

**PANJANG PENYALURAN CARBON FIBRE
PADA PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON
DI DAERAH TUMPUAN**

TESIS

**PIO RANAP TUA NAIBAHO
06 06 00 27 23**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
DEPOK
DESEMBER 2008**

**CARBON FIBRE DEVELOPMENT LENGTH
ON CONCRETE BEAM STRUCTURE REINFORCEMENT
IN A SUPPORT AREA**

THESIS

**PIO RANAP TUA NAIBAHO
06 06 00 27 23**



**UNIVERSITY OF INDONESIA
FACULTY OF ENGINEERING
POSTGRADUATE PROGRAM MAJORING ENGINEERING
DEPOK
DECEMBER 2008**

**PANJANG PENYALURAN CARBON FIBRE
PADA PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON
DI DAERAH TUMPUAN**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

PIO RANAP TUA NAIBAHO
06 06 00 27 23



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
DESEMBER 2008**

**CARBON FIBRE DEVELOPMENT LENGTH
ON CONCRETE BEAM STRUCTURE REINFORCEMENT
IN A SUPPORT AREA**

THESIS

Submitted as one of stipulation to obtain title Master Engineering

PIO RANAP TUA NAIBAHO
06 06 00 27 23




**UNIVERSITY OF INDONESIA
FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
SPECIALIZATION IN STRUCTURE
DEPOK
DECEMBER 2008**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Pio Ranap Tua Naibaho

NPM : 0606002723

Tanda tangan : 

Tanggal : 23 Desember 2008

STATEMENT OF ORIGINALITY

I declare that this thesis is my own original works
and all sources either cited or referred also has been
stated truly

Name : Pio Ranap Tua Naibaho

NPM : 0606002723

Signature : 

Date : December 23rd, 2008

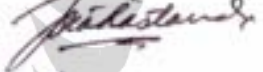


LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Pio Ranap Tua Naibaho
NPM : 0606002723
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tesis :

PANJANG PENYALURAN CARBON FIBRE PADA PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON DI DAERAH TUMPUAN

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr-Ing. Josia Irwan Rastandi, ST. MT. ()
Penguji : Dr. Ir. Elly Tjahjono Sutiono, DEA ()
Penguji : Ir. Essy Ariyuni, MSc. PhD. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Desember 2008




AUTHENTICATION SHEET

This thesis submitted by :
Name : Pio Ranap Tua Naibaho
NPM : 0606002723
Study Program : Civil Engineering
Thesis Title :

CARBON FIBRE DEVELOPMENT LENGTH ON CONCRETE BEAM STRUCTURE REINFORCEMENT IN A SUPPORT AREA

Has been successfully defended before Examiner Council and been received as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master Engineering at Civil Engineering Study Program Faculty of Engineering University of Indonesia.

EXAMINER COUNCIL

Counselor : Dr-Ing. Josia Irwan Rastandi, ST. MT. ()
Examiner : Dr. Ir. Elly Tjahjono Sutiono, DEA ()
Examiner : Ir. Essy Ariyuni, MSc. PhD. ()

Approved in : Depok

Date : December 23rd, 2008

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Departemen Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr-Ing. Josia Irwan Rastandi, ST. MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
2. Bapak/ Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang telah banyak membantu dan memberikan ilmu kepada penulis.
3. Pihak PT Sika Indonesia yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan.
4. Orang tua, Istri, Anak dan seluruh keluarga tercinta yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral ; dan
5. Semua Sahabat saya yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 23 Desember 2008

Penulis

PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Pio Ranap Tua Naibaho
NPM : 0606002723
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PANJANG PENYALURAN CARBON FIBRE
PADA PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON
DI DAERAH TUMPUAN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 23 Desember 2008
Yang menyatakan



(Pio Ranap Tua Naibaho)

ABSTRACT

Name : Pio Ranap Tua Naibaho
Study Program : Civil Engineering
Title :

