

**PENGARUH PERKUATAN PENGEKANGAN EKSTERNAL
PADA KOLOM BETON PERSEGI YANG SUDAH DIBEKANI
MENGUNAKAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*
(CFRP) TERHADAP GAYA TEKAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana**



**ROBERT AGUSTINUS ADI RATO
19041000134**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERDEKA MALANG
2024**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : ROBERT AGUSTINUS ADI RATO

NIM : 19041000134

Tanda Tangan :



Tanggal : 19 Maret 2024

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH PERKUATAN PENGEKANGAN EKSTERNAL PADA KOLOM BETON PERSEGI YANG SUDAH DIBEKANI MENGUNAKAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* (CFRP) TERHADAP GAYA TEKAN

Dipersiapkan dan disusun oleh:
ROBERT AGUSTINUS ADI RATO
19041000134

Telah dipertahankan di Dewan Penguji
Pada 28 Februari 2024

Susunan Dewan Penguji:

Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Tri Leksono, MT

Dosen Penguji 2 : Ir. Dionisius Triprijo Arry B, MT

Dosen Saksi : Eko Indah Susanti, ST., MT



Memeriksa dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Ir. Bambang Tri Leksono, MT)
NIDN. 0726116101



(Dr. Ninik Catur Endah Yulianti, ST., MT)
NIDN. 0004097002

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu Persyaratan untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik.

Malang, 19 Maret 2024

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



(Dr. Ninik Catur Endah Yulianti, ST., MT)
NIDN. 0004097002

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyusun tugas akhir ini. Dari lubuk hati paling dalam, penulis mempersembahkan tugas akhir dengan judul "Pengaruh Perkuatan Pengekangan Eksternal pada Kolom Beton Persegi yang Sudah Dibebeani menggunakan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) Terhadap Gaya Tekan". Tujuan tugas akhir ini untuk memenuhi syarat kelulusan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang.

Tugas akhir ini tidak terwujud tanpa dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang berperan serta dalam penyusunan tugas akhir ini, terutama kepada:

1. Dr. Ninik Catur Endah Yuliati, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang.
2. Eko Indah Susanti, ST., MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang.
3. Ir. Bambang Tri Leksono, MT. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, waktu, masukan, dan dukungan dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
4. Dr. Ninik Catur Endah Yuliati, ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah membantu penulis dalam menyusun Tugas Akhir.
5. Kedua orang tua yang selalu memberikan dana, nasihat, motivasi dan doa.

Demikian tugas akhir ini dibuat, penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari kekurangan, sehingga penulis berharap adanya saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Malang, 28 Februari 2024

ROBERT AGUSTINUS A. RATO

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas akademik Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : ROBERT AGUSTINUS ADI RATO

NIM : 19041000134

Jenis Tugas Akhir : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENGARUH PERKUATAN PENGEKANGAN EKSTERNAL PADA KOLOM BETON PERSEGI YANG SUDAH DIBEKANI MENGGUNAKAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)* TERHADAP GAYA TEKAN.

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Malang

Pada Tanggal : 19 Maret 2024



an,

ROBERT AGUSTINUS ADI RATO

**PENGARUH PERKUATAN PENGEKANGAN EKSTERNAL
PADA KOLOM BETON PERSEGI YANG SUDAH DIBEBANI
MENGUNAKAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*
(CFRP) TERHADAP GAYA TEKAN**

ROBERT AGUSTINUS ADI RATO

ABSTRAK

Kerusakan pada beton dapat disebabkan karena kegagalan desain, kelebihan beban serta pelaksanaan yang kurang baik. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh perkuatan pengekangan eksternal pada kolom beton persegi yang sudah dibebani menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap gaya tekan.

Benda uji yang digunakan kolom beton persegi ukuran 15 cm x 15 cm x 30 cm yang lebih dahulu diuji tekan pada umur 28 hari dengan batasan alat 85%Pn. Selanjutnya dipasang perkuatan pengekangan eksternal berupa CFRP. Benda uji berjumlah 30 buah terdiri dari 3 benda uji beton normal dan 27 benda uji dengan variasi pengekangan dibagi menjadi 3 populasi. Mutu beton rencana 21,9 Mpa. Pengujian gaya tekan beton dilakukan dengan alat uji tekan beton (compression machine test) berdasarkan standar ASTM-C39.

