berpindah (urbanis) akhirnya berdampak pada tumbuhnya permukiman tak layak. Disebut tak layak karena biasanya permukiman ini tumbuh pada tempat yang seharusnya bukan merupakan lahan permukiman, contoh saja permukiman yang tumbuh di daerah aliran sungai (DAS). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan dan peran ruang terbuka di permukiman DAS Brantas. Menggunakan metode deskriptif kualitatif, untuk mengetahui dan menguraikan kondisi lingkungan permukiman di RW 05 Kelurahan Samaan, mengetahui kondisi sosial masyarakat dalam pemanfaatan sarana prasarana permukiman dengan tujuan mengetahui karakteristik dan mengidentifikasi masalah ruang terbuka di permukiman RW 05 Kelurahan Samaan Malang. Hasil yang didapatkan adalah rekomendasi desain taman bermain di daerah yang sangat berpotensi yaitu yang ada di RT 6 karena tempatnya strategis dekat dengan persimpangan jalan dan view yang bagus.

*Kata kunci*— DAS Brantas, Perkotaan, Permukiman, Ruang Publik,

*Abstract*— In developing cities, we often encounter problems related to settlements as urban spaces. Starting from the quality of the settlement to the feasibility of the settlement. It is often found in big cities and some residential areas have grown in improper places. Malang, which was once a small city, has begun to develop into a large city with various activities over time. Lack of land to procure settlements, the high cost of proper housing in urban areas, the low economic level of mobile communities (urbanists) ultimately results in the growth of unsuitable settlements. It is called unfit because usually these settlements grow in places that should not be residential land, for example, settlements that grow in river basins (DAS). This study aims to determine the existence and role of open space in the Brantas watershed settlement. The research method used descriptive qualitative method, to determine and describe the environmental conditions of the settlements in RW 05 Samaan, to know the social conditions of the community in the use of settlement infrastructure with the aim of knowing the characteristics and identifying the problems of open space in the settlement of RW 05 Kelurahan Samaan Malang. The results obtained are recommendations for the design of a playground in an area with great potential, namely the one in RT 6 because it is strategically located close to a crossroads and a good view.

*Keywords*— Brantas watershed, Settlement, Urban, Public Space.

## I. PENDAHULUAN

Dalam hidup manusia dikenal tiga kebutuhan primer yang harus dipenuhi lebih dahulu, yaitu: sandang, pangan dan papan. Sandang berbicara tentang pakaian, pangan berbicara tentang makanan, sedangkan papan berbicara tentang tempat tinggal manusia atau rumah. Rumah memiliki pengertian sebagai tempat tinggal manusia dengan fungsi pokok, yaitu: sebagai tempat memenuhi kebutuhan jasmani manusia, tempat memenuhi kebutuhan rohani atau psikologis manusia, tempat perlindungan dari penularan penyakit serta sebagai tempat perlindungan dari gangguan luar. Rumah secara komunal dapat disebut permukiman. Karena itulah permukiman dan rumah adalah dua hal yang berkaitan erat. Permukiman merupakan ruang atau tempat bagi kelompok manusia untuk hidup dan berkehidupan [1]. Secara

terminologis, permukiman adalah ruang beragam komunitas (community) untuk bertemu, berinteraksi dan bersosialisasi dalam masyarakat. Seiring perkembangan jaman, semakin meningkat jumlah penduduk yang mengakibatkan naiknya kebutuhan akan lahan untuk tempat tinggal. Pada akhirnya makin terbatas jumlah lahan baik untuk hunian maupun untuk ruang terbuka hijau. Walaupun ruang terbuka merupakan salah satu aspek penting dalam suatu permukiman, namun keberadaannya kurang diperhatikan dan difungsikan oleh masyarakat umum [2]. Pola permukiman di daerah bantaran sungai termasuk dalam kelompok pola permukiman yang membentuk sederajat permukiman [3]. Bantaran sungai ini dikategorikan dalam kelompok *the line village community*, dimana rumah-rumahnya di tata atau dibangun berbaris lurus mengikuti satu garis tertentu menyilang dan menggusur pinggir sungai dan kanal [4]. Semakin banyak masyarakat yang bermukim di tepian sungai akan berdampak pada sungai, dimana sungai yang seharusnya mempunyai morfologi dan komponen retensi hidraulis yang stabil (alur sungai, retensi tebing, dasar, dan erosi, sedimentasi, dan banjir) sungai tersebut tidak dapat meminimalisir atau mengendalikannya. Aturan infrastruktur permukiman yang kompleks dan aturan lebar garis sempadan menjadi suatu permasalahan di permukiman tepi sungai. Pelayanan infrastruktur dasar yang tidak baik, seperti jalan, jaringan air bersih, air limbah, pembuangan sampah, kesehatan lingkungan, drainase, dan pencegahan banjir dan erosi sungai. Pembuatan ruang publik ini menjadi lebih penting karena tidak adanya fasilitas ruang bersama yang layak di permukiman DAS Brantas ini. Unsur-unsur yang harus ada di dalam ruang public agar ruang public dapat berperan dengan baik, yaitu : [5]:

a. Comfort, adalah satu unsur yang wajib untuk syarat berhasilnya ruang Bersama. Kenyamanan ini menjadi tolak ukur lama atau tidaknya seseorang berada di ruang publik tersebut. Kenyamanan ini dapat dipengaruhi oleh *environmental comfort* yaitu perlindungan dari alam seperti hujan, sinar matahari, angin, dan *physical comfort* seperti tersedianya fasilitas penunjang seperti tempat duduk, tempat bermain, olahraga dan sebagainya.

b. Relaxation, adalah aktifitas yang berhubungan dengan *psychological comfort*. Membuat suasana yang rileks dan tenang, jika kondisi tubuh dan pikiran sehat dan senang. Unsur yang dapat diterapkam adalah memberi tanaman / pohon, kolam air dengan lokasi yang jauh dari kebisingan kendaraan.

c. Passive engagement, kondisi lingkungan sangat berpengaruh pada aktifitas pasif ini. Kegiatan ini biasanya dilakukan dengan cara duduk-duduk atau berdiri sembari melihat-lihat aktifitas yang terjadi di sekelilingnya atau melihat-lihat lingkungan sekitar berupa kolam air, taman bunga, patung, dan lainnya.

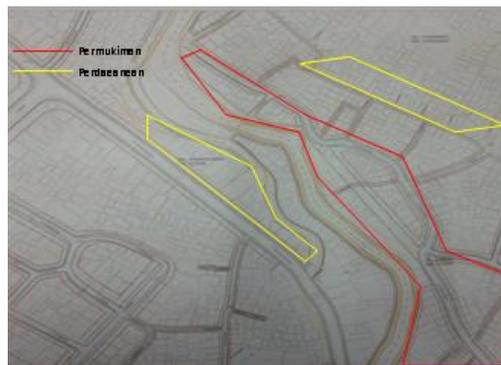
d. Active engagement, Ruang publik seharusnya dapat mewadahi berbagai aktifitas interaksi antar masyarakat dengan baik, agar menjadi ruang publik yang berhasil.

## II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif kualitatif, untuk mengetahui dan menguraikan kondisi permukiman di RW 05 Kelurahan Samaan, mengetahui kondisi sosial masyarakat dalam pemanfaatan sarana prasarana permukiman dengan tujuan mengetahui karakteristik dan mengidentifikasi masalah ruang terbuka di permukiman RW 05 Kelurahan Samaan Malang. Karakteristik dan permasalahan permukiman tersebut akan dijadikan dasar dalam penempatan arahan penataan fasilitas sarana prasarana ruang terbuka di RW 05 Permukiman DAS Brantas Kelurahan Samaan Malang. Bagian ini menjelaskan secara rinci tentang penelitian yang dilakukan. Data yang sudah terkumpul akan diolah dan akan dilakukakan klasifikasi, kemudian disajikan dalam bentuk Tabel, diagram, penjelasan secara deskriptif dan lainnya.

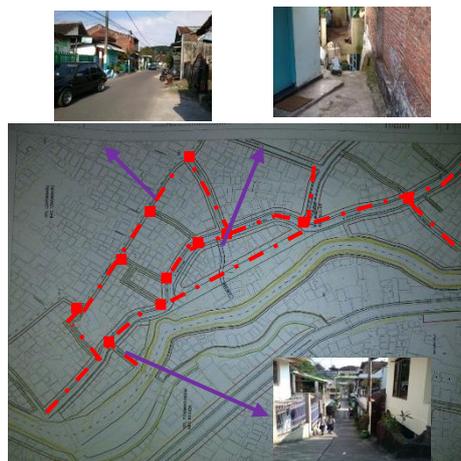
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Wilayah RW 05 ini terletak di daerah yang dekat dengan pusat kota Malang. Dekat dengan akses jalan utama. Lingkungan sekitarnya pun juga termasuk lingkungan sebagai pusat aktifitas, khususnya perdagangan, dan pendidikan. Di lingkungan ini terdapat Pasar Tawangmangu, Pertokoan dan rumah makan, serta universitas negeri swasta. Fasilitas umum lainnya adalah dekat dengan masjid, gereja, rumah sakit, poliklinik, dan bank. Secara umum ada tiga jenis tata guna lahan yaitu lahan untuk permukiman penduduk, perdagangan dan fasilitas umum penunjang. Untuk tata guna lahan di wilayah RW 05 sendiri terbagi menjadi dua jenis besar yaitu zona permukiman dan zona perdagangan. Zona perdagangan terletak di luar yaitu di dekat Jalan Mayjen Panjaitan dan Jalan Mawar. Zona permukiman terletak di daerah yang dekat sungai.



Gambar 1. Tata guna lahan Kelurahan Samaan RW 05

Untuk sirkulasi di daerah permukiman RW 05 ini merupakan jalan kecil atau gang. Memiliki rentang lebar jalan sekitar 1 m – 2 m. Jalan berupa perkerasan semen dan paving stone. Pencapaian menuju lokasi penelitian ada Tiga yaitu pertama dari arah Kelurahan Lowokwaru dari arah Barat, kedua dari arah Kelurahan Penanggungan melalui jembatan, dan yang ketiga yaitu, dari arah Kuburan Samaan dari arah Timur.