CARBON FIBRE DEVELOPMENT LENGTH ON CONCRETE BEAM STRUCTURE REINFORCEMENT IN A SUPPORT AREA

Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) is a non-metal material made of carbon fibre and has a tensile strength of 2800 Mpa, so when used in the composite concrete structure will play a role in providing a large tensile strength. In this thesis, a research on carbon fibre development length of a concrete beam reinforcement in the support areas is described, in this case the repair (Sikadur 31 & Sikadur 752) and cultivation (Sika Carbodur Plates & Sikadur 30) of a collapsed cantilever structure. The research is focused on the review of the concrete beams with flexural reinforce and its reinforcement which has been installed with CFRP, CFRP⁺, as well as with CFRP plate in the tensile/ top region. The research is using a compressive strength of concrete around 30 MPa, while the assessment is done by monotonic system. The test results are verified by the results of calculation theoretically in accordance with the SNI 03-2847-2002. The results of this research indicate that there is a significant increasing of strength on the cantilever beam which has been installed with CFRP compared to the one without CFRP. The result of this research is also intended to show the most effective and efficient placement system of CFRP development length for a collapsed reinforced concrete beam cantilever.

Key words :

Development length, carbon fibre, refinement, strengthening, placement

ABSTRAK

Nama : Pio Ranap Tua Naibaho
Program Studi : Teknik Sipil
Judul :

PANJANG PENYALURAN CARBON FIBRE PADA PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON DI DAERAH TUMPUAN

Material *Carbon Fibre Reinforced Polymer* (CFRP) merupakan bahan non-logam yang terbuat dari *carbon fibre* (serat karbon) dan mempunyai kekuatan tarik 2800 MPa sehingga apabila digunakan secara komposit pada struktur beton akan berperan dalam memberikan kekuatan tarik yang besar. Pada tesis ini akan diuraikan penelitian panjang penyaluran *carbon fibre* pada perkuatan struktur balok beton bertulang di daerah tumpuan, dalam hal ini perbaikan (Sikadur 31 & Sikadur 752) dan perkuatan (Sika Carbodur Plates & Sikadur 30) untuk struktur kantilever yang mengalami keruntuhan. Kajian pada penelitian ini difokuskan pada balok beton bertulang dengan penulangan lentur dan perkuatan balok beton bertulang dengan penulangan lentur tersebut yang dipasang CFRP dan CFRP⁺, serta CFRP dengan Plat pada daerah tarik/ atas. Kuat tekan beton yang digunakan berkisar 30 MPa, sedangkan pengujian pambebanan dilakukan dengan sistem monotonik. Hasil pengujian tersebut juga diverifikasi dengan hasil perhitungan secara teoritis sesuai dengan SNI 03-2847-2002. Hasil penelitian ini diantaranya menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan secara signifikan pada balok kantilever yang dipasang CFRP dibanding dengan balok kantilever tanpa CFRP. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menunjukkan sistem penempatan panjang penyaluran CFRP yang paling efektif dan efisien untuk perkuatan struktur kantilever balok beton bertulang yang mengalami keruntuhan.

Kata Kunci :

Panjang penyaluran, *carbon fibre*, perbaikan, perkuatan, tumpuan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vii
PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	viii
ABSTRACT	ix
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1.1 Perumusan Masalah	3
1.1.2 Tujuan Penelitian	9
1.1.3 Faedah yang Diharapkan	9
1.2 Batasan Masalah	10
1.3 Sistematika Penulisan	11
2. DASAR TEORI	13
2.1 Beton Bertulang	13
2.1.1 Pengertian Beton	13
2.1.2 Material Pembentuk Beton Bertulang	13
2.1.2.1 Semen	14
2.1.2.2 Agregat	14
2.1.2.3 Air	14
2.1.2.4 Bahan Campuran (Admixture)	14
2.1.2.5 Tulangan Baja	15
2.1.3 Perilaku Balok Beton Bertulang	15
2.1.3.1 Tegangan-Regangan	15
2.1.3.2 Geser	16
2.1.3.3 Daya Lekat (Bonding)	17
2.1.3.4 Daktilitas	20
2.2 Desain dan Pemeriksaan Struktur Balok Beton tanpa Perkuatan	21
2.2.1 Desain Kekuatan Struktur	21
2.2.1.1 Desain Kekuatan Struktur terhadap Lentur	21
2.2.1.2 Desain Kekuatan Struktur terhadap Geser	28
2.2.2 Pemeriksaan Daktilitas Struktur	30
2.2.3 Pemeriksaan Kekakuan Struktur dengan Analisa Defleksi	33
2.2.4 Pemeriksaan Pembatasan Retak	34

