

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

SKRIPSI

**Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang
Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil**



SLAMET L. LAMOMBI

19041000082

**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 : Slamet L Lamombi

Nim : 19041000082

Tanda Tangan :



Tanggal : 17 Maret 2024

HALAMAN PENGESAHAN

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

Dipersiapkan dan disusun oleh:

SLAMET L. LAMOMBI

19041000082

Telah dipertahankan di Dewan Penguji Pada 28 Februari 2024

Susunan Dewan Penguji

Dosen Penguji I : (Ir. Bambang Tri Leksono, MT) (.....)
Dosen Penguji II : (Ir. Dionisius T.A.B., MT) (.....)
Dosen Saksi : Dr. Eko Indah Susanti, ST., MT (.....)

Memeriksa dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

(Ir. Dionisius T.A.B., MT)
NIDN. 0711086501

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

Malang, 17 Maret 2024

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Teknik Sipil



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

NIDN. 0004097002

UNGKAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat atas rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Perkuatan Pengekangan Eksternal Pada Balok Beton Bertulang Yang Sudah Dibebani Menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) Terhadap Kuat Momen 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 massa 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 Yulianti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang.
2. Ibu Dr. Eko Indah Susanti, ST., MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Merdeka Malang.
3. Bapak Ir. Bambang Tri Laksono, MT. selaku Dosen pembimbing I yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Dionisius T. A. B., MT. selaku Dosen pembimbing II yang telah memberikan gagasan tentang materi penelitian, memberikan ilmu dan wawasan, serta memberikan waktu dan tenaganya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Kedua orang tua dan kakak tercinta yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk doa, dana dan motivasi.
6. Teman – teman 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, 28 Februari 2024

Slamet L. Lamombi

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : Slamet L Lamombi

NIM : 19041000082

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 BALOK BETON BERTULANG YANG SUDAH DIBEKANI MENGGUNAKAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP)* TERHADAP KUAT MOMEN LENTUR.

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 : 17 Maret 2024

Yang Menyatakan



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

Slamet L. Lamombi

ABSTRAK

Penggunaan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) untuk perkuatan balok beton yang telah rusak dapat mengembalikan kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur beton. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perkuatan pengekangan eksternal pada balok beton bertulang yang sudah dibebani menggunakan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) terhadap kuat momen lentur.

Penelitian berupa pengujian kuat momen lentur balok beton bertulang dengan menggunakan perkuatan pengekangan eksternal CFRP. Benda uji berbentuk balok berukuran 15 x 15 x 65 cm dengan mutu beton f'_c 22,27 Mpa. Menggunakan variasi spasing dan lebar CFRP. Masing – masing dari variasi tanpa spasing CFRP, 5 cm, 10 cm dan lebar CFRP 5 cm, 7 cm, dan 9 cm yang terdapat 3 buah benda uji. Pengujian kuat momen lentur diuji berdasarkan ASTM C78/C78 tentang *standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak antar spasing dan lebar CFRP dapat meningkatkan kuat momen lentur beton yang sudah dibebani. Kuat momen lentur rata-rata balok beton tanpa perkuatan senilai 4,60 kNm. Kuat momen lentur rata-rata terbesar berada pada variasi tanpa spasing CFRP senilai 6,77 kNm dan variasi lebar 9 cm CFRP senilai 5,97 kNm dibandingkan balok beton normal(tanpa perkuatan). Sedangkan untuk variasi spasing CFRP 5 cm senilai 6,70 kNm, 10 cm senilai 5,93 kNm dan variasi lebar CFRP 5 cm senilai 5,43 kNm, 7 cm senilai 5,67 kNm.

Kata Kunci: balok, pengekangan eksternal, spasing dan lebar CFRP, kuat momen lentur

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

Slamet L Lamombi

ABSTRACT

The use of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) to strengthen damaged concrete beams can restore the strength, stiffness and stability of concrete structures. The aim of this research is to determine the effect of strengthening external restraints on reinforced concrete beams that have been loaded using carbon fiber reinforced polymer (CFRP) on bending moment strength.

The research consisted of testing the bending moment strength of reinforced concrete beams using CFRP external restraint reinforcement. The test object is in the form of a block measuring 15 x 15 x 65 cm with concrete quality f_c 22.27 Mpa. Using variations in CFRP spacing and width. Each of the variations without CFRP spacing, 5 cm, 10 cm and CFRP widths 5 cm, 7 cm, and 9 cm, contained 3 test objects. The bending moment strength test was tested based on ASTM C78/C78 regarding standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading).