Gambar 2. Jalur sirkulasi di Kelurahan Samaan RW 05

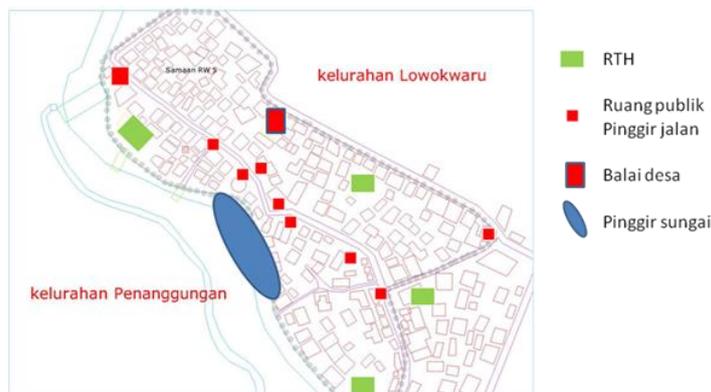
Lingkungan hunian seharusnya melayani berbagai fungsi diantaranya adalah fungsi kesenangan yaitu dengan menyediakan fasilitas dan program rekreasi, hiburan, kebudayaan dan pendidikan serta ruang terbuka. Setiap lingkungan hunian dengan luasan tertentu, dengan radius tertentu, sepuluh persen dari luas area tersebut harus dialokasikan untuk ruang rekreasi dan taman (Chapin, 1995:343). Sedangkan menurut SNI 03-1733-200, Tata Cara Perencanaan Lingkungan, ruang terbuka dalam lingkungan RW berisi 2.500 penduduk, dibutuhkan minimal

1.250 m<sup>2</sup> atau dengan standar 0,5 m<sup>2</sup> /penduduk, diaman lokasinya dapat dijadikan satu dengan pusat kegiatan RW lainnya, seperti balai pertemuan, pos satpam dan sebagainya. Ruang terbuka di daerah RW 5 Kelurahan Samaan ini jumlah ruang terbuka hanya ± 5,7% dari luas lahan RW 5 ini yang sebesar 8.48 Ha atau hanya 0,4892 Ha. Dengan jumlah penduduk sebanyak ±1500 jiwa (data demografi RW, 2011) maka ruang terbuka yang tersedia hanya 0,3 m<sup>2</sup> / penduduk. Ruang terbuka yang tersedia jauh dari yang ada pada teori Chapin dan SNI. Sedangkan kepadatan penduduk di RW 5 ini adalah 212 jiwa/ha, ini termasuk kategori kepadatan yang tinggi menurut SNI.

Tabel 1. Klasifikasi kawasan terhadap kepadatan penduduk dan kebutuhan lahan  
Sumber : SNI 03-1733-2004

Klasifikasi Kawasan	Kepadatan			
	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Padat
Kepadatan penduduk	< 150 jiwa/ha	151 – 200 jiwa/ha	201 – 400 jiwa/ha	> 400 jiwa/ha
Reduksi terhadap kebutuhan lahan	-	-	15% (maksimal)	30% (maksimal)

Berdasarkan fungsinya, ruang terbuka publik merupakan tempat bertemu, berinteraksi dan silaturahmi antar warga serta sebagai tempat rekreasi dengan bentuk kegiatan yang khusus seperti bermain, berolahraga dan bersantai. Sedangkan di daerah RW 5 kelurahan Samaan berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan survey, ruang publik di daerah DAS Brantas Kelurahan Samaan RW 5 ini berupa persimpangan jalan, Balai RW, Teras Rumah, Pos kamling, pinggir sungai dan bahkan Kuburan Samaan.



Gambar 3. Persebaran ruang terbuka di RW 05

Sesuai dengan hasil pengamatan, ruang publik kebanyakan digunakan sebagai tempat bermain anak. Ibu-ibu kebanyakan memakai ruang publik sebatas teras rumah dan posyandu bila ada acara. Sedangkan bapak-bapak kebanyakan memakai ruang publik berupa pos kamling pada malam hari karena pada siang hari kebanyakan bapak-bapak bekerja.

Di Kelurahan Samaan RW 5 ini terdapat beberapa ruang terbuka hijau yang cocok untuk tempat bermain dan berkumpul. Yaitu dipinggir sungai, di RT 1 dan RT 9, lalu di RT 7 dan RT 6.



Gambar 4. Persebaran potensi ruang publik di RW 5 Kelurahan Samaan

Ada 4 potensi untuk memperbaiki dan menambah ruang publik di RW 5 Kelurahan Samaan ini, yang pertama adalah di tepi sungai di dekat RW 1. Daerah ini berupa cekungan dan anak-anak senang bermain di daerah tersebut, namun daerah ini adalah daerah dekat tepi sungai dan berpotensi banjir. Sehingga mungkin tempat ini hanya akan jadi Ruang Terbuka Hijau. Yang kedua adalah di RT 9, potensi ruang publik di daerah ini yaitu berupa tanah kosong, namun lahan ini hak kepemilikan individu, sehingga untuk membangun ruang publik disini cukup sulit. Yang ketiga adalah di dekat RT 7, lahan ini berupa ruang terbuka hijau yang banyak dirumbuhi pohon, namun lahan ini di pagar kawat berduri sehingga untuk pembebasan lahan cukup sulit. Yang terakhir adalah di dekat tepi sungai di RT 6, di daerah ini ruang terbuka yang tersedia cukup luas, dan potensi untuk membuat ruang bermain anak disini cukup bagus, karena disini banyak anak kecil bermain di pinggir jalan.



Gambar 5. Kondisi eksisting potensi ruang publik

Dengan permukaan yang berkontur, maka daerah ini juga bisa menjadi salah satu landmark dari RW 5 Kelurahan Samaan itu sendiri. Ruang publik yang mungkin dibangun di daerah ini adalah tempat bermain anak.



Gambar 6. Rekomendasi desain ruang terbuka public di Kelurahan Samaan RW 05

#### IV. KESIMPULAN

Ruang publik sangat di perlukan di Kelurahan Samaan tepatnya di RW 05. Karena banyaknya pengguna anak-anak , yang tidak mempunyai tempat bermain, dan berkumpul dengan layak, yaitu di pinggir jalan, di area kuburan, di teras masjid, dan lain sebagainya. Hal tersebut selain tidak aman, juga mengganggu aktivitas warga yang lainnya. Maka, dengan adanya rekomendasi desain ruang terbuka publik ini dapat membantu permasalahan yang terjadi di Kelurahan Samaan RW 05.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Kepala Kelurahan, Ketua RW 05, dan warga Kelurahan Samaan RW 05 yang telah mengizinkan dan membantu saat survey dilaksanakan. Serta prodi arsitektur yang telah memberi motivasi hingga terselesaikan penelitian ini.

#### REFERENSI

- [1] Doxiadis, C.A. 1971. An Introduction To The Science Of Human Settlements Ekistics. London: Hutchinson of London.
- [2] Sukanti, SC.. 1979. Kota di Dunia Ketiga. Jakarta: Barata Karya Aksara.
- [3] Yudohusodo, S. (1991). Rumah Untuk Seluruh Rakyat. Jakarta: Inkoppol, Unit Percetakan Bharakerta.
- [4] Leibo Jefta. 1995. Sosiologi Pedesaan: Mencari Suatu Pembangunan Masyarakat Desa Perparadigma Ganda. Yogyakarta: Andi Offset.
- [5] Priyatmono, Alpha Febela. 2004. Peran Ruang Publik di Permukiman Tradisional Kampung Laweyan Surakarta. Jurnal penelitian. Jurusan Teknik Arsitektur Universitas Muhammadiyah Surakarta.

# Kajian Sa'o Tua sebagai Rumah Tinggal Suku Ende-Lio di Flores yang Tanggap Iklim

Patrisius Sado<sup>1</sup>, Yunita Wulandari<sup>2</sup>, Erlina Laksmiani Wahjutami<sup>3\*</sup>

<sup>1,2</sup> Mahasiswa Program Studi Arsitektur Universitas Merdeka Malang

<sup>3</sup> Dosen Program Studi Arsitektur Universitas Merdeka Malang  
Jalan Puncak Jaya 36, Malang Indonesia

<sup>3\*</sup> [erlina.laksmiani@unmer.ac.id](mailto:erlina.laksmiani@unmer.ac.id) (penulis korespondensi)

*Abstrak*— Indonesia terletak di daerah katulistiwa dan mempunyai iklim tropis. Iklim ini hanya mempunyai dua musim yaitu musim hujan dan kemarau. Ciri iklimnya yang menonjol yaitu suhu dan kelembapan yang tinggi dengan kecepatan angin yang relatif rendah. Rumah tinggalnya merupakan sebuah tempat bernaung dari angin dan hujan saja dan bukan sebagai sebuah perlindungan terhadap iklim sebagaimana halnya bangunan yang terletak pada iklim empat musim. Untuk itu diperlukan adanya elemen-elemen bangunan yang mampu mengusir panas dan kelembapan di dalam bangunan. Nenek moyang bangsa Indonesia sudah memecahkan hal tersebut yang tercermin pada Arsitektur Tradisionalnya. *Sa'O Tua* adalah sebuah rumah tinggal tradisional suku Ende Lio di Ende, Flores. Bahan-bahan bangunan utama penyusunnya memanfaatkan kayu, bambu dan alang-alang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bahan bangunan yang dipakai sehingga mampu menciptakan iklim mikro yang nyaman di dalam bangunan secara deskriptif. Metode penelitiannya adalah deskriptif kualitatif. Pengambilan data diambil dengan teknik pengukuran di lapangan dan wawancara dengan tukang adat dan pemilik rumah. Dari analisis bahan, mulai dari elemen pondasi, dinding dan atap semuanya memakai bahan organik yang didapat dari hutan setempat. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa bahan bangunan organik mampu menciptakan iklim mikro yang baik di dalam bangunan. Untuk penelitian selanjutnya dibutuhkan penelitian kuantitatif untuk memperkuat temuan hasil penelitian ini.

*Kata kunci*— Sa'O Tua, Ende Lio, tropis, tanggap iklim, bahan bangunan organik

*Abstract*— Indonesia is located on the equator and has a tropical climate with two seasons, namely the rainy and dry seasons. The climatic features that stand out are high temperature and humidity with relatively low wind speeds. The residence is only as a shelter from wind and rain but not as a building to protect against the climate as a building in a four-season climate. For that we need building elements that are able to dissipate heat and humidity in the building. The ancestors of the Indonesian nation have solved this which is reflected in its traditional architecture. *Sa'O Tua* is a traditional house for the Ende Lio tribe in Ende, Flores. The main building materials use wood, bamboo and reeds. The purpose of this study was to determine the building materials used so as to create a comfortable microclimate in the building descriptively. The research is descriptive qualitative. Data were collected using measurement techniques in the field and interviews with traditional craftsmen and home owners. From the analysis of the foundation materials, walls and roofs, it is known that all use organic materials obtained from local forests. From the observations it can be seen that starting from the elements of the foundation, floor, walls, and roof, it is possible to dissipate heat and humidity in the building. From this research, it can be concluded that organic building materials are able to create a good microclimate in the building. For further research, quantitative research is needed to strengthen the findings of this study.

*Keywords*— *Sa'O Tua*, Ende Lio, tropical, climate friendly, organic building materials

## I. PENDAHULUAN

Penelitian tentang arsitektur tradisional Indonesia penting dilakukan untuk menggali kearifan dan kecerdasan lokalnya dalam tujuan untuk mengisi dan memperkaya materi pendidikan arsitektur di Indonesia.

Suku Ende-Lio berada di Kabupaten Ende, Flores, Propinsi Nusa Tenggara Timur. Penduduk aslinya biasa disebut sebagai *ata Ende-Lio* (orang Ende-Lio). Suku Ende-Lio merupakan suku tertua yang ada di pulau Flores, Nusa Tenggara Timur. Salah satu karya arsitektur tradisionalnya adalah Sa'o Tua yang diperlihatkan pada gambar 1. Penelitian ini akan membahas tentang arsitektur tradisionalnya ini.

