

**PENGARUH PERKUATAN PENGEKANGAN EKSTERNAL PADA
BALOK BETON BERTULANG YANG SUDAH DIBEKANI
MENGUNAKAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER* (GFRP)
TERHADAP KUAT MOMEN LENTUR**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

Untuk memenuhi Persyaratan Guna Memperoleh

Gelar Sarjana Teknik Sipil



FIGO VECKY

19041000071

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 : Figo Vecky

NIM 19041000071

Tanda Tangan :



Tanggal : 26 Juni 2024

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PERKUATAN PENGEKANGAN EKSTERNAL PADA
BALOK BETON BERTULANG YANG SUDAH DIBEKANI
MENGUNAKAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER* (GFRP)
TERHADAP KUAT MOMEN LENTUR**

Dipersiapkan dan disusun oleh :

FIGO VECKY

19041000071

**Telah dipertahankan di Dewan Penguji
Pada 28 Februari 2024**

Susunan Dewan Penguji

Dosen Penguji I : Ir. Nila Kurniawati, MT

(.....)

Dosen Penguji II : Ir. Rizki Prasetya, ST., MT., IPM.

(.....)

Dosen Saksi : Dr. Ninik Catur E. Y., ST., MT

(.....)

Memeriksa dan menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Dr. Ninik Catur E. Y., ST., MT)

(Ir. Dianisius TAB., MT)

NIDN. 0004097002

NIDN. 0711086501

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

Malang, 26 Juni 2024

Mengetahui,

**Ketua Program Studi
Teknik Sipil**

(Dr. Ninik Catur Endah Yuliati, S.T., M.T.)

NIDN. 0004097002

UNGKAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Perkuatan Pengekangan Eksternal Pada Balok Beton Bertulang Yang Sudah Dibebani Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) Terhadap Kuat Lentur” dengan baik dan tepat waktu. Tugas Akhir ini dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil di Universitas Merdeka Malang.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga pada penyusunan Tugas Akhir, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ninik Catur Endah Yuliati, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang.
2. Ibu Dr. Eko Indah S, ST., MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang.
3. Ibu Dr. Ninik Catur Endah Yuliati, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 1.
4. Bapak Dionisius TAB, MT. selaku Dosen Pembimbing 2.
5. Orang tua Bapak Recky Roring dan Ibu Veronica Orah, dan Adik Reva Roring yang telah memberikan bantuan dukungan dan doa selama penyusunan Tugas Akhir.
6. Teman-teman (Slamet, Afif, Tino, Uus, Rudy, Melania, Karen, Gladys, Lani, Clara, Vio, DLL) yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir.

Demikian Tugas Akhir ini dibuat, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan pada Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Malang, 2024

Figo Vecky

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : Figo Vecky
NIM 20041000014
Jenis Tugas Akhir: Skripsi

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

PENGARUH PERKUATAN PENGEKANGAN EKSTERNAL PADA BALOK BETON BERTULANG YANG SUDAH DIBEBANI MENGGUNAKAN GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP) TERHADAP KUAT MOMEN LENTUR

Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dan 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.

Demikan pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Malang
Pada Tanggal : 26 Juni 2024

Yang Menyatakan,

 (Figo Vecky)

**PENGARUH PERKUATAN PENGEKANGAN EKSTERNAL PADA
BALOK BETON BERTULANG YANG SUDAH DIBEBANI
MENGUNAKAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER* (GFRP)
TERHADAP KUAT MOMEN LENTUR**

Figo Vecky

ABSTRAK

Beton memiliki kelemahan yaitu tidak kuat terhadap gaya tarik sehingga beton dapat mengalami retak, patah, ataupun hancur sehingga dibutuhkan perbaikan beton dengan metode perkuatan untuk mengatasi kerusakan. Metode perkuatan yang dipakai adalah pengekangan eksternal menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP). Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui Pengaruh Perkuatan Pengekangan Eksternal Pada Balok Beton Bertulang yang Sudah Dibebani Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) terhadap Kuat Momen Lentur.

Penelitian berupa pengujian kuat momen lentur balok beton bertulang t. Benda uji berbentuk balok berukuran 15 x 15 x 60 cm dengan mutu beton f'_c 22,27 Mpa. Menggunakan Variasi Spasing GFRP 0 cm, 5 cm, 10 cm dan Lebar GFRP 5 cm, 7 cm, 9 cm. Pengujian kuat momen lentur berdasarkan ASTM C28/C28M tentang *standart test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)*.