The research results show that the distance between spacing and the width of CFRP can increase the bending moment strength of concrete that has been loaded. The average bending moment strength of an unreinforced concrete beam is 4.60 kNm. The largest average bending moment strength was in the variation without spacing of CFRP worth 6.77 kNm and the variation in width of 9 cm CFRP worth 5.97 kNm compared to normal concrete beams (without reinforcement). Meanwhile, the 5 cm CFRP spacing variation is worth 6.70 kNm, 10 cm is worth 5.93 kNm and the 5 cm CFRP width variation is worth 5.43 kNm, 7 cm is worth 5.67 kNm.

Keywords: *beam, external restraints, CFRP spacing and width, bending moment streng*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
UNGKAPAN TERIMAKASIH	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL`	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
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 yang Relevan	5
2.2 Teknologi Beton	6
2.2.1 Pengertian Beton.....	6
2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton.....	6
2.2.3 Bahan Penyusun Beton	7
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.....	16

2.3.4 Mekanisme Keruntuhan Balok	17
2.4 Teori Pengekangan	18
2.4.1 Perilaku Beton Terkekang	18
2.4.2 Metode Pengekangan.....	19
2.4.3 Mekanisme Keruntuhan Beton Terkekang	21
2.4.4 CFRP sebagai Pengekang Eksternal.....	21
2.4.5 Metode Perkuatan Pengekangan Balok dengan CFRP	22
BAB III.....	24
METODOLOGI PENELITIAN	24
2.3 Program Penelitian	24
2.4 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 Benda Uji.....	36
3.4.1 Tahapan Persiapan.....	36
3.4.2 Tahapan Pengujian Bahan Dasar Beton	36
3.4.3 Rencana Campuran Beton	36
3.4.4 Tahapan Pembuatan Benda Uji	37
3.4.5 Pengujian Kuat Lentur Beton	38
3.5 Pemasangan Pengekangan CFRP	39
3.6 Pengujian Kuat Momen Lentur Beton Terkekang.....	40
3.7 Analisa Data	40
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	41
BAB IV	42
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Deskripsi Umum	42
4.2 Hasil Pengujian Material.....	42
4.2.1 Pegujian Agregat Halus	43

4.2.2 Pengujian Agregat Kasar	43
4.2.3 Benda Uji <i>Trial Mix</i>	44
4.3 Kebutuhan Komposisi Campuran Balok Beton Bertulang	45
4.3.1 Kebutuhan Komposisi Bahan untuk 1 Benda Uji.....	46
4.4 Pembuatan Benda Uji Balok Beton Bertulang	46
4.5 Pengujian Kuat Lentur Balok.....	50
4.5.1 Mekanisme Keruntuhan Balok Tanpa Perkuatan	50
4.5.2 Hasil Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan CFRP Populasi 1	53
4.5.3 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan CFRP Populasi 2	56
4.5.4 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan CFRP Populasi 3	57
4.5.5 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan CFRP Populasi 4	59
4.5.6 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan CFRP Populasi 5	60
4.5.7 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan CFRP Populasi 6	61
4.5.8 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang Tanpa Perkuatan CFRP Populasi 7	63
4.5.9 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP Populasi 2	64
4.5.10 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP Populasi 3	65
4.5.11 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP Populasi 4	66
4.5.12 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP Populasi 5	68
4.5.13 Pengujian Momen Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP Populasi 6	69

4.5.14 Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP Populasi 7	70
4.5.15 Perbandingan Momen Nominal Teoritis (M_n) dan Kuat Momen Lentur Rata-rata dengan Perkuatan Setiap Populasi	72
4.6 Perbandingan Nilai Kuat Momen Lentur Tanpa Perkuatan dan dengan Perkuatan Menggunakan CFRP.....	74
4.7 Presentase Kenaikan Kuat Momen Lentur Pada Variabel spasing dan Lebar CFRP	74
4.8 Hubungan antara Kuat Momen Lentur Rata-rata dan Momen Nominal Balok Beton Bertulang Setiap Populasi	76
4.9 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Lain	77
4.9.1 Perbandingan Penelitian antara Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP,GFRP dan Pelat Baja	77
4.10 Pembahasan	78
BAB V.....	80
KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1 Kesimpulan.....	80
5.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN.....	84