Daerah tropis didefinisikan sebagai daerah yang terletak di antara garis isotherm 20° C di sebelah bumi utara dan selatan. Pada wilayah ini terdapat hutan hujan tropis yang menyediakan bahan bangunan organik berupa kayu, bambu, dan banyak lagi lainnya sebagai bahan penyusun bangunan [1]. Pada iklim ini hampir tidak ada perbedaan yang berarti antara musim hujan dan

kemarau, rata-rata suhu udara antara 22–33°C dengan kelembapan relatif bervariasi antara 60% pada siang hari dan mendekati 95% pada malam dan pagi hari [2]. Sistem pencahayaan dan penghawaan yang kurang optimal akan menyebabkan ruang dalam bangunan menjadi lembap. Prinsip rancangan dasar bangunan pada iklim tropis lembap adalah sistem pendinginan pasif. Sistem ini bertujuan untuk mengurangi ketidaknyamanan termal di dalam bangunan. Melalui sistem pencahayaan dan penghawaan, serta pengaliran udara yang terjadi secara terus menerus, kondisi iklim yang panas dan lembap pada lingkungan di luar bangunan akan bisa dihapuskan di dalam bangunan [3]. Kenyamanan termal dan pengurangan konsumsi energi bisa dicapai melalui desain yang benar [4]. Semakin tinggi suhu, semakin besar pengaruh kelembapan udara terhadap tubuh manusia [5]. Cara rumah tradisional Bubungan Tinggi, Kalimantan Selatan menanggapi iklim melalui faktor-faktor: bentuk, material, elemen pengendali termal [6]. Kenyamanan termal pada rumah Tongkonan, Sulawesi Selatan dengan bahan atap seng pada lingkungan dengan vegetasi yang bagus akan membawa pengaruh terhadap tingkat suhu dan kelembapan yang lebih baik dibandingkan dengan Tongkonan pada lingkungan yang tidak bagus [7]. Rumah Balai Suku Dayak Bukit menerapkan material lokal sebagai perwujudan nilai vernakularnya [8]. Permukiman Tradisional Desa Tenganan di Bali merupakan wujud arsitektur lingkungan yang berkelanjutan [9]. Bambu merupakan salah satu material dasar bangunan yang potensial untuk pembangunan yang berkelanjutan [10].

Penelitian ini merupakan penelitian dosen dan mahasiswa yang bermaksud mendokumentasikan arsitektur tradisional Sa'o Tua oleh suku Ende Lio di Flores, Nusa Tenggara Timur. Tujuan penelitian adalah untuk mengidentifikasi dan menganalisis rumah tradisional Sa'o Tua sebagai sebuah bangunan yang tanggap terhadap karakter iklim dua musim atau tropis (*hot humid*).

## II. METODE

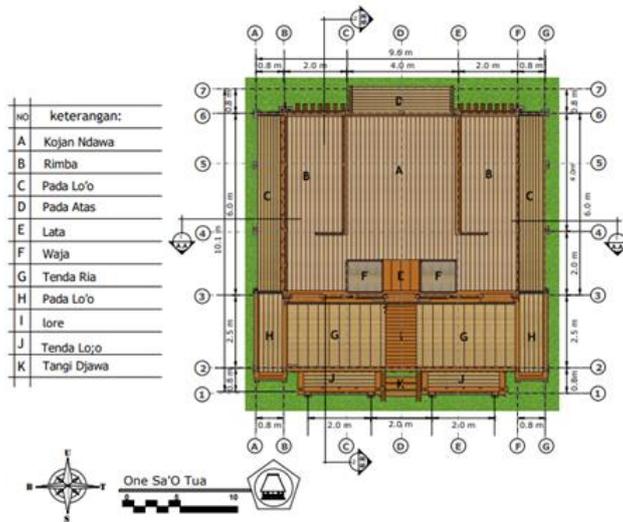
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kualitatif. Data primer didapatkan dari hasil pengukuran di lapangan dan wawancara dengan tukang adat dan pemilik rumah yang selanjutnya diperkuat dengan studi literatur. Tata ruang, struktur konstruksi dan bahan bangunan yang di pakai beserta cara penerapannya dalam bangunan menjadi pokok bahasan utamanya.

## III. HASIL

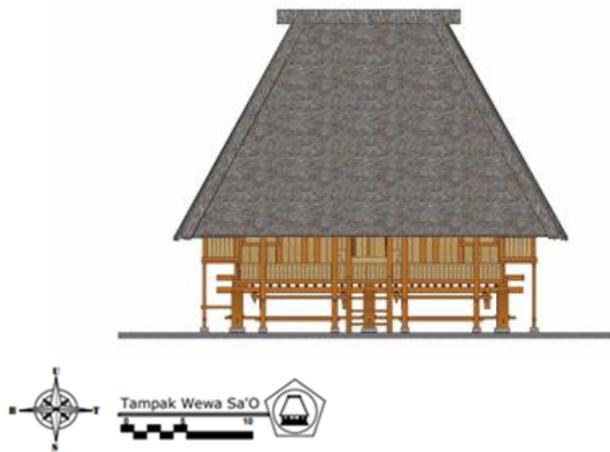
Dari hasil penelusuran di lapangan didapatkan data tentang denah, tampak dan struktur konstruksinya seperti yang terlihat pada gambar 2-6



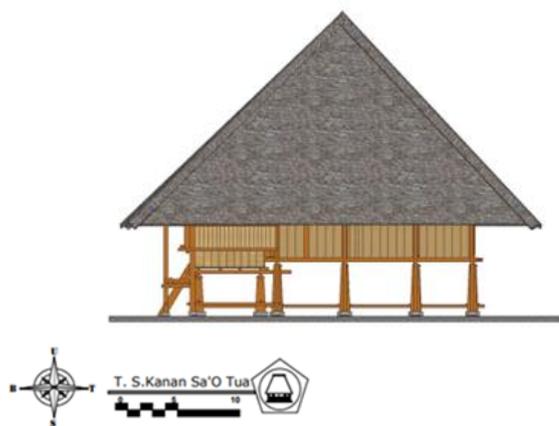
Gambar 1. Rumah tradisional Sa'o Tua di Ende-Lio  
Sumber: dokumentasi peneliti



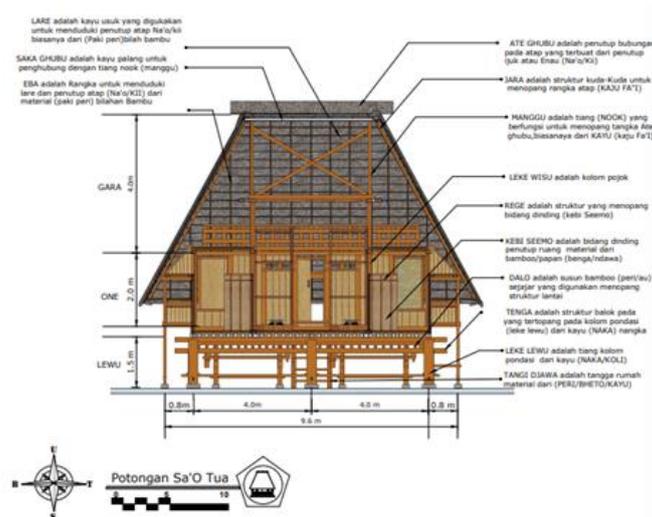
Gambar 2. Denah Sa'o Tua  
Sumber: dokumentasi peneliti



Gambar 3. Tampak Depan Sa'O Tua  
Sumber: dokumentasi peneliti



Gambar 4. Tampak Belakang Sa'O Tua  
Sumber: dokumentasi peneliti



Gambar 5. Potongan Sa'o Tua  
Sumber: dokumentasi peneloti



Gambar 6. Perspektif Sa'o Tua  
Sumber: dokumentasi peneliti

#### IV. PEMBAHASAN

##### A. Konsep Tatahan Ruang Dalam

Arsitektur tradisional Sa'o Tua suku Ende-Lio mempunyai konsep dasar yang mempengaruhi tata nilai ruangnya. Konsep dasar tersebut disimbolkan sebagai wanita karena rumah adat direpresentasikan sebagai inti dari kesuburan dan kelahiran yang akan mempengaruhi sistem pembagian zona ruangnya. Gambar 1 menggambarkan pembagian zona ruang dari rumah adat Sa'o Tua. Dari tatahan ruang yang ada pada denah, dapat dilihat fungsi-fungsi ruang pada Sa'o Tua dalam tabel 1 di bawah ini,

TABEL 1.  
SUSUNAN RUANG DALAM SA'O TUA

No	Nama Ruang	Arti Ruang	Gambar	Fungsi Ruang	Bahan bangunan yang dipakai
1.	<b>Koja</b>	Ruang keluarga	-	Untuk bersantai keluarga/ruang makan	Kayu dan bambu
2.	<b>Ndawa Rimba</b>	Kamar tidur		Tempat Tidur/Istirahat	
3.	<b>Pada Lo'o</b>	Serambi		Tempat menyimpan barang	Kayu dan bambu
4.	<b>Pada Atas</b>	Tempat persemayam		Tempat persembahan leluhur	Kayu dan bambu
5.	<b>Waja</b>	Dapur		Tempat masak/pengasapan/pengawetan bahan makanan	Kayu dan bambu
6.	<b>Tenda Ria</b>	Tenda Besar		Tempat bermusyawarah/berkumpul	Kayu dan bambu
7.	<b>Tenda Lo'o</b>	Tenda Kecil		Teras rumah	Kayu dan bambu
8.	<b>Lore</b>	lorong	-	Jalan masuk ke dalam rumah	Kayu dan bambu
9.	<b>Tangi Djawa</b>	Tangga		Tangga masuk ke rumah	





Gambar 8. Pondasi Sa'o Tua  
Sumber: dokumentasi peneliti

## 2) Lantai



Gambar 9. Lantai Ndawa Sa'o Tua  
Sumber: dokumentasi peneliti

Lantai rumah adat Sa'o Tua pada gambar 9 dalam bahasa Ende-Lio di sebut *tenda* yang terbuat dari bilah bambu yang disusun sejajar satu arah. Struktur lantai pada Sa'o Tua terdiri dari tiga bagian yaitu lantai *tenda lo,o* (teras kecil), *tenda ria* (teras besar), lantai *koja ndawa* (lantai ruang dalam). Yang membedakan diantara ketiganya adalah pada perbedaan tinggi lantainya. Pembuatan lantai dari bilah bambu dengan tujuan agar udara yang melewati kolong rumah dapat masuk ke ruang atas .

## 3) Dinding



Gambar 10. Dinding Ndawa Sa'o Tua  
Sumber: dokumentasi peneliti

Material dinding sama dengan material lantai yaitu menggunakan bilah bambu (*ndawa*) ditunjukkan pada gambar 10. Dinding berpori tersebut bertujuan untuk sirkulasi udara yang masuk dalam ruangan.