Hasil penelitian adalah perkuatan pengekangan eksternal menggunakan GFRP dapat meningkatkan kuat momen lentur dengan kuat momen lentur terbesar pada variasi spasing GFRP 0 cm sebesar 5,10 kNm dan pada variasi lebar GFRP 9 cm sebesar 5,60 kNm. Sedangkan untuk variasi spasing 5 cm, 10 cm dan variasi lebar 5 cm, 7 cm berturut turut sebesar 5,23 kNm, 4,67 kNm dan 4,63 kNm, 4,90 kNm.

Kata Kunci: GFRP, Perbaikan, perkuatan, pengekangan, balok beton bertulang, kuat momen lentur

**THE EFFECT OF STRENGTHENING EXTERNAL CONSTRAINTS IN
REINFORCED CONCRETE BEAM WHICH HAVE BEEN LOADED USING
GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP) ON BENDING
MOMENT STRENGTH**

Figo vecky

ABSTRACT

Concrete has a weakness, namely that it is not strong enough to withstand tensile forces, so the concrete can crack, break or crumble, so concrete repairs are needed using strengthening methods to overcome the damage. The strengthening method used is external restraint using Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP). The aim of the research is to determine the effect of strengthening external restraints on reinforced concrete beams that have been loaded using glass fiber reinforced polymer (GFRP) on bending moment strength.

The research consisted of testing the bending moment strength of corroded reinforced concrete beams. The test object is in the form of a block measuring 15 x 15 x 60 cm with concrete quality f'_c 22.27 Mpa. Using GFRP Spacing Variations of 0 cm, 5 cm, 10 cm and GFRP Width of 5 cm, 7 cm, 9 cm. Bending moment strength testing is based on ASTM C28/C28M regarding standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading).

The results of the research are that strengthening external restraints using GFRP can increase the bending moment strength with the largest bending moment strength at 0 cm GFRP spacing variations of 5.10 kNm and at 9 cm GFRP width variations at 5.60 kNm. Meanwhile, the spacing variations of 5 cm, 10 cm and width variations of 5 cm, 7 cm are respectively 5.23 kNm, 4.67 kNm and 4.63 kNm, 4.90 kNm.

Keywords: GFRP, repair, strengthening, restraint, reinforced concrete beam, bending moment strength

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UNGKAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Pembatasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Teknologi Beton.....	6
2.2.1 Pengertian Beton	6
2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton	7
2.2.3 Bahan Penyusun Beton	8
2.2.4 Sifat-Sifat Beton.....	14
2.3 Kuat Lentur Balok Beton Bertulang.....	15
2.3.1 Kuat Momen Nominal	15
2.3.2 Kuat Momen Rencana.....	16
2.3.3 Kuat Momen Perlu	17
2.3.4 Mekanisme Keruntuhan Balok.....	18
2.4 Teori Pengekangan.....	19
2.4.1 Perilaku Beton Terkekang.....	19

2.4.2 Metode Pengekangan	20
2.4.3 Mekanisme Keruntuhan Beton Terkekang.....	21
2.4.4 GFRP Sebagai Pengekang Eksternal.....	22
2.4.5 Metode Perkuatan Pengekangan Balok Dengan GFRP	23
BAB III	24
METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Program Penelitian.....	24
3.2 Bahan dan Peralatan.....	24
3.2.1 Bahan	24
3.2.2 Peralatan.....	27
3.3 Benda Uji	31
3.3.1 Perencanaan Campuran Beton (<i>Concrete Mix Design</i>).....	31
3.3.2 Detail Benda Uji.....	32
3.4 Pembuatan Benda Uji	40
3.4.1 Tahapan Persiapan	40
3.4.2 Tahapan Pengujian Bahan Dasar Beton	40
3.4.3 Rencana Campuran Beton.....	40
3.4.4 Tahapan Pembuatan Benda Uji	41
3.4.5 Pengujian Kuat Momen Lentur Beton	42
3.5 Pemasangan Pengekangan GFRP	43
3.6 Pengujian Kuat Momen Lentur Beton Terkekang.....	43
3.7 Analisa Data.....	44
3.8 Diagram Alir Penelitian	44
BAB IV	45
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Deskripsi Umum.....	45
4.2. Hasil Pengujian Material	45
4.2.1 Pengujian Agregat Halus	46
4.2.2 Pengujian Agregat Kasar	46
4.2.3 Benda uji <i>Trial Mix</i>	47
4.3. Kebutuhan Komposisi Campuran Balok Beton Bertulang	48
4.3.1 Kebutuhan komposisi Bahan untuk 1 Benda Uji	48
4.4. Pembuatan Benda Uji Balok Beton Bertulang	49