DAFTAR TABEL`

Tabel 2. 1 Batas-batas Gradasi Agregat Kasar.....	9
Tabel 2. 2 Batas-batas Gradasi Agregat Halus.....	10
Tabel 2. 3 Beton menurut Kuat Tekannya	14
Tabel 2. 4 Berat Jenis Beton (Tjokrodimuljo, 2007)	14
Tabel 3. 1 Komposisi campuran beton per 1 m ³	32
Tabel 3. 2 Variabel Benda Uji Pengekang CFRP	33
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Material Agregat Halus	43
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	44
Tabel 4. 3 Kuat Tekan Benda Uji Trial Mix	45
Tabel 4. 4 Komposisi Campuran Beton per 1 m ³	45
Tabel 4. 5 Kebutuhan Campuran Beton Material untuk 1 Benda Uji	46
Tabel 4. 6 Kuat Momen Lentur Balok Bertulang Populasi 1.....	54
Tabel 4.7 Tabel Kuat Momen Nominal Balok Bertulang populasi 1.	55
Tabel 4.8 Tabel Perbandingan Nilai Momen Lentur dan Momen Nominal (Mn) Balok Bertulang populasi 1 (Balok Normal;Tanpa Perkuatan)	56
Tabel 4. 9 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 2 (tanpa spasing dan Lebar menyesuaikan; Tanpa Perkuatan)	57
Tabel 4. 10 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 3 (Spasing 5 dan Lebar menyesuaikan; Tanpa Perkuatan)	58
Tabel 4. 11 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 4 (Spasing 10 dan Lebar menyesuaikan; Tanpa Perkuatan)	59
Tabel 4. 12 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 5 (Lebar 5 dan Spasing menyesuaikan; Tanpa Perkuatan).....	61
Tabel 4. 13 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 6 (Lebar 7 dan Spasing menyesuaikan;Tanpa Perkuatan)))	62
Tabel 4. 14 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 7 (Lebar 9 dan Spasing menyesuaikan; Tanpa Perkuatan).....	63
Tabel 4. 15 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 2 (Tanpa Spasing dan Lebar menyesuaikan; dengan Perkuatan)	64
Tabel 4. 16 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 3 (Spasing 5 dan Lebar menyesuaikan; dengan Perkuatan))	66

Tabel 4. 17 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 4 (Spasing 10 dan Lebar menyesuaikan; dengan Perkuatan).....	67
Tabel 4. 18 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 5 (Lebar 5 dan Spasing menyesuaikan;;dengan Perkuatan)	68
Tabel 4. 19 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 6 (Lebar 5 dan Spasing menyesuaikan;;dengan Perkuatan)	70
Tabel 4. 20 Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Populasi 7 (Lebar 9 dan Spasing menyesuaikan;;dengan Perkuatan)	71
Tabel 4. 21 Perhitungan Momen Teoritis Pada Populasi 2.....	73
Tabel 4. 22 Perbandingan Momen Nominal Teoritis (M_n cc)).....	73
Tabel 4. 23 Perbandingan Nilai Kuat Momen Lentur.....	74
Tabel 4. 24 Presentase Kenaikan Kuat Momen Lentur Balok Beton Bertulang Setiap Variabel Spasing dan Lebar CFRP.	75
Tabel 4. 25 Tabel Kuat Momen Nominal (M_n) Balok Bertulang populasi 1 (Balok Normal;;Tanpa Perkuatan)).....	76
Tabel 4. 26 Kuat Momen Lentur dan Momen Nominal Rata-rata.....	77
Tabel 4. 27 Perbandingan Hasil Penelitian dan Peneliti Lainnya.	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Hubungan Faktor Air Semen	13
Gambar 2. 2 Blok Diagram Tegangan Tekan Beton Bertulang	15
Gambar 2. 3 Skema Alat Uji Lentur untuk	16
Gambar 2. 4 Bidang Momen pada Third Loading Bending Test.....	16
Gambar 2. 5 Patah di Daerah Tengah ($\frac{1}{3}$ Jarak Penempatan)	18
Gambar 2. 6 Patah di Luar Daerah Tengah ($\frac{1}{3}$ Jarak Penempatan) $\leq 5\%$ dari Bentang.	18
Gambar 2. 7 Patah di Luar Daerah Tengah ($\frac{1}{3}$ Jarak Penempatan).....	18
Gambar 2. 8 Mekanisme Kekangan Beton Secara Daktail	19
Gambar 2. 9 Pengekangan Internal Tulangan Sengkang Persegi	20
Gambar 2. 10 Pengekangan Eksternal CFRP.....	20
Gambar 2. 11 Penampang Beton Terkekang Metode (ACI-440.2R-08,2008)	22
Gambar 3. 212 Skema Alat Uji Lentur untuk	38
Gambar 3. 1 CFRP 200 GSM Twill A China	25
Gambar 3. 2 Epoxy Resin	25
Gambar 3. 3 Tulangan.....	25
Gambar 3. 4 Semen Portland Tipe 1	26
Gambar 3. 5 Agregat Halus.....	26
Gambar 3. 6 Agregat Kasar.....	26
Gambar 3. 7 Air.....	27
Gambar 3. 8 Hydraulic Concrete Beam Testing Machine	27
Gambar 3. 9 Timbangan Digital.....	28
Gambar 3. 10 Timbangan Triple Beam.....	28
Gambar 3. 11 Molen	28
Gambar 3. 12 Bekisting Balok (15 x 15 x 65 cm)	29
Gambar 3. 13 Kuas.....	29
Gambar 3. 14 Cetok	29
Gambar 3. 15 Besi Penumbuk.....	30
Gambar 3. 16 Palu.....	30
Gambar 3. 17 Pan.....	30
Gambar 3. 18 Gunting.....	31