#### 4) Kolom



Gambar 11. Tiang kolom Sa'o Tua  
Sumber: dokumentasi peneliti

Gambar 11 menunjukkan bahwa pada Sa'o Tua struktur atas lantai mempunyai empat buah *wisu* (tiang kolom) penyangga yang dipotong dari *kogo laba* (balok kayu palang bagian atas)  $\pm 310$  cm yang ditopang juga dengan *isi boko* (balok kayu palang bagian bawah) yang panjangnya  $\pm 470$  cm. Tinggi masing masing tiang kolom  $\pm 200$  cm, di mana bentuk dari kolom berbeda dengan kolom bangunan lainnya. Di antara tiang kolom samping kanan dan samping kiri Sa'o Tua terdapat *leke raja* yaitu satu tiang badan rumah yang panjangnya 200 cm. Letaknya di bagian tengah yang dihubungkan dengan tiang *mangu* yang panjangnya  $\pm 400$  cm untuk menahan bubungan yang membentuk atap rumah atau *ubu sa'o*

#### 5) Rangka Atap



Gambar 12. Rangka ruang atap Sa'o Tua  
Sumber: dokumentasi peneliti

Rangka atap pada rumah tradisional Sa'o Tua menggunakan material kayu dan bambu yang membentuk rangka atap dengan penutup atap menggunakan alang-alang, diperlihatkan pada gambar 12. Pada rangka atap teknik penyambungan menggunakan teknik ikat, dan purus-lubang.

Pemakaian bahan bangunan organik untuk Sa'o Tua didukung oleh ketersediaan bahan bangunan di lingkungan sekitarnya seperti pendapat [1]. Ketersediaan kayu, bambu dan alang-alang merupakan bahan yang berkelanjutan. Bahan bangunan organik tersebut bukan merupakan bahan bangunan yang bersifat masif. Anyaman bambu maupun susunan bilah papan kayu masih memungkinkan adanya pori-pori pada dinding yang memungkinkan masuknya sinar matahari maupun aliran udara ke dalam bangunan yang akan menghapus panas dan kelembapan. Dominasi ruang atap yang luas juga sangat efektif membentuk pembayangan sekaligus pernaungan yang sangat mendukung tujuan tersebut di atas seperti yang diuraikan oleh [4] dan [5].

Seperti pada penelitian terdahulu tentang arsitektur tradisional [6], [7], [8], dan [9], penelitian ini semakin memperkuat fakta bahwa pemakaian bahan bangunan organik

merupakan penyelesaian yang tepat untuk kenyamanan termal di dalam ruang arsitektur tradisional. Selain ketersediaan bahan di lingkungan sekitarnya, bahan bangunan organik ini tipis dan bersifat tidak masif sehingga memungkinkan terjadi sistem pencahayaan di siang hari dan sistem penghawaan silang yang terjadi terus menerus sepanjang hari dengan mengalirkan udara segar pada setiap waktunya. Hal ini akan menghapus panas dan kelembapan ruang.

Konstruksi panggung juga mencegah kelembapan di atas tanah masuk ke dalam bangunan. Diperkuat dengan bahan lantai yang terbuat dari bilah bambu yang tidak masif akan memungkinkan aliran udara masuk melalui bawah bangunan.

#### IV. KESIMPULAN

Karakter iklim yang panas dan lembap di iklim tropis dapat diantisipasi oleh arsitektur tradisional Sa'o Tua melalui bahan lantai, dinding dan atap yang terbuat dari bahan organik yang bersifat tidak masif sehingga memungkinkan terjadinya aliran udara terus menerus di dalam bangunan yang akan menghapus panas dan kelembapan. Sistem konstruksi panggungnya semakin memperkuat tujuan ini. Dapat disimpulkan bahwa Sa'o Tua merupakan arsitektur tradisional yang tanggap terhadap iklim.

Penelitian selanjutnya yang ditawarkan adalah penelitian yang bersifat kuantitatif dengan pengukuran yang akan mendukung penelitian ini dengan temuan yang lebih objektif..

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Arsitektur Universitas Merdeka Malang yang telah mendanai penelitian ini.

#### REFERENSI

- [1] G. Lippsmeier, *Tropenbau Building in The Tropics*, 2 ed., Munchen, 1980.
- [2] H. Feriadi and N. H. Wong, "Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia," *Building and Environment*, vol. 36:, pp. 614-626, 2004.
- [3] T. H. Karyono, *Green Architecture: Pengantar pemahaman arsitektur hijau di Indonesia*, 1st. ed., Jakarta: Rajawali Pers, 2010.
- [4] T. H. Karyono, "Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta-Indonesia," *Building and Environment*, vol. 35:, pp. 77-90, 2000.
- [5] H. Purnomo and Rizal, "Pengaruh kelembaban, temperatur udara dan beban kerja terhadap kondisi faal tubuh manusia.," *Logika*, vol. 4, pp. 35-47, 2000.
- [6] M. I. Saud, "Tanggapan Terhadap Iklim sebagai Perwujudan Nilai Vernakular pada Rumah Bubungan Tinggi," *Lanting*, vol. 1, no. 2, pp. 106-116, 2012.
- [7] M. Alaudin, "Kenyamanan Termal pada Bangunan Hunian Tradisional Toraja Studi Kasus Tongkonan dengan Material Atap Seng," *Mustek Anim Ha*, pp. 85 - 90, 2012.
- [8] N. Aufa, "Material Lokal sebagai Perwujudan Nilai Vernakular pada Rumah Balai Suku Dayak Bukit," *Info-Teknik*, pp. 43 -55, 2009.
- [9] L. S. Mahabella and A. S. Riyani, "Arsitektur Lingkungan Berkelanjutan pada Permukiman Tradisional (Studi Kasus: Desa Tenganan, Bali)," in *Semesta Arsitektur Nusantara 2*, Malang, 2013.
- [10] M. S. Khan and R. Rashid, "The Sustainable Architectural Principle of Traditional Bamboo Houses in Bangladesh," *Sustainable Architecture and Urban Development*, pp. 261 - 270.

# Tipologi Fasad Rumah Tinggal Kolonial pada *Bouwplan* I di Kota Malang

Yesaya Moses Rondonuwu<sup>1</sup>, Andreas Alsis Putra<sup>2</sup>, Erlina Laksmiani Wahjutami<sup>3\*</sup>

<sup>1,2</sup> Mahasiswa Program Studi Arsitektur Universitas Merdeka Malang

<sup>3</sup> Dosen Program Studi Arsitektur Universitas Merdeka Malang

Jalan Puncak Jaya 36, Malang, Indonesia

<sup>3\*</sup> [erlina.laksmiani@unmer.ac.id](mailto:erlina.laksmiani@unmer.ac.id)

*Abstrak*— Kota Malang ditata menurut Rencana Tata Ruang pada masa kolonial Belanda atau yang disebut sebagai *Bouwplan* dalam delapan tahapan. Karakter geografis yang indah di mana kota dikelilingi gunung dan beriklim sejuk menarik banyak pendatang Belanda untuk bermukim. Untuk menjaga keteraturan kota, Thomas Karsten selaku perencana kota Malang memandang perlu untuk menata daerah permukiman pertamanya yang diwadahi pada *Bouwplan* I. *Bouwplan* I dikenal sebagai daerah Oranjebuurt yaitu jalan-jalan dengan nama anggota keluarga kerajaan Belanda yang sekarang dinamai dengan nama-nama pahlawan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tipologi fasade rumah tinggal kolonial pada *Bouwplan* I terkait dengan model desain pada iklim tropis (panas lembap). Metode penelitiannya adalah deskriptif kualitatif di mana dilakukan penyandingan fasade rumah tinggal-rumah tinggal untuk dianalisis kesamaan dan kebedaannya. Bangunan yang didokumentasikan merupakan bangunan yang relatif tidak banyak mengalami perubahan dari aslinya. Hal ini untuk mengetahui apakah arsitek Belanda pada masa itu memahami kondisi iklim tropis Indonesia. Dari hasil analisis didapatkan bahwa ada beberapa tipologi fasade yang berbeda ditinjau dari jenis atapnya. Beberapa bangunan mengekspose ornament pada bagian gewelnya sedangkan yang lain menggunakan atap perisai. Tinggi bangunan relative lebih tinggi dari bangunan sekarang pada umumnya. Adanya permainan detil pintu dan jendela yang terkait dengan penyelesaian masalah iklim. Dapat disimpulkan bahwa tipologi bangunan rumah tinggal pada *Bouwplan* I masih kental dalam desain bangunan Belanda yang 4 musim.

*Kata kunci*— fasad, rumah tinggal, kolonial, *bouwplan*

*Abstract*— The layout of Malang city was based on the Dutch colonial spatial plan or what was known as *Bouwplan* in eight stages. The beautiful geographical character of the city in which surrounded by mountains and a cool climate attracted many Dutch immigrants to live. To keep the urban's order, the planner of Malang city - Thomas Karsten - recognized the need to organize residential areas accommodated in *Bouwplan* I. *Bouwplan* I is known as the Oranjebuurt area, namely streets with the names of members of the Dutch royal family who are now named after heroes. The aims of the study is determining the typology of colonial residential facades in *Bouwplan* I related to the design model in a tropical climate (hot humid). The method of the research is descriptive qualitative in which the facades of residential houses are matched for the topics and their differences. The documented building is a building that has not changed from the original building. Such research is to see whether the Dutch architecture at that time understood the tropical climate conditions in Indonesia. From the analysis found that there are several different typologies in terms of the type of roof. Some buildings exposes the ornament to its fussy part while others use a shield roof. The height of the building is relatively higher than the current building in general. The architectural appearance of the details of the door and window shape related to overcome climate problems. It can be concluded that the typologies of residential buildings in *Bouwplan* I is fully characterized by the four season Dutch building design.

*Keywords*— facade, residential, colonial, *bouwplan*

## I. PENDAHULUAN

Penelitian ini merupakan penelitian awal seputar bangunan kolonial yang ada di kota Malang, khususnya pada bangunan rumah tinggal orang-orang Belanda. Karakter geografis yang indah di mana kota Malang dikelilingi gunung dan beriklim sejuk menarik banyak pendatang Belanda untuk bermukim dan juga menjadikannya sebagai tempat peristirahatan. Kolonial Belanda hadir di kota Malang sejak awal 1900-an dan mulai mendirikan bangunan berkarakter arsitektur Eropa dengan ciri utamanya: dinding batu bata yang tebal dan kemiringan atap antara 45° hingga 60°.

Dilihat dari karakter iklimnya, Indonesia dan Eropa, khususnya Belanda mempunyai iklim yang sangat berbeda. Menurut [1], daerah yang terletak di antara garis isotherm 20°C di sebelah bumi utara dan selatan adalah merupakan belahan dunia yang beriklim tropis. Indonesia merupakan salah satu di antaranya. Belanda mempunyai empat musim di mana pada musim dingin membutuhkan pemanasan dan pada musim panas memerlukan upaya pendinginan [2].

Negara-negara di Eropa – salah satunya Belanda – berada di daerah dengan iklim yang sangat berbeda dengan di Indonesia, karena itulah karakter bangunannya juga menjadi sangat berbeda. Berdasarkan fakta inilah maka penelitian tentang Arsitektur kolonial Belanda di kota Malang ini menjadi menarik untuk dikaji.

Pada iklim ini hampir tidak ada perbedaan yang berarti antara musim hujan dan kemarau, rata-rata suhu udara antara 22–33°C dengan kelembapan relatif bervariasi antara 60% pada siang hari dan mendekati 95% pada malam dan pagi hari [2]. Sistem pencahayaan dan penghawaan yang kurang optimal akan menyebabkan ruang dalam bangunan menjadi lembap. Prinsip rancangan dasar bangunan pada iklim tropis lembap adalah sistem pendinginan pasif. Sistem ini bertujuan untuk mengurangi ketidaknyamanan termal di dalam bangunan. Melalui sistem pencahayaan dan penghawaan, serta pengaliran udara yang terjadi secara terus menerus, kondisi iklim yang panas dan lembap pada lingkungan di luar bangunan akan bisa dihapuskan di dalam bangunan [3]. Kenyamanan termal dan pengurangan konsumsi energi bisa dicapai melalui desain yang benar [4]. Semakin tinggi suhu, semakin besar pengaruh kelembapan udara terhadap tubuh manusia [5].