Hasil penelitian benda uji dengan nilai rata-rata gaya tekan beton tertinggi terdapat pada variasi spasing 0, lebar 18 cm dan jumlah lilitan 4 kali sebesar 71,09 ton, untuk nilai rata-rata gaya tekan terkecil benda uji dengan spasing 2,5 cm, lebar 7 cm dan jumlah lilitan 4 kali sebesar 57,05 ton.

Kata Kunci: Pengekangan eksternal CFRP, Spasing, Lebar, Jumlah lilitan, Beton telah rusak, perbaikan gaya tekan.

***EFFECT OF EXTERNAL RESTRAINT REINFORCEMENT
ON SQUARE CONCRETE COLUMNS THAT HAVE BEEN
LOADED USING CARBON FIBER REINFORCED POLYMER
(CFRP) AGAINST COMPRESSIVE FORCE***

ROBERT AGUSTINUS ADI RATO

ABSTRACT

Damage to concrete can be caused by design failure, overload and poor implementation. The aim of this research is to determine the effect of strengthening external restraints on square concrete columns that have been loaded using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) on compressive forces.

The test object used was a square concrete column measuring 15 cm x 15 cm x 30 cm which was first tested for compression at the age of 28 days with a tool limit of 85% Pn. Next, external restraint reinforcement in the form of CFRP is installed. There were 30 test specimens consisting of 3 normal concrete specimens and 27 specimens with variations in restraint divided into 3 populations. The planned concrete quality is 21.9 Mpa. Concrete compression force testing is carried out using a compression machine test based on the ASTM-C39 standard.

The research results of the test object with the highest average value of concrete compressive force were found in the spacing variation of 0, width 18 cm and the number of turns 4 times was 71.09 tonnes, for the smallest average value of compressive force for the test object with spacing of 2.5 cm, width 7 cm and number of windings 4 times amounting to 57.05 tons.

Keywords: *CFRP external restraints, Spacing, Width, Number of turns, Concrete has been damaged, repair of compressive forces.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Pengertian Beton	5
2.2.1 Pengertian Beton	5
2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton	6
2.2.3 Bahan Penyusun Beton	7
2.2.4 Sifat-sifat Beton	12
2.3 Gaya Tekan Beton Tulangan Persegi	13
2.3.1 Gaya Tekan Aksial Nominal (P_n)	13
2.3.2 Gaya Tekan Aksial Rencana (ϕP_n)	14

2.4 Teori Pengekangan	14
2.4.1 Perilaku Beton Terkekang	14
2.4.2 Metode Pengekangan Eksternal	15
2.4.3 Mekanisme Keruntuhan Beton Terkekang	16
2.4.4 Perkuatan Pengekangan CFRP	16
2.4.5 Perkuatan Kolom Beton Persegi CFRP	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Program Penelitian	19
3.2 Bahan dan Peralatan	19
3.2.1 Bahan	19
3.2.2 Alat	23
3.3 Benda Uji	28
3.4 Pembuatan Benda Uji	31
3.4.1 Tahap Persiapan	31
3.4.2 Tahap Pengujian Bahan Dasar Beton	31
3.4.3 Rencana Campuran Beton (Concrete Mix Design)	32
3.4.4 Tahap Pembuatan Benda Uji	32
3.4.5 Pengujian Tekan Beton Normal	33
3.5 Pemasangan Pengekangan Eksternal CFRP	34
3.6 Pengujian Tekan Beton Terkekang	35
3.7 Analisa Data	35
3.8 Diagram Alir Penelitian	35
BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN	37
4.1 Deskripsi Umum	37
4.2 Hasil Pengujian Material	37
4.2.1 Pengujian Agregat Halus	37