Gambar 3. 19 Kapi	31
Gambar 3. 20 Variasi Spasing & Lebar Pengekangan CFRP	34
Gambar 3. 21 Populasi Variasi Benda Uj Pengekangan CFRP	35
Gambar 3. 22 Diagram Alir	41
Gambar 4. 1 Tulangan yang dirakit.....	46
Gambar 4. 2 Tulangan dalam bekisting	46
Gambar 4. 3 Proses Penimbangan Material	47
Gambar 4. 4 Pan, Cetok dan Bekisting 15 x 15 x 65	47
Gambar 4. 5 Memasukan Bagian Air, Pasir dan Batu Pecah ke dalam	47
Gambar 4. 6 Menuang Adukan Beton ke dalam Pan.....	47
Gambar 4. 7 Kerucut Abrams Pada Tempat Datar	48
Gambar 4. 8 Memsakukan Beton Kedalam Kerucut	48
Gambar 4. 9 Meratakan Beton pada Permukaan Kerucut.....	48
Gambar 4. 10 Melepas Beton dari Cetakan	49
Gambar 4. 11 Pengukuran Nilai Slump	49
Gambar 4. 12 Memasukan adukan beton ke dalam bekisting balok dan dipadatkan menggunakan besi penumbuk	49
Gambar 4. 13 Perawatan beton dengan perendaman selama 7 hari.....	50
Gambar 4. 14 Pengujian kuat lentur balok beton di usia 28 hari	50
Gambar 4. 15 Pola Keruntuhan/ Patah.....	51
Gambar 4. 16 Pola Keruntuhan Tipe 1 dan 2 pada Populasi 1	51
Gambar 4. 17 Pola Keruntuhan Tipe 1 dan 2 pada	52
Gambar 4. 18 Pola Keruntuhan Tipe 1 dan 2 pada	52
Gambar 4. 19 Pola Keruntuhan Tipe 1 dan 3 pada	52
Gambar 4. 20 Pola Keruntuhan Tipe 1 dan 2 pada	53
Gambar 4. 21 Pola Keruntuhan Tipe 1 dan 2 pada	53
Gambar 4. 22 Pola Keruntuhan Tipe 1 dan 2 pada	53
Gambar 4. 23 Histogram Kuat Momen Lentur BN.....	54
Gambar 4. 24 Histogram Perbandingan Nilai M dan Mn BN.....	56
Gambar 4. 25 Histogram Perbandingan Kuat Momen Lentur	57
Gambar 4. 26 Histogram Perbandingan Kuat Lentur Balok	58
Gambar 4. 27 Histogram Perbandingan Kuat Lentur Balok	60

Gambar 4. 28 Histogram Perbandingan Kuat Lentur.....	61
Gambar 4. 29 Histogram Perbandingan Kuat Lentur.....	62
Gambar 4. 30 Histogram Perbandingan Kuat Lentur.....	63
Gambar 4. 31 Histogram Perbandingan Kuat	65
Gambar 4. 32 Histogram Perbandingan Kuat Lentur Balok	66
Gambar 4. 33 Histogram Perbandingan Kuat Lentur Balok	67
Gambar 4. 34 Histogram Perbandingan Kuat Lentur Balok	69
Gambar 4. 35 Histogram Perbandingan Kuat Lentur Balok	70
Gambar 4. 36 Histogram Perbandingan Kuat Momen Lentur	71
Gambar 4. 37 Histogram Perbandingan Kuat Momen Lentur	73
Gambar 4. 38 Histogram Perbandingan Nilai Kuat Momen Lentur	74
Gambar 4. 39 Perbandingan Nilai Momen Normal dan Momen Lentur Variabel Spasing dan Lebar CFRP dengan Perkuatan.....	75
Gambar 4. 40 Presentase Perbandingan Peningkatan Kuat Momen Lentur Variabel Spasing dan Lebar CFRP	75
Gambar 4. 41 Histogram Kuat Momen Lentur Rata-rata dan.....	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 . Perhitungan Kebutuhan Tulangan	84
Lampiran 2. Pengujian Material Pasir Sebagai Agregat Halus.....	85
Lampiran 3. Pengujian Material Batu Pecah Sebagai Agregat Kasar.....	86
Lampiran 4. Job Mix Design.....	87
Lampiran 5. Perhitungan Bahan Campuran Beton Bertulang Per 1 m ³	88
Lampiran 6. Perhitungan Kuat Tekan Trial Mix (Silinder)	88
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian.....	88