Menurut [6], Arsitektur Eropa adalah arsitektur empat musim karena itulah bangunannya lebih bersifat sebagai sebuah perlindungan dari iklim dingin yang ekstrim maka jadilah arsitekturnya dibangun dengan memakai bahan-bahan yang bersifat anorganik atau batu (batu bata) untuk menjaga agar kehangatan di dalam bangunan tidak mudah keluar. Konsep pelestarian bangunannya bersifat “abadi” dengan perancangan bangunan yang mampu menjaga dan merawat hingga bisa berusia hingga ratusan tahun. Posisi negara-negaranya yang berada jauh dari jalur kegempaan sangat memungkinkan konsep tersebut terwujud.

Hal ini menjadi sangat berbeda dengan ciri iklim di Indonesia yang dua musim dengan suhu dan kelembapan yang relatif tinggi dan kecepatan hembusan angin yang kecil. Bangunan menjadi sebuah tempat pernaungan dari panas dan hujan tanpa kita harus berlindung dari iklim. Sistem pencahayaan dan penghawaan yang menawarkan aliran udara yang diharapkan terus menerus terjadi selama dua puluh empat jam menjadi standar kenyamanan di dalam bangunan [2].

Sejak abad ke-17 di mana pada saat itu mulai ada penjajahan oleh bangsa Eropa di bumi Indonesia, sejak saat itulah tipe bangunan kolonial tumbuh dan berkembang di Indonesia. Pada abad-abad sebelumnya, bangunan rumah tinggal di Indonesia adalah bangunan-bangunan yang dikenal sebagai Arsitektur Tradisional yang berbahan bangunan organik dari kayu, bambu, ilalang. Sejak saat itulah hingga saat ini, arsitektur tradisional mulai tergeser keberadaannya dengan bangunan batu bata yang dimulai sejak jaman kolonial. Bangunan batu bata pada akhirnya mewarnai hampir seluruh kota-kota di Indonesia.

Arsitektur kolonial di Indonesia dibagi dalam urutan waktu sebagai berikut: (1) Arsitektur kolonial abad ke-19 (1850-1900); (2) Arsitektur kolonial awal abad 20 (1900-1915); (3) Arsitektur kolonial 1916-1940 [7]. Masing-masing periode waktu tersebut merepresentasikan bentuk-bentuk bangunan dengan karakteristik yang berbeda-beda.

Di Kota Malang, bangunan kolonial mulai hadir sejak tahun 1917. Kondisi geografis dengan potensi alamnya yang indah dilengkapi dengan udara yang sejuk mengundang kehadiran orang-orang Belanda untuk bermukim. Dengan semakin banyaknya jumlah orang Belanda yang datang maka mulai disusunlah Rencana Pengembangan Kota atau *Bouwplan* yang bertujuan agar perkembangan kota lebih teratur dan terarah. *Bouwplan* kota Malang dibagi menjadi delapan (I-VIII) tahap. Sebagian besar dari rencana pengembangan kota ini adalah merupakan bangunan rumah tinggal, sedangkan selebihnya merupakan bangunan-bangunan yang bersifat publik seperti: perkantoran, sekolah, gereja, kawasan perdagangan, dan sebagainya.

*Bouwplan* di Kota Malang bertujuan untuk mencukupi kebutuhan rumah tinggal bagi orang-orang Belanda yang bermukim di kota Malang yang mengalami perkembangan yang pesat.

Tidak semua *Bouwplan* di kota Malang merencanakan dan mengatur penataan rumah tinggal kecuali pada *Bouwplan* I, II, V dan VI.

*Bouwplan* I dikenal sebagai daerah *Oranjebuurt* yaitu nama-nama anggota keluarga kerajaan Belanda seperti; *Wilhelmina straat* (jalan Dr. Cipto Mangunkusumo); *Juliana straat* (jalan RA Kartini); *Emma straat* (jalan Dr. Soetomo); *Willem straat* (jalan Diponegoro); *Maurits Straat* (jalan MH. Thamrin); *Sophia straat* (jalan HOS Cokroaminoto).

*Bouwplan* II dikenal sebagai daerah *Gouverneur-Generaalbuurt* (Gubernur Jenderal pada masa Hindia Belanda) seperti: *Daendels boulevard* (jalan Kertanegara); *Van Imhoff straat* (jalan Gajahmada); *Speelman straat* (jalan Mojopahit); *Maetsuucker straat* (jalan Tumapel); *Riebeeck straat* (jalan Kahuripan); *Van Oudthoorn straat* (jalan Brawijaya); *Idenburg straat* (jalan Soerapati); *Van den Bosch straat* (jalan Sultan Agung); *Van Heutz straat* (jalan Pajajaran); *Van der Capellen straat* (jalan Sriwijaya).

Pada *Bouwplan* V direncanakan jalur baru arah Timur-Barat yang akan memotong jalur lama Utara-

Selatan. Jalur ini akan menghubungkan *Bouwplan* II dengan *Bouwplan* V dimulai dari stasiun kereta api Kota Baru Malang di jalan Kertanegara yang selanjutnya memotong jalan Kajoetangan dilanjutkan ke jalan Semeru dan berakhir di jalan Ijen dengan gunung Kawi (gunung putri tidur) sebagai *focal point*. Rumah-rumah tinggal di jalan Ijen masuk pada kategori perumahan villa yang mewah di mana jalan utamanya disusun berbentuk jalan kembar dengan jajaran pohon palemnya. Tatanan jalan dan taman yang khas dan masih bertahan hingga saat ini menjadi karakteristik pembentuk icon kota Malang.

*Bouwplan* VI dikenal sebagai daerah *Eilandenbuurt* (nama-nama pulau di Indonesia), seperti: *Lombok weg*, *Java weg*, *Soemba weg*, *Flores weg*, *Madoera weg*, *Bali weg*, *Kangean weg*, *Bawean weg*, *Sapoedi weg*, *Seram weg*.

Penelitian ini bermaksud untuk mendeskripsikan bangunan-bangunan rumah tinggal kolonial pertama yang dibangun di kota Malang yang merupakan hasil penelitian dosen dan mahasiswa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tipologi fasad rumah tinggal kolonial pada *Bouwplan* I terkait dengan model desain pada iklim tropis (panas lembap). Hasil analisis adalah untuk mengetahui apakah bangunan-bangunan tersebut sesuai atau tidak sesuai dengan iklim di Indonesia yang dua musim

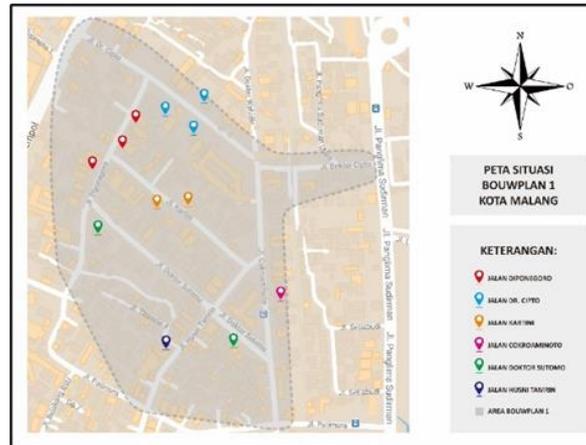
## II. METODE

Lokasi penelitian adalah rumah tinggal - rumah tinggal kolonial pada *bouwplan* 1 dengan nama jalan pahlawan Indonesia di mana pada masa kolonial daerah tersebut bernama *oranjebuurt* (nama keluarga Kerajaan Belanda). Metode penelitian yang dipakai adalah deskriptif kualitatif. Pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan data fasad depan dari beberapa rumah tinggal kolonial yang berada pada wilayah *bouwplan* I di mana pada wilayah tersebut rumah tinggalnya merupakan daerah perumahan kolonial pertama di kota Malang. Batasan untuk objek yang didokumentasikan adalah bangunan-bangunan yang relatif tidak banyak mengalami perubahan dari aslinya. Pada jalan-jalan yang termasuk di kawasan *Bouwplan* I tersebut diambil sekurang-kurangnya dua sampel rumah tinggal sebagai representasi objek penelitian.

Analisis data dilakukan dengan teknik penyandingan fasad rumah tinggal-rumah tinggal untuk dianalisis kesamaan dan perbedaannya.

## III. HASIL

Jalan yang menjadi objek pengamatan dari *Bouwplan* I meliputi: Jalan HOS. Cokroaminoto, jalan Diponegoro, jalan dr. Cipto Mangunkusumo, jalan dr. Soetomo, jalan Kartini, jalan MH. Thamrin Dari hasil pengamatan di lapangan didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 1. Peta daerah penelitian pada Bouwplan I  
Sumber: dokumentasi peneliti

TABEL I  
FASAD BANGUNAN RUMAH TINGGAL PADA *BOUWPLAN I*

Fasad Bangunan Rumah Tinggal					
Jalan HOS Cokroaminoto	Jalan Diponegoro 8	Jalan Dr. Cipto Mangunkusumo 11a	Jalan Dr. Soetomo 2	Jalan RA Kartini 14	Jalan MH. Thamrin 5
Jalan Diponegoro 9	Jalan Dr. Cipto Mangunkusumo 18	Jalan Dr. Soetomo 30	Jalan RA Kartini 17		
Jalan Diponegoro 10	Jalan Dr. Cipto Mangunkusumo				

Sumber: Dokumentasi peneliti

Dari tabel 1 yang merupakan penjabaran fasad pada Kawasan *Bouwplan I* ini, selanjutnya dilakukan identifikasi lebih terinci terhadap model atap dan teritisannya, dinding dan detail ornamen yang menyertainya serta detail pintu, jendela dan ventilasinya. Dari sini kemudian dibuat penjabaran secara sistematis untuk dapat ditemukan kesamaan dan kebedaannya. Kesimpulan dari kajian detail bangunannya ini, dapat ditarik kesimpulan terhadap perancangan bangunannya dalam menyelesaikan masalah iklim di kota Malang.

#### IV. PEMBAHASAN

##### A. Ketebalan dinding

Untuk ketinggian dinding bisa mencapai 6 meter, dengan ketebalan 2 bata. Fasad bangunan kaya akan ornamen detail-detail pintu, jendela, ventilasi. Permainan ornamen pada dinding

dapat dirasakan dengan terlihatnya batu pada bagian dinding. Ornamen juga dapat dirasakan pada gewel bangunan guna mengeksplorasi bangunan.

Dinding dengan ketebalan 30 cm merupakan syarat wajib dalam perancangan bangunan di iklim empat musim. Tujuannya adalah agar supaya udara dingin di luar bangunan tidak mudah menembus dinding bangunan dan sebaliknya panas yang sudah berada di dalam bangunan tidak mudah keluar. Bangunan sebagai sebuah tempat perlindungan dari suhu udara dingin yang ekstrim terutama pada musim dingin.