4.5.	Pengujian Kuat Momen Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang	53
4.5.1	Mekanisme Keruntuhan.....	53
4.5.2	Hasil Pengujian Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan GFRP Populasi 1.....	56
4.5.3	Hasil Pengujian Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan GFRP Populasi 2.....	59
4.5.4	Hasil Pengujian Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan GFRP Populasi 3.....	60
4.5.5	Hasil Pengujian Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan GFRP Populasi 4.....	62
4.5.6	Hasil Pengujian Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan GFRP Populasi 5.....	63
4.5.7	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan GFRP Populasi 6.....	64
4.5.8	Perbandingan Kuat Momen Lentur Rata-rata Tanpa Perkuatan dan Momen Nominal (M_n).....	66
4.5.9	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan GFRP Populasi 2.....	68
4.5.10	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan GFRP Populasi 3.....	69
4.5.11	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan GFRP Populasi 4.....	70
4.5.12	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan GFRP Populasi 5.....	72
4.5.13	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan GFRP Populasi 6.....	73
4.5.14	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan GFRP Populasi 7.....	74
4.5.15	Perbandingan Momen Teoritis (M_n cc) dan Kuat Momen Lentur Rata-Rata Dengan Perkuatan Setiap Populasi	76
4.6.	Perbandingan Kuat Momen Lentur Sebelum dan Setelah Diperkuat dengan Menggunakan Perkuatan Pengkangan GFRP	78
4.7.	Presentase Kenaikan Kuat Momen Lentur Pada Variabel Spasing dan Lebar GFRP.....	79
4.8.	Hubungan antara Kuat Momen Lentur Rata-Rata dan Momen Nominal Balok Beton Bertulang Setiap Populasi.....	80
4.9.	Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Penelitian Lainnya	81

4.9.1 Perbandingan Penelitian antara Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan GFRP, CFRP dan Pelat Baja	81
4.10. Pembahasan	82
BAB V.....	84
KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA.....	86
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batas-batas Gradasi Agregat kasar	9
Tabel 2. 2 Batas-batas Gradasi Agregat Halus	11
Tabel 2. 3 Beton menurut Kuat Tekannya.....	15
Tabel 2. 4 Berat Jenis Beton (Tjokrodimuljo, 2007)	15
Tabel 3. 1 Komposisi Campuran Beton Per 1 m ³	31
Tabel 3. 2 Variabel Benda Uji Pengekangan GFRP	33
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Material Agregat Halus	46
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	47
Tabel 4. 3 Kuat Tekan Benda Uji Trial Mix	48
Tabel 4. 4 Kebutuhan Campuran Beton per 1 m ³	48
Tabel 4.5 Kebutuhan Campuran Beton untuk 1 Benda Uji	49
Tabel 4.6 hasil Uji Kuat Momen Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 1 (Balok Normal; Tanpa perkuatan)	57
Tabel 4.7 Tabel Kuat Momen Nominal (Mn) Balok Bertulang populasi 1 (Balok Normal; Tanpa Perkuatan)	58
Tabel 4.8 Tabel Perbandingan Nilai Momen Lentur dan Momen Nominal (Mn) Balok Bertulang populasi 1 (Balok Normal; Tanpa Perkuatan).....	58
Tabel 4. 9hasil Uji Kuat Momen Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 2 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing 0 cm dan Lebar Menyesuaikan; tanpa Perkuatan).....	60
Tabel 4. 10 hasil Uji Kuat Momen Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 3 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing 5 cm dan Lebar Menyesuaikan; tanpa Perkuatan).....	61
Tabel 4. 11 hasil Uji Kuat Momen Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 4 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing 10 cm dan Lebar Menyesuaikan; tanpa Perkuatan).....	62
Tabel 4. 12 hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 5 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing Menyesuaikan dan Lebar 5 cm; tanpa Perkuatan)	64