2.3 Desain dan Pemeriksaan Struktur Balok Beton dengan Perkuatan	35
2.3.1 Desain Kekuatan Struktur	35
2.3.2 Pemeriksaan Daktilitas Struktur	35
2.3.3 Pemeriksaan Kekakuan Struktur dengan Analisa Defleksi	36
2.3.4 Pemeriksaan Pembatasan Retak	36
2.4 Teori Kerusakan dan Perbaikan Beton	36
2.4.1 Kerusakan Beton Bertulang	37
2.4.2 Perbaikan Beton Bertulang	38
2.4.2.1 Syarat Bahan Perbaikan	38
2.4.2.2 Metode Perbaikan	39
2.5 Studi Bahan Eksternal	39
2.5.1 <i>Carbon Fibre Reinforced Plate</i> (CFRP)	41
2.5.2 <i>Epoxy</i> (Perekat)	41
3. METODOLOGI PENELITIAN	42
3.1 Umum	42
3.2 Sistematika Penelitian	42
3.3 Bahan Campuran Beton	43
3.4 Pembuatan Benda Uji	44
3.5 Pengujian Laboratorium	46
3.5.1 Pengujian Benda Uji Sampai Runtuh	46
3.5.2 Perbaikan Benda Uji Yang Runtuh	47
3.5.2.1 Perbaikan Struktur Balok Kantilever	48
3.5.2.2 Pemasangan Sika <i>Carbodur & Sikadur 30</i>	50
3.5.3 Pengujian Benda Uji Yang Telah Diperbaiki	55
3.6 Parameter Keberhasilan Penelitian	56
4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	58
4.1 Studi Eksperimental	58
4.1.1 Pendahuluan	58
4.1.2 Data Properti Material	59
4.1.2.1 Material Beton	59
4.1.2.2 Baja Tulangan dan Plat	60
4.1.3 Pengujian Pembebanan	61
4.1.3.1 Detail balok kantilever	61
4.1.3.2 Gambaran umum	61
4.1.3.3 Peralatan yang digunakan	62
4.1.3.4 Prosedur pengujian Model	62
4.1.3.5 Hal yang diamati dalam pengujian	65
4.1.3.6 Hasil pengujian	66
4.1.3.7 Baban luar maksimum pada siklus pengujian	67
4.1.3.8 Lendutan	68
4.1.3.9 Regangan	69
4.1.3.10 Pola retak	69
4.2 Studi Analitis	71
4.2.1 Model-1	71
4.2.2 Model-2	72
4.2.3 Model-3	73

4.3 Pengolahan dan Analisa Data	74
4.3.1 Beban Luar	74
4.3.2 Lendutan	76
4.3.3 Regangan	88
4.3.4 Pola Retak	98
5. KESIMPULAN DAN SARAN	117
5.1 Kesimpulan	117
5.2 Saran	118
DAFTAR PUSTAKA	120
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tegangan Lokal Ultimit Dalam Balok	19
Tabel 2.2	Karakteristik CFRP (PT Sika Indonesia)	41
Tabel 2.3	Karakteristik <i>Epoxy</i> (PT Sika Indonesia)	41
Tabel 4.1	Hasil Uji Rata-rata Material Beton	60
Tabel 4.2	Hasil Uji Rata-rata Material Baja Tulangan dan Plat	61
Tabel 4.3	Pembebanan Maksimum Tiap Siklus	67
Tabel 4.4	Pembacaan <i>Dial Gauge</i> Sebelum Perbaikan	68
Tabel 4.5	Pembacaan <i>Dial Gauge</i> Sesudah Perbaikan	68
Tabel 4.6	Persentasi Lendutan Eksperimen-SAP 2000 untuk P=10 kN	74
Tabel 4.7	Beban Nominal Perhitungan Teori dan Hasil Pengujian	75
Tabel 4.8	Lendutan Sebelum Perbaikan	76
Tabel 4.9	Lendutan Terkoreksi Sebelum Perbaikan	77
Tabel 4.10	Lendutan Sesudah Perbaikan	78
Tabel 4.11	Lendutan Terkoreksi Sesudah Perbaikan	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Model Struktur Kantilever Balok Beton Bertulang	4
Gambar 1.2	Tampak atas Pemasangan CFRP pada Balok	5
Gambar 1.3	Potongan Pemasangan CFRP pada Balok	5
Gambar 1.4	Tampak Atas Pemasangan CFRP & L-30X20X5 pada Balok