Sementara di Indonesia dengan iklim dua musimnya, yang dibutuhkan adalah dinding yang tipis dan berpori yang memungkinkan adanya aliran udara terus menerus di dalam bangunan. Tujuannya adalah untuk menghapus udara panas dan kelembapan yang tinggi.

### *B. Kemiringan dan model atap*

Pada rumah tinggal bouwplan 1 memakai atap perisai tetapi ada juga yang memakai perpaduan atap perisai dan pelana dengan kemiringan 45°.

Kemiringan atap di daerah empat musim dengan sudut 45° bahkan lebih, berfungsi untuk menurunkan salju di atap supaya tidak membebani atap, sedangkan di Indonesia kemiringan atap dibutuhkan lebih untuk mengalirkan air hujan sehingga sudut kemiringannya bisa kurang dari 45°. Dari beberapa objek rumah tinggal yang diteliti, semua mempunyai kemiringan atap minimal 45° atau lebih dengan model atap perisai dan perpaduan perisai-pelana. Untuk yang memakai model pelana ada ornamen yang diselesaikan secara detil.

Khusus pada rumah tinggal di jalan dr. Soetomo 20 ornamen diselesaikan dengan sangat indah dan detil. Rumah ini merupakan tempat tinggal dari walikota Malang yang pertama H.I. Bussemaker, karena itu bangunan di buat kesan seindah dan semegah mungkin.



Gambar .... Kemiringan dan model atap  
Sumber: Dokumentasi peneliti

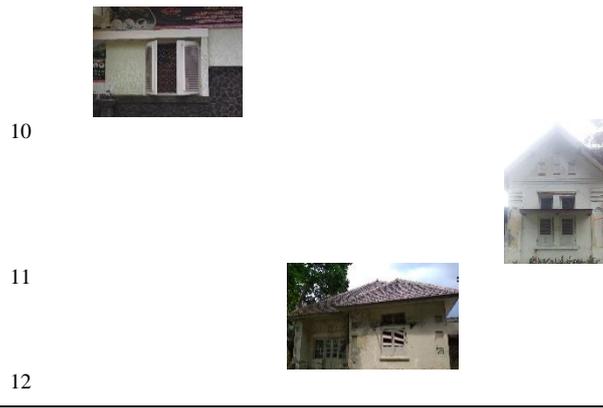
**B. Model teritisan**

Pengadaan teritisan pada beberapa bangunan hanya pada atap. Dengan rambatan panas matahari yang berlebih serta tampias hujan, terdapat beberapa bangunan yang sengaja oleh pemilik ditambahkan teritisan antara ventilasi dan pintu, jendela pada teras bangunan.

Di daerah empat musim, teritisan atap kecil bahkan kadang tidak ada sama sekali. Hal ini bertujuan agar supaya sinar matahari bisa lebih leluasa masuk ke dalam bangunan untuk menghangatkan ruang dalamnya. Sementara di Indonesia dengan kelimpahan sinar matahari, mensyaratkan bangunan berteritisan lebar agar supaya panas matahari dan tampias air hujan tidak masuk ke dalam bangunan.

Rumah tinggal yang diteliti menunjukkan ada tiga tipe teritisan yaitu rumah dengan adanya teritisan asli yang sudah dirancang sejak awal dibangun, tanpa teritisan dan teritisan tambahan yang ditambahkan karena kebutuhan dari si penghuni rumah.

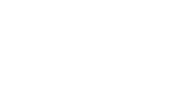
Objek	Teritisan asli	Tanpa teritisan	Teritisan tambahan
1			
2	 		
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			



*C. Detil pintu, jendela dan ventilasi*

Ukuran pintu dan jendela relatif besar dan ventilasi bangunan terpisah dari pintu dan jendela dengan ukuran yang besar.

Pintu, jendela dan ventilasi pada rumah tinggal-rumah tinggal yang diteliti ini berukuran besar tidak sesuai dengan ukuran tubuh orang Indonesia. Hal ini karena rumah tinggal disesuaikan pemakaiannya untuk ukrun tubuh orang Belanda.

Objek penelitian	Detil pintu-jendela-ventilasi	
		
		
		
		
		
		
		
		



## V. KESIMPULAN

Bahwa ada negara dengan iklim 4 musim kemiringan atap  $45^\circ$  digunakan untuk meluncurkan salju. Ketinggian dinding, besarnya pintu, jendela dan ventilasi disesuaikan dengan proporsi tubuh orang Belanda. Bangunan 4 musim tidak perlu pengadaan teritisan karena menghalangi panas masuk kedalam bangunan. Ketebalan dinding 2 bata difungsikan untuk isolasi bangunan terhadap iklim yang ekstrim dingin. Pengadaan ornamen merupakan upaya untuk memeperindah fasade bangunan. Tipologi bangunan rumah tinggal pada Bouwplan I masih kental dalam desain bangunan Belanda yang 4 musim.

Tipologi fasad bangunan rumah tinggal pada *Bouwplan I* kota Malang masih banyak menerapkan persyaratan bangunan pada iklim moderat atau empat musim seperti: pemakaian dinding yang tebal, kemiringan atap di atas  $30^\circ$  dengan teritisan yang tidak cukup panjang untuk menahan masuknya sinar matahari ke dalam bangunan dan menahan tampias air hujan, model pintu dan jendela yang besar yang kurang sesuai dengan ukuran normal orang Indonesia. Pada akhirnya bangunan-bangunan tersebut mengalami penyesuaian atau penambahan elemen-elemen bangunan yang berfungsi untuk mengantisipasi iklim dua musim, semisal: penambahan teritisan pada teras atau di atas pintu dan jendela.

Untuk lebih menguatkan hasil penelitian kualitatif ini akan lebih ideal bila dilanjutkan ke penelitian yang bersifat kuantitatif, untuk mengetahui tingkat kenyamanan iklim mikro di dalam bangunan melalui pengukuran suhu dan kelembapannya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Pogram Studi Arsitektur Universitas Merdeka Malang yang telah membiayai penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] G. Lippsmeier, *Tropenbau Building in The Tropics*, 2 ed., Munchen, 1980.
- [2] N. C. Idham, *Arsitektur dan Kenyamanan Termal*, Yogyakarta: ANDI OFFSET, 2016.
- [3] H. Feriadi and N. H. Wong, "Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia," *Building and Environment*, vol. 36:, pp. 614-626, 2004.
- [4] T. H. Karyono, *Green Architecture: Pengantar pemahaman arsitektur hijau di Indonesia*, 1st. ed., Jakarta: Rajawali Pers, 2010.
- [5] T. H. Karyono, "Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta-Indonesia," *Building and Environment*, vol. 35:, pp. 77-90, 2000.
- [6] H. Pumomo and Rizal, "Pengaruh kelembaban, temperatur udara dan beban kerja terhadap kondisi faal tubuh manusia.," *Logika*, vol. 4, pp. 35-47, 2000.
- [7] J. Prijotomo, *Prijotomo Membenahi Arsitektur Nusantara*, Surabaya: Watu Lanas Grafika, 2018.
- [8] Handinoto and P. H. Soehargo, *Perkembangan Kota & Arsitektur Kolonial Belanda di Malang*, Yogyakarta: Andi, 1996.

# Virtual Expo UMKM dengan Atap Panggung Tiup: Sebuah solusi pameran dengan protokol covid-19 di kawasan perkotaan.

Hery Budiyanto<sup>1</sup>, Aries Boedi Setiawan<sup>2</sup>, Erna Winansih<sup>3</sup>, Muhammad Iqbal<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup> Prodi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang

<sup>2</sup> Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang

<sup>4</sup> Prodi Magister Arsitektur, Pasca Sarjana, Universitas Merdeka Malang  
Jalan Taman Agung 1 Malang, Indonesia

<sup>1</sup>hery.budiyanto@unmer.ac.id (penulis korespondensi)

**Abstrak**— Pemasaran produk UMKM melalui Pameran merupakan sarana efektif dalam penjualan produk UMKM di Area Perkotaan. Namun Wabah COVID-19 yang merebak pada awal tahun 2020 membawa dampak yang signifikan dalam kehidupan umat manusia di seluruh dunia. Beberapa alternatif pemasaran tanpa tatap muka adalah secara online, antara lain: e-Commerce, e-Marketplace, dan Pameran Virtual. Pameran virtual dapat menjadi solusi di tengah larangan berkerumun saat pembatasan sosial berskala besar (PSBB) di Perkotaan Indonesia. Pameran ini merupakan acara yang dapat disaksikan di komputer dan telepon genggam dengan menggunakan internet secara langsung (live streaming) maupun melalui channel Youtube darimana saja dan kapan saja. Pameran virtual bertajuk “Virtual Expo dan Workshop UMKM Kota Malang” merupakan aplikasi dari Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi berupa panggung portable dan atap panggung tiup dengan energi mandiri fotovoltaik. Penggunaan energy surya untuk kebutuhan listrik pameran merupakan salah satu penerapan arsitektur hijau. Metode penelitian adalah *action research* dengan data kualitatif dan kuantitatif. Pameran virtual ini telah berhasil dilaksanakan di Universitas Merdeka Malang dengan melibatkan 6 komunitas UMKM di Malang Raya yang dilaksanakan dalam waktu 2 jam. Pengambilan gambar dan video terhadap produk dan wawancara peserta pameran serta workshop disiarkan langsung (*live streaming*) serta dimuat dalam waktu 20 menit di Channel Youtube. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada masa pandemi dengan protocol covid-19 masih dapat dilaksanakan pameran produk UMKM di perkotaan dengan cara virtual expo.

**Kata kunci**— covid-19, Virtual Expo, panggung tiup, energi mandiri, perkotaan.

**Abstract**— Marketing of Micro Small and Medium Enterprise (MSME) products through exhibitions is an effective means of selling MSME products in urban areas. However, the COVID-19 outbreak that broke out in early 2020 had a significant impact on the lives of mankind around the world. Some of the non face-to-face marketing alternatives are online, including: e-Commerce, e-Marketplace, and Virtual Exhibition. Virtual exhibitions can be a solution amid the ban on crowding during large-scale social restrictions (PSBB) in urban areas in Indonesia. This exhibition is an event that can be watched on computers and mobile phones using the internet directly (live streaming) or via Youtube channels from anywhere and anytime. The virtual exhibition entitled "Virtual Expo and MSME Workshop in Malang City" is an application of the Higher Education Leading Research in the form of a portable stage and an inflatable stage roof with independent photovoltaic energy. The use of solar energy for the exhibition's electricity needs is one of the applications of green architecture. The research method is action research with qualitative and quantitative data. This virtual exhibition has been successfully carried out at Merdeka University Malang by involving 6 MSME communities in Malang Raya which was held within 2 hours. Taking pictures and videos of products and interviews with exhibitors and workshops broadcast live (live streaming) and published within 20 minutes on the Youtube Channel. The results obtained from this study indicate that during the pandemic with the Covid-19 protocol, MSME product exhibitions can still be held in cities by means of a virtual expo.