Tabel 4. 13 hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 6 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing Menyesuaikan dan Lebar 7 cm; tanpa Perkuatan)	65
Tabel 4. 14 Tabel Kuat Momen Nominal (M_n) Balok Bertulang populasi 1 (Balok Normal; Tanpa Perkuatan)	67
Tabel 4. 15 Tabel Perbandingan Kuat Momen Lentur Tanpa Perkuatan Rata-Rata dan Momen Nominal (M_n).....	67
Tabel 4. 16 hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 2 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing 0 cm dan Lebar Menyesuaikan; Dengan Perkuatan).....	68
Tabel 4. 17 hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 3 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing 5 cm dan Lebar Menyesuaikan; dengan Perkuatan).....	70
Tabel 4. 18 hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 4 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing 10 cm dan Lebar Menyesuaikan; dengan Perkuatan).....	71
Tabel 4. 19 hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 5 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing Menyesuaikan dan Lebar 5 cm; dengan Perkuatan)	72
Tabel 4. 20 hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 6 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing Menyesuaikan dan Lebar 7 cm; dengan Perkuatan)	74
Tabel 4. 21 hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan Populasi 7 (Variasi Spasing dan Lebar GFRP: Spasing Menyesuaikan dan Lebar 9 cm; dengan Perkuatan)	75
Tabel 4. 22 Perhitungan Momen Teoritis pada Populasi 1	77
Tabel 4. 23 Perbandingan Momen Nominal Teoritis (M_{cc}) dan Kuat Momen Lentur Rata-rata setelah diperkuat dengan Perkuatan.....	77
Tabel 4. 24Tabel perbandingan nilai Kuat Momen Lentur Sebelum dan Sesudah diperkuat	78
Tabel 4. 25 Presentase Kenaikan Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tiap Variabel Spasing dan Lebar GFRP	79

Tabel 4. 26 Tabel Perbandingan Kuat Momen Lentur Rata-Rata (M Rata-rata) dan Momen Nominal (M_n) balok Beton Bertulang Setiap Populasi	80
Tabel 4. 27 Perbandingan Hasil Penelitian dan Peneliti Lainnya.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Hubungan Faktor Air Semen.....	14
Gambar 2. 2 Diagram Tegangan Regangan Lentur Balok Beton Bertulang.	16
Gambar 2. 3 Skema Alat Uji Lentur untuk Third-Point Loading Method	17
Gambar 2. 4 Model gaya pada Third Loading Test.....	17
Gambar 2. 5 Patah di Daerah Tengah (1/3 Jarak Perletakan).....	18
Gambar 2. 6 Patah di Luar Daerah Tengah (1/3 Jarak Perletakan) $\leq 5\%$ dari Bentang	19
Gambar 2. 7 Patah di Luar Daerah Tengah (1/3 Jarak Perletakan) $\leq 5\%$ dari Bentang	19
Gambar 2. 8 Mekanisme Perilaku Beton Terkekang.....	20
Gambar 2. 9 Ilustrasi Pengekangan Tulangan SengkangPersegi.....	21
Gambar 2. 10 Pengekangan Eksternal Oleh GFRP	21
Gambar 2. 11 Penampang Beton Bertulang Metode ACI 440-2R-02	23
Gambar 3. 1 GFRP tipe Woven Roving 400 China.....	25
Gambar 3. 2 Epoxy Resin.....	25
Gambar 3. 3 Semen Gresik Tipe I.....	25
Gambar 3. 4 Pasir alam yang lolos saringan no. 4 dengan gradasi zone 2.....	26
Gambar 3. 5 Batu pecah yang tertahan saringan no 4.....	26
Gambar 3. 6 Air	26
Gambar 3. 7 Tulangan baja.....	27
Gambar 3. 8 Hydraulic Concrete Beam Testing.....	27
Gambar 3. 9 Timbangan Digital	28
Gambar 3. 10 Timbangan Triple beam	28
Gambar 3. 11 Molen Cor	28
Gambar 3. 12 Bekesting Ukuran 15x 15 x 65	29
Gambar 3. 13 Kapi	29
Gambar 3. 14 Cetok.....	29
Gambar 3. 15 Kuas.....	30
Gambar 3. 16 Besi Penumbuk.....	30
Gambar 3. 17 Palu	30
Gambar 3. 18 Pan	31