4.2.2 Pengujian Agregat Kasar	38
4.2.3 Pengujian Tarik Baja Tulangan	39
4.2.4 Trial Mix Benda Uji	39
4.3 Perhitungan Kebutuhan Bahan Campuran Beton	40
4.3.1 Perhitungan Kebutuhan Material Benda Uji Kolom Beton Persegi	40
4.3.2 Kebutuhan Material Kolom Beton Persegi untuk 1 Benda Uji.....	41
4.4 Pembuatan Benda Uji Kolom Beton Persegi	41
4.5 Pengujian Gaya Tekan Kolom Beton Persegi	47
4.5.1 Mekanisme Keruntuhan Kolom Beton Persegi.....	48
4.5.2 Hasil Uji Gaya Tekan Beton Normal	49
4.5.3 Perhitungan Gaya Tekan Nominal (P_n).....	50
4.5.4 Hasil Pengujian Gaya Tekan Benda Uji Kolom Beton Persegi Belum Dikekang	51
4.5.5 Mekanisme Keruntuhan Kolom Beton Persegi Yang Telah Rusak Dengan Pengekangan Eksternal CFRP	53
4.5.6 Hasil Pengujian Gaya Tekan Kolom Beton Persegi Dengan Pengekangan Eksternal CFRP	54
4.5.7 Perbandingan Gaya Tekan Beton Belum Dikekang Dan Dengan Pengekangan CFRP Dalam 1 Populasi	56
4.5.8 Perbandingan Nilai Tertinggi Gaya Tekan Beton Dengan Pengekangan Antar Populasi.....	59
4.5.9 Perbandingan Nilai Tertinggi Gaya Tekan Beton Dengan Pengekangan Dan Beton Normal	60
4.5.10 Persentase Perbandingan Nilai Tertinggi Gaya Tekan Beton Normal Dan Belum Dikekang Terhadap Beton Dengan Pengekangan.....	61
4.6 Gaya Tekan Benda Uji Tidak Terkekang Dan Terkekang Teoritis.....	62
4.6.1 Gaya Tekan Kolom Beton Persegi Dengan Kekangan CFRP (P'_{cc}) Teoritis.....	62

4.6.2 Perbandingan Nilai Tertinggi Gaya Tekan Beton Terkekang Antara Populasi Teoritis	67
4.7 Perbandingan Hasil Ekperimental dan Teoritis	68
4.8 Pembahasan Hasil Penelitian	69
BAB V KESIMPULAN dan SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Hubungan Faktor Air Semen	12
Gambar 2.2 Mekanisme Kekangan Pada Beton Secara Detail	15
Gambar 2.3 Carbon Fiber Reinforced Polymer	16
Gambar 2.4 Ilustrasi perkuatan pengekangan eksternal CFRP	17
Gambar 3.1 CFRP	20
Gambar 3.2 Epoxy Resin	20
Gambar 3.3 Semen	21
Gambar 3.4 Agregat Kasar	21
Gambar 3.5 Agregat Halus	21
Gambar 3.6 Air	22
Gambar 3.7 Besi Polos	22
Gambar 3.8 Kawat Bendrat	23
Gambar 3.9 Paku	23
Gambar 3.10 Compression Test Machine	24
Gambar 3.11 Timbangan merk OHAUS	24
Gambar 3.12 Timbangan Digital	24
Gambar 3.13 Mesin Pengaduk Beton	25
Gambar 3.14 Wadah Alumunium	25
Gambar 3.15 Cetok	25
Gambar 3.16 Palu	26
Gambar 3.17 Besi Penumbuk	26
Gambar 3.18 Skop	26
Gambar 3.19 Kapi	27
Gambar 3.20 Gunting	27
Gambar 3.21 Isolasi Kertas	27
Gambar 3.22 Bekisting Kolom	28
Gambar 3.23 Variasi Benda Uji Beton Terkekang 3D	30
Gambar 3.24 Variasi Benda Uji Beton Terkekang 2D	31
Gambar 3.25 Pengujian Tekan Beton Normal	34
Gambar 3.26 Diagram Alir	36

Gambar 4.1 Proses Perakitan Tulangan Kolom Beton Persegi	42
Gambar 4.2 Bekisting Kolom Beton Persegi	42
Gambar 4.3 Tulangan dalam bekisting	42
Gambar 4.4 Proses Penimbangan Material	43
Gambar 4.5 Proses memasukan $\frac{1}{2}$ air dari kebutuhan campuran	43
Gambar 4.6 Proses memasukan material	43
Gambar 4.7 Proses memasukan $\frac{1}{2}$ sisa air	44
Gambar 4.8 Proses menuangkan campuran beton ke wadah aluminium.....	44
Gambar 4.9 Kerucut Abrams Pada Tempat Datar dan Bersih.....	44
Gambar 4.10 Proses Penumbukan Beton Pada Kerucut	45
Gambar 4.11 Proses meratakan beton pada permukaan kerucut.....	45
Gambar 4.12 Proses pengangkatan kerucut	45
Gambar 4.13 Nilai Slump Adukan Beton	46
Gambar 4.14 Proses Pengecoran Benda Uji	46
Gambar 4.15 Memberikan kode benda uji pada bekisting, pemberian kode benda uji sebelum direndam dan proses curing benda uji.	47
Gambar 4.16 Benda Uji diruang terbuka	47
Gambar 4.17 Penimbangan Benda Uji.....	47
Gambar 4.18 Pengujian gaya tekan kolom beton persegi	48
Gambar 4.19 Bentuk Keruntuhan Silinder Pada Benda Uji.....	48
Gambar 4.20 Bentuk Keruntuhan Kolom Beton Persegi	49
Gambar 4.21 Mekanisme Keruntuhan Kolom Beton Persegi Yang Telah Rusak Dengan Pengekangan Eksternal CFRP	53
Gambar 4.22 Histogram perbandingan gaya tekan benda uji rata-rata belum dikekang dan dengan pengekangan dalam populasi 2	56
Gambar 4.23 Histogram perbandingan gaya tekan benda uji rata-rata belum dikekang dan dengan pengekangan dalam populasi 3	57
Gambar 4.24 Histogram perbandingan gaya tekan benda uji rata-rata belum dikekang dan dengan pengekangan dalam populasi 4	58
Gambar 4.25 Histogram perbandingan nilai tertinggi gaya tekan beton dengan pengekangan rata-rata antar populasi.....	59

Gambar 4.26 Histogram perbandingan gaya tekan beton normal dan beton dengan pengekangan.....	60
Gambar 4.27 Histogram Perbandingan Nilai Tertinggi Gaya Beton Normal, Belum Dikekang dan Dengan Pengekangan.....	61
Gambar 4.28 Histogram Perbandingan Gaya Tekan Benda Uji dengan pengekangan Eksperimental dan Teoritis dalam Populasi 2	63
Gambar 4.29 Histogram Perbandingan Gaya Tekan Benda Uji dengan pengekangan Eksperimental dan Teoritis dalam Populasi 3	65
Gambar 4.30 Histogram Perbandingan Gaya Tekan Benda Uji dengan pengekangan Eksperimental dan Teoritis dalam Populasi 4	67
Gambar 4.31 Histogram Perbandingan Nilai Tertinggi Gaya Tekan Beton Terkekang Teoritis antar Populasi	68
Gambar 4.32 Histogram Perbandingan Gaya Tekan Tertinggi Beton Terkekang Eksperimental dan Teoritis.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas Gradasi Agregat Kasar.....	8
Tabel 2.2 Batas Gradasi Agregat Halus.....	10
Tabel 2.3 Beton Menurut Gaya Tekan	13
Tabel 2.4 Berat Jenis Beton.....	13
Tabel 3.1 Variabel Benda Uji Kolom Beton Persegi.....	29
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Agregat Halus	38
Tabel 4.2 Tabel Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	38
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan.....	39
Tabel 4.4 Hasil Uji Tekan Benda Uji Trial Mix	40
Tabel 4.5 Komposisi Campuran Beton per 1 m ³	41
Tabel 4.6 Perhitungan Campuran Kolom Beton Persegi Untuk satu Benda Uji... 41	
Tabel 4.7 Hasil Uji Gaya Tekan Beton Normal Populasi 1	50
Tabel 4.8 Hasil Uji Gaya Tekan Benda Uji Kolom Beton Persegi Belum Dikekang Populasi 2 (spasing 2,5 cm, lebar CFRP 7,0 cm dan Jumlah Lilitan variasi)	51
Tabel 4.9 Hasil uji gaya tekan benda uji kolom beton persegi belum dikekang populasi 3 (spasing 4,0 cm, lebar CFRP 11,0 cm dan Jumlah Lilitan variasi).....	52
Tabel 4.10 Hasil uji gaya tekan benda uji kolom beton persegi belum dikekang populasi 4 (spasing 0,0 cm, lebar CFRP 18,0 cm dan Jumlah Lilitan variasi)	53
Tabel 4.11 Hasil uji gaya tekan benda uji kolom beton persegi dengan kekangan populasi 2 (spasing 2,5 cm, lebar CFRP 7,0 cm dan jumlah lilitan variasi)	54
Tabel 4.12 Hasil uji gaya tekan benda uji kolom beton persegi dengan kekangan populasi 3 (spasing 4,0 cm ,lebar CFRP 11,0 cm dan jumlah lilitan variasi)	55
Tabel 4.13 Hasil uji gaya tekan benda uji kolom beton persegi dengan kekangan populasi 4 (spasing 0,0 cm, lebar CFRP 18,0 cm dan jumlah lilitan variasi)	55
Tabel 4.14 Perbandingan gaya tekan benda uji rata-rata belum dikekang dan dengan pengekangan dalam populasi 2	56
Tabel 4.15 Perbandingan gaya tekan benda uji rata-rata belum dikekang dan dengan pengekangan dalam populasi 3	57
Tabel 4.16 Perbandingan gaya tekan benda uji rata-rata belum dikekang dan dengan pengekangan dalam populasi 4	58

Tabel 4.17 Perbandingan nilai rata-rata tertinggi gaya tekan beton dengan pengekanan antar populasi	59
Tabel 4.18 Hasil perbandingan nilai tertinggi gaya tekan beton normal dan beton dengan pengekanan	60
Tabel 4.19 Persentase Perbandingan Nilai Tertinggi Gaya Tekan Beton Normal, Belum Dikekang dan Dengan Pengekanan	61
Tabel 4.20 Perhitungan Gaya Tekan Teoritis Populasi 2.....	63
Tabel 4.21 Perbandingan Gaya Tekan Eksperimental Dan Gaya Tekan Teoritis Populasi 2.....	63
Tabel 4.22 Perhitungan Gaya Tekan Teoritis Populasi 3.....	65
Tabel 4.23 Perbandingan Gaya Tekan Eksperimental Dan Gaya Tekan Teoritis Populasi 3	65
Tabel 4.24 Perhitungan Gaya Tekan Teoritis Populasi 4.....	66
Tabel 4.25 Perbandingan Gaya Tekan Eksperimental Dan Gaya Tekan Teoritis Populasi 4.....	67
Tabel 4.26 Perbandingan Nilai Tertinggi Gaya Tekan	68
Tabel 4.27 Perbandingan Gaya Tekan Tertinggi Beton.....	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian Batu Pecah Sebagai Material Agregat Kasar	75
Lampiran 2. Pengujian Pasir Sebagai Material Agregat Halus	76
Lampiran 3. Mix Design	78
Lampiran 4. Perhitungan Bahan Campuran Beton bertulang Per 1 m ³	79
Lampiran 5. Perhitungan Kebutuhan Campuran Beton	79
Lampiran 6. Perhitungan Kuat Tekan Trial Mix (Silinder).....	80
Lampiran 7. Grafik Hubungan Gaya Tekan Sebelum Pengekangan, Gaya Tekan Dengan Pengekangan Dan Teoritis	80
Lampiran 8. Perhitungan Tulangan Kolom.....	81
Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian.....	82