**Keywords**— covid-19, Virtual Expo, inflatable stage, independent energy, urban.

## I. PENDAHULUAN

Wabah COVID-19 yang merebak pada awal tahun 2020 membawa dampak yang signifikan dalam kehidupan umat manusia di seluruh dunia. Salah satu dampak pandemi COVID-19 ialah UMKM di Indonesia, berdasarkan data dari Kementerian koperasi yang menggambarkan bahwa 1.785 koperasi dan 163.713 pelaku Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) terdampak pandemi [1]. Usaha mengurangi penyebaran penyakit berujung pembatasan mobilitas secara masif. Hal ini berimbas pada melemahnya sektor UMKM dengan estimasi kerugian hingga miliaran rupiah. Salah satu sarana untuk

meningkatkan penjualan UMKM adalah melalui pameran, dimana pengusaha UMKM dapat bertemu langsung dengan pelanggan dan pembeli pada pameran yang terjadwal waktu dan tempatnya. Namun akibat pandemi saat ini maka 90 persen kegiatan pameran skala besar terpaksa ditunda bahkan dibatalkan [2].

### *Struktur Pneumatik Tiup*

Struktur membran pneumatik merupakan salah satu sistem struktur *soft shell*, dimana struktur dapat berdiri akibat perbedaan tekanan udara di dalam struktur pneumatik dengan tekanan udara di luar struktur (Sukawi, 2011). Struktur pneumatik dibagi menjadi 2 kelompok besar yaitu *air supported structure* dan *air inflated structure* [3]. a) *air supported structure* yang disebut sebagai *single membrane structure* karena hanya membutuhkan satu lapis membran dan membutuhkan tekanan udara rendah (sekitar 2-20 pon per feet diatas tekanan atmosfer). b) *air inflated structure* (gambar 1) disebut juga *double membrane structure*.



Gambar 1: Struktur Pneumatik yang Digelembungkan Udara (*Air Inflated*)  
(Sumber: [3])

### *Pemasaran UMKM Secara Online*

Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) merupakan salah satu bidang yang memberikan kontribusi yang signifikan dalam memacu pertumbuhan ekonomi Indonesia. Hal ini dikarenakan daya serap UKMM terhadap tenaga kerja yang sangat besar dan dekat dengan rakyat kecil. Tetapi UKMM yang ada di Indonesia masih menghadapi berbagai masalah antara lain masalah promosi, pemasaran dan penjualan penjualan produk yang dihasilkan. Seiring perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, maka pameran juga telah dimanfaatkan untuk pemasaran dan penjualan produk-produk melalui dunia maya yang sering disebut E-commerce. Penjualan dan pemasaran produk melalui dunia maya mempunyai banyak keuntungan, yaitu cakupan yang luas, tidak mengenal ruang dan waktu, dapat dilakukan kapan saja dan dimana saja. Oleh karena itu E-commerce patut dicoba untuk membantu mengembangkan UMKM yang ada di Indonesia [4].

e-Marketplace adalah segala usaha yang dilakukan untuk melakukan pemasaran suatu produk atau jasa melalui media internet atau jaringan world wide web. Sedangkan place dalam kamus bahasa Inggris artinya adalah tempat. Jadi, pengertian dari e-Marketplace adalah tempat atau wadah untuk melakukan pemasaran produk atau jasa melalui atau menggunakan media internet [5]. Pesatnya perkembangan teknologi informasi dan komunikasi atau yang dikenal dengan istilah Information and Communication Technology (ICT) dan internet telah merambah berbagai bidang kehidupan tidak terkecuali bidang bisnis dan perdagangan [6]. Dengan adanya internet dan ICT proses pemasaran dan penjualan dapat dilakukan kapan saja tanpa terikat ruang dan waktu. Dengan kemampuan web atau internet yang bisa mengirimkan berbagai bentuk data seperti teks, grafik, gambar, suara, animasi, atau bahkan video, maka banyak kalangan bisnis yang memanfaatkan teknologi ini dengan membuat homepage untuk mempromosikan usahanya. Kini hampir semua lapisan masyarakat (terutama di negara maju) sudah sangat terbiasa dengan web ini, karena hampir segala jenis informasi bisa diperoleh.

### *Pameran*

Pameran merupakan salah satu saluran komunikasi bagi UMKM untuk memperkenalkan produk menemui pelanggan secara langsung, memperoleh pelanggan baru, menjalin komunikasi dan kerjasama dengan mitra bisnis, meningkatkan citra dan memperoleh informasi tentang pesaing. Pameran menjadi salah satu media penting bagi UMKM untuk memperluas pasar dan melakukan kontak bisnis dengan pelanggan maupun mitra, yang pada akhirnya diharapkan mampu meningkatkan kinerja keuangan dan nonkeuangan UMKM [7]. Sebuah pameran dinilai positif oleh peserta pameran (dalam hal ini UMKM, Pemerintah, BUMN dan Swasta), jika peserta memiliki peluang untuk memenuhi target penjualan, memperkenalkan produk baru, memperoleh informasi teknologi maupun strategi peserta lain atau pesaing, meningkatkan citra, menemui pelanggan lama dan memperoleh pelanggan baru. Nilai tersebut (yang dikenal dengan Nilai Pameran), diperoleh dari pengalaman peserta dalam tatap muka komunikasi, tatap muka layanan, dan tatap muka penggunaan jasa

### *Pameran Virtual*

Pameran virtual online (VE) semula dianggap hanya sebagai pelengkap untuk menunjang pameran fisik karena VE mengatasi keterbatasan ruang, waktu dan lokasi dan VE memungkinkan para pengunjung global untuk mengakses produk atau benda menarik yang disimpan di pameran selama 24 jam. VE yang dibangun dengan baik dapat menawarkan pengalaman alternatif untuk "hal yang nyata" dan terbuka peluang lain yang mencakup belajar, lebih banyak konten di luar pameran fisik, partisipasi aktif dan kontribusi pengunjung melalui forum dan unggahan, belanja online, dan lain-lain [8].

Pameran virtual dapat menjadi solusi di tengah larangan berkerumun saat pembatasan sosial berskala besar (PSBB). Pameran virtual merupakan acara yang dapat disaksikan di komputer dan telepon genggam dengan menggunakan internet dimana saja dan kapan saja. Pameran ini merupakan salah satu cara terbaik untuk menyebarkan informasi digital di area apa pun termasuk memamerkan produk dan jasa UMKM dengan waktu pengunjung 24 jam per hari dan 365 hari dalam setahun. Pameran online memberikan pengalaman praktis dan solusi hemat biaya dan mengatasi keterbatasan pameran fisik dan juga memberikan interaktivitas yang sangat baik untuk pengguna. Pameran virtual menampilkan koleksi digital replika peristiwa atau objek nyata dikembangkan dengan bantuan alat multimedia dan virtual reality menghasilkan lingkungan simulasi di komputer, dan dikirimkan melalui web sehingga pengguna akan mendapatkan hal yang sama kepuasan saat mereka melihat atau menggunakan objek fisik dalam kehidupan nyata [9]. Pameran virtual dan workshop kerajinan rajut bertajuk "Virtual Expo dan Workshop UMKM Kota Malang telah dilaksanakan di Universitas Merdeka Malang melibatkan beberapa komunitas UMKM, mengaplikasikan panggung portable dan atap panggung tiup dengan energi mandiri fotovoltaik [10].

Permasalahan yang dihadapi oleh UMKM di masa pandemi COVID-19 adalah pemasaran produk yang biasanya dilakukan melalui penjualan langsung dan Pameran UMKM. Pemerintah telah memberlakukan aturan tidak diperkenankan adanya pengumpulan massa sehingga tidak ada acara Pameran Offline UMKM. Sebagai gantinya dilakukan Pameran UMKM secara virtual. Dalam pameran UMKM umumnya disediakan panggung hiburan konvensional yang memerlukan waktu lebih dari 1 hari untuk perakitan dan pembongkarannya. Langkah solusinya adalah penggunaan panggung portable dan atap panggung tiup yang cepat bangun-bongkar dengan energi listrik mandiri untuk kebutuhan listrik panggung.

## II. METODE

Artikel ini merupakan hasil penelitian tindakan (action research) yang menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan studi kasus Virtual Expo dan Workshop UMKM yang

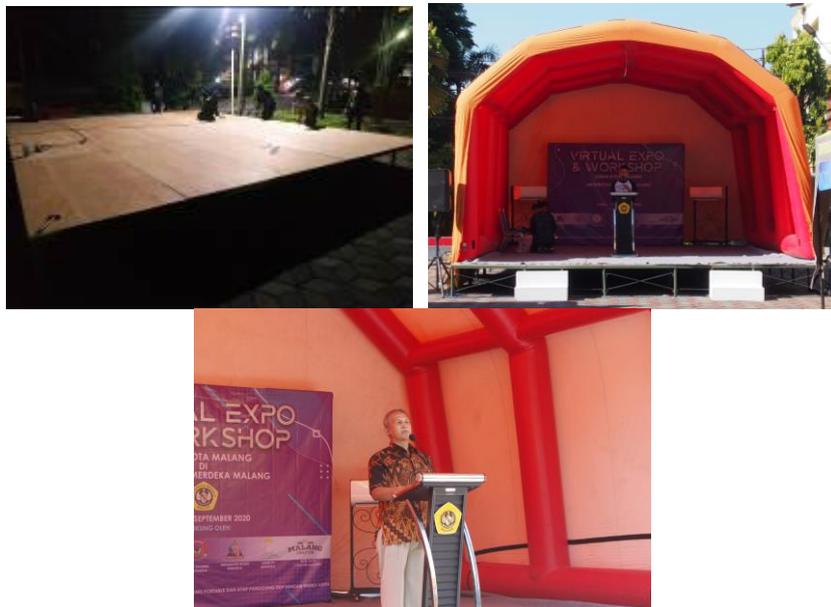
diadakan di Halaman Parkir Kantor Pusat Universitas Merdeka Malang. Terdapat 2 aspek yang menjadi fokus yaitu: a) panggung portable dan atap panggung tiup, 2) pelaksanaan virtual expo dan workshop UMKM.

### III. HASIL

#### **Panggung Hiburan Menggunakan Atap Panggung Tiup**

Panggung hiburan untuk Pameran UMKM dibuat dari bahan multipleks yang didukung oleh rangka baja secara portable, sedangkan atap panggung berupa kain tarpaulin-PVC menggunakan struktur pneumatik tiup dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang merupakan hasil Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT). Kelebihan dari panggung ini adalah kecepatan dalam membangun, hanya diperlukan waktu 2 jam serta membutuhkan 2 orang untuk merakit serta membongkarnya. Atap panggung tiup yang terbuat dari kain tarpaulin, hanya membutuhkan waktu 10 menit untuk mendirikannya dan membutuhkan 2 orang untuk meniup menggunakan peralatan blower. Kebutuhan listrik untuk blower dan sound system dipenuhi oleh PLTS yang mempunyai kapasitas 1.000 WH [11].

Kelebihan atap panggung ini adalah keindahan yang diciptakan dari bahan tarpaulin PVC dengan bentuk lengkung sehingga fokus kegiatan virtual expo berada pada panggung dan atap panggung tiup. Sedangkan kelemahan atap panggung tiup ini adalah pada bahan kain tarpaulin PVC. yang tidak dapat menahan panas di waktu siang. Perbedaan suhu udara di luar dan di bawah panggung mencapai antara 1 hingga 2 derajat celsius sehingga di siang hari suhu luar dapat mencapai 38 derajat celsius. Hal ini diatasi dengan pemasangan 2 buah AC portable sehingga suhu di bawah atap panggung bisa dipertahankan maksimum 25 derajat Celsius [12].



Gambar 2. Panggung Portable, Atap Panggung Tiup dengan Energi Surya

#### **Virtual Expo di Universitas Merdeka Malang**

Virtual Expo dilaksanakan karena adanya larangan berkumpul dalam jumlah banyak terkait dengan pandemi COVID-19 sehingga diperlukan cara lain untuk tetap melakukan pameran produk tetapi tetap mengikuti protocol COVID-19 [13]. Subuah acara dilakukan berbentuk e-Marketplace [14] berupa Virtual Expo [8] [15] di Lapangan Parkir Unmer Malang ini dimulai pada pukul 08.00 hingga 10.00 WIB, diikuti oleh 6 Paguyuban/Asosiasi sebagaimana tabel berikut:

TABEL I  
PESERTA VIRTUAL EXPO

NO	KOMUNITAS	BIDANG USAHA
1.	Asosiasi Perajin Kota Malang	Kerajinan
2.	Komunitas Crafter Plat N	Kerajinan & Fashion
3.	HOBIKAYU Malang Chapter	Kerajinan dan Furnitur Kayu
4.	AKU Kuliner Indonesia	Kuliner
5.	Himpunan Pengusaha Muda Indonesia Perguruan Tinggi (HIPMI PT)	Kerajinan, Kuliner, Jasa
6.	Inkubator Bisnis Merdeka Malang	Kerajinan, Kuliner, Jasa

Masing-masing peserta menata produknya pada tenda kerucut dengan penataan sebagaimana biasanya dilakukan pada acara pameran offline lengkap dengan penjaga stan. Masing-masing komunitas diwawancara, diambil gambar foto dan videonya dan disiarkan secara langsung (live streaming) melalui Channel Youtube Universitas Merdeka Malang. Pengunjung yang tidak sempat menyaksikan pameran virtual secara langsung dapat melihatnya melalui Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=-F-Eic0L41M&t=7041s>. Hingga saat ini sudah ada 417 pengunjung pameran virtual ini secara online.



Gambar 3. Tenda Stan Komunitas UMKM

### Workshop

Workshop pembuatan masker rajut dilaksanakan di atas panggung, melibatkan 12 peserta dengan 2 orang instruktur, dilaksanakan selama 3 jam. Para peserta workshop adalah ibu-ibu anggota RIUM Unmer Malang yang sama sekali tidak memiliki ketrampilan merajut. Dengan metode pembelajaran dan praktek secara langsung oleh Galeri Vissti, maka para peserta mampu membuat masker rajut hanya dalam waktu 3 jam. Suasana tempat pelatihan rajut terasa nyaman meskipun kegiatan dilaksanakan di siang hari. Hal ini dimungkinkan karena ruangan dibawah atap panggung dikondisikan suhunya menggunakan 2 buah AC portable sehingga suhu maksimumnya 25 derajat Celsius.



Gambar 4. Workshop Kerajinan Rajut

### Pengujian

Proses pembuatan panggung *portable* memerlukan waktu 2 minggu, Proses perakitan panggung *portable* memerlukan waktu 50 menit, sedangkan proses pengelembungan atap panggung *inflatable* memerlukan waktu hanya 10 menit . Rangkaian sumber energi listrik

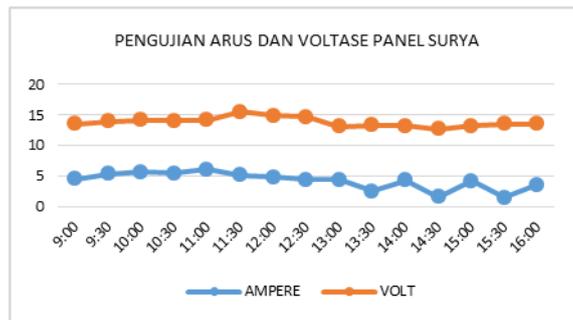
berupa 4 buah panel fotovoltaik diletakkan pada 2 buah *portable bracket* yang memerlukan waktu 20 menit.

Tekanan udara minimum yang dibutuhkan untuk tegaknya tabung membran tiup adalah 0,7 psi, tekanan ini dicapai dalam waktu 6 menit dari awal penggelembungan



Gambar 5. Grafik Tekanan Dalam Tabung Membran Atap Panggung Tiup

Hasil pengujian terhadap 2 buah panel surya masing-masing 100 wp adalah sebagai berikut: Pada cuaca cerah, 1 buah panel surya 100 WP dapat menghasilkan rata-rata 4,2 Amper 13,8 Volt, sedangkan ketika cuaca mendung arus menurun hingga 1,4 Amper 6,07 Volt. Energi listrik yang tersimpan di dalam baterai sudah dapat digunakan untuk menggerakkan blower dengan daya 550 Watt tegangan 220 Volt, blower ini bekerja untuk meniup atap panggung tiup selama 6 menit dan mengosongkan angin selama 12 menit.



Gambar 6. Grafik Arus dan Voltase Panel Surya

#### IV. PEMBAHASAN

Panggung portabel dan atap panggung tiup energi independen sangat cocok untuk kebutuhan pameran virtual UKM, ini karena kecepatan, kemudahan dan kenyamanan struktur bangunan. Terbukti dalam Tes Laboratorium dan Tes Lapangan yang diperoleh dapat diandalkan, waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan panggung portabel 2 jam, sedangkan untuk pemasangan penutup panggung tiup memerlukan 6 menit dan membongkar 10 menit. Atap panggung ini mampu mengurangi rata-rata suhu di bawah penutup 2,2 derajat C. Energi listrik untuk blower dan sistem suara portabel dapat dipenuhi oleh 4 panel sel surya fotovoltaik, di cuaca cerah cuaca menghasilkan minimum arus 13,2 Amper dan tegangan 19,2 volt, arus listrik ini disimpan dalam 2 buah battery masing-masing kapasitas 100 AH sehingga mampu mensuplai listrik sebesar 1.000 WH, jadi tidak membutuhkan listrik generator atau listrik.

#### V. KESIMPULAN

Panggung portable dan atap panggung tiup dengan energi surya telah digunakan sebagai fasilitas utama pameran virtual expo dan workshop kerajinan rajut. Panggung portable dapat dibangun dalam waktu 2 jam dan atap panggung tiup disiapkan dalam waktu 10 menit.

Kenyamanan di bawah atap panggung dapat dicapai dengan suhu ruang maksimum 25 derajat Celsius dengan bantuan AC portable sehingga aktivitas di bawah atap panggung terasa nyaman.

Aktivitas virtual expo melibatkan 6 komunitas ekonomi kreatif kerajinan, fashion, dan kuliner, berlangsung selama 2 jam menghasilkan sebuah pameran interaktif yang dapat disaksikan secara langsung, melalui live streaming maupun secara online pada channel youtube Universitas Merdeka Malang.

Aktivitas workshop kerajinan rajut yang membuat produk masker rajut telah berlangsung dalam waktu 3 jam diikuti oleh 12 peserta dan 2 orang instruktur. Workshop ini telah berhasil meningkatkan skill peserta dari tidak bisa membuat produk rajut hingga mampu membuat masker rajut hanya dalam waktu 3 jam.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada:

1. Kementerian RISTEK/BRIN yang telah menyediakan dana bagi pelaksanaan PTUPT tahun 2018-2020;
2. Prodi Arsitektur, Prodi Elektro, Prodi Ilmu Komunikasi, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Merdeka Malang, yang telah mendukung pelaksanaan penelitian dan pengabdian ini.
3. Komunitas Crafter Plat N, HOBIKAYU Malang Chapter, Asosiasi Perajin Kota Malang, AKU Kuliner, HIPMI PT Unmer Malang, Inkubator Bisnis Unmer Malang, Galeri Vissti, yang telah berpartisipasi dalam Virtual Expo & Workshop UMKM di Unmer Malang.

#### REFERENSI

- [1] A. Amri, "Dampak Covid-19 Terhadap UMKM di Indonesia," *J. Brand*, vol. 2, no. 1, pp. 147–153, 2020.
- [2] Antara, "Pameran Virtual Jadi Solusi di," *Republika*, Jakarta, Jun-2020.
- [3] J. Jauhari, "Upaya Pengembangan Usaha Kecil dan Menengah (UMKM) dengan Memanfaatkan E-Commerce," *J. Sist. Inf.*, vol. 2, no. 1, pp. 159–168, 2010.
- [4] T. K. Ahsyar *et al.*, "E-MARKETPLACE MEDIA PENGEMBANGAN PROMOSI USAHA MIKRO KECIL DAN MENENGAH DINAS KOPERASI UMKM KOTA PEKANBARU," *J. Ilm. Rekayasa dan Manaj. Sist. Inf.*, vol. 6, no. 1, pp. 43–54, 2020.
- [5] Y. Zhang, "Data integration in B2B E-commerce," *Adv. Mater. Res.*, vol. 989–994, pp. 4802–4805, 2014.
- [6] R. El Maghviroh and Supriyati, "Pameran dan Kinerja UMKM: Sebuah Evaluasi Berkelanjutan," *J. Res. Appl. Account. Manag.*, vol. 1, no. 3, p. 211, 2016.
- [7] S. Foo, "Online Virtual Exhibitions: Concepts and Design Considerations," *DESIDOC J. Libr. Inf. Technol.*, vol. 28, no. 4, pp. 22–34, 2008.
- [8] C. K. Ramaiah, "Trends in online exhibitions," *DESIDOC J. Libr. Inf. Technol.*, vol. 34, no. 2, pp. 83–86, 2014.
- [9] Gim & Jon, "Bangkitkan Potensi Ekonomi Kreatif," Malang, 14-Jun-2020.
- [10] H. Budiyanto, E. Winansih, A. B. Setiawan, and M. I. Setiawan, "Portable Stage and Pneumatic Air Inflated Roof Structure with Independent Energy as a Means of Exhibition of SME Products," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 6, no. 9, pp. 48–51, 2018.
- [11] H. Budiyanto, A. B. Setiawan, E. Winansih, and M. Iqbal, "The Inflatable Roof Stage Structure with Independent Photovoltaic Energy," in *4th INTERNATIONAL CONFERENCE of Graduate School on Sustainability (ICGSS) 2019*, 2019, pp. 1–9.
- [12] H. Budiyanto, P. Tutuko, E. Winansih, A. B. Setiawan, and M. Iqbal, "Virtual expo menggunakan panggung tiup untuk umkm di kota malang sebagai solusi pameran online dimasa pandemi covid-19," *Abdimas Univ. Merdeka Malang*, 2020.
- [13] D. H. Santoso and A. Santosa, *Covid-19 Dalam Ragam Tinjauan Perspektif*, 1st ed. Yogyakarta: MBridge Press, 2020.
- [14] M. Abdelrhim and A. Elsayed, "The Effect of COVID-19 Spread on Egyptian Consumer Behavior," *SSRN Electron. J.*, vol. 13, no. 3, pp. 1–14, 2020.
- [15] L. C. Khoon and C. K. Ramaiah, "An Overview of Online Exhibitions," *DESIDOC J. Libr. Inf. Technol.*, vol. 28, no. 4, pp. 7–21, 2008.