Gambar 3. 19 Gunting	31
Gambar 3. 20 Variasi Spasing Dan Lebar Pengekangan GFRP	33
Gambar 3. 21 Populasi Variasi Benda Uji Pengekangan GFRP	39
Gambar 3. 22 Diagram Alir	44
Gambar 4. 1 Tulangan yang dirakit	49
Gambar 4. 2 Tulangan Dalam Bekisting	49
Gambar 4. 3 Penimbangan Material	50
Gambar 4. 4 pan, cetok dan bekisting 15 x 15 x 65	50
Gambar 4. 5 Memasukan $\frac{1}{2}$ bagian air, pasir dan batu pecah ke dalam	50
Gambar 4. 6 Menuang adukan beton ke dalam pan	51
Gambar 4. 7 Kerucut Abrams Pada Tempat Datar	51
Gambar 4. 8 Memasukan Beton Kedalam Kerucut	51
Gambar 4. 9 Meratakan Beton pada Permukaan Kerucut	52
Gambar 4. 10 Melepas Beton dari Cetakan	52
Gambar 4. 11 Pengukuran Nilai Slump	52
Gambar 4. 12 Memasukan adukan beton per $\frac{1}{4}$ bagian ke dalam bekisting balok dan dipadatkan menggunakan besi penumbuk	53
Gambar 4. 13 Perawatan beton dengan perendaman Selama 7 hari	53
Gambar 4. 14 Pengujian kuat momen lentur balok beton pada usia 28 hari	53
Gambar 4. 15 Pola Keruntuhan/ Patah	54
Gambar 4. 16 Pola keruntuhan sebelum dan sesudah diperkuat Tipe 1 pada Populasi 1 (BN1)	55
Gambar 4. 17 Pola keruntuhan sebelum dan sesudah diperkuat Tipe 1 pada Populasi 2 (BPGFS0N3)	55
Gambar 4. 18 Pola keruntuhan sebelum dan sesudah diperkuat Tipe 2 pada Populasi 3 (BPGFS5N2)	55
Gambar 4. 19 Pola keruntuhan sebelum dan sesudah diperkuat Tipe 1 pada Populasi 4 (BBPGFS10N1)	55
Gambar 4. 20 Pola keruntuhan sebelum dan sesudah diperkuat Tipe 1 d pada Populasi 5 (BPGFL5N3)	55
Gambar 4. 21 Pola keruntuhan sebelum dan sesudah diperkuat Tipe 1 dan 3 pada Populasi 6 (BPGFL7N3)	56

Gambar 4. 22 Pola keruntuhan sebelum dan sesudah diperkuat Tipe 1 pada Populasi 7 (BPGFL9N2)	56
Gambar 4. 23 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 1 (Balok Normal; Tanpa Perkuatan).....	57
Gambar 4. 24 Histogram Perbandingan Nilai M dan Mn BN.....	59
Gambar 4. 25 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 2 (Spasing 0 cm dan Lebar menyesuaikan; Tanpa Perkuatan).....	60
Gambar 4. 26 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 3 (Spasing 5 cm dan Lebar menyesuaikan; Tanpa Perkuatan).....	61
Gambar 4. 27 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 4 (Spasing 10 cm dan Lebar menyesuaikan; Tanpa Perkuatan).....	63
Gambar 4. 28 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 5 (Spasing menyesuaikan dan Lebar 5 cm; Tanpa Perkuatan).....	64
Gambar 4. 29 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 6 (Spasing menyesuaikan dan Lebar 7 cm; Tanpa Perkuatan).....	65
Gambar 4. 30 Histogram Perbandingan Kuat Momen Lentur Rata-rata Sebelum diperkuat dan Momen Nominal (Mn).....	67
Gambar 4. 32 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 2 (Spasing 0 cm dan Lebar menyesuaikan; Dengan Perkuatan)	69
Gambar 4. 32 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 3 (Spasing 5 cm dan Lebar menyesuaikan; dengan Perkuatan)	70
Gambar 4. 33 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 4 (Spasing 10 cm dan Lebar menyesuaikan; Tanpa Perkuatan).....	71
Gambar 4. 34 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 5 (Spasing menyesuaikan dan Lebar 5 cm; dengan Perkuatan)	73
Gambar 4. 35 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 6 (Spasing menyesuaikan dan Lebar 7 cm; dengan Perkuatan)	74
Gambar 4. 36 Histogram Kuat Momen Lentur Populasi 7 (Spasing menyesuaikan dan Lebar 9 cm; dengan Perkuatan)	75
Gambar 4. 37 Histogram perbandingan Kuat Mome Lentur Rata-Rata dengan Perkuatan dan Momen Nominal Teoritis (M cc)	77

Gambar 4. 38 Histogram Perbandingan Nilai rata-rata Kuat Momen Lentur Sebelum dan Sesudah Diperkuat	78
Gambar 4. 39 Perbandingan Nilai Momen Lentur Normal dan Momen Lentur variabel Spasing dan Lebar GFRPSetelah diperkuat.....	79
Gambar 4. 41 Presentase Perbandingan Peningkatan Kuat Momen Lentur antar Variabel Spasing dan Lebar	80
Gambar 4. 41 Histogram Perbandingan Momen Lentur Rata-Rata dan Momen Nominal.....	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian Material Pasir Sebagai Agregat Halus	88
Lampiran 2 Pengujian Material Batu Pecah Sebagai Agregat Kasar	89
Lampiran 3 Job Mix Design	90
Lampiran 4 Perhitungan Bahan Campuran Beton Bertulang Per 1 m ³	90
Lampiran 5 Perhitungan Kuat Tekan Trial Mix (Silinder)	91
Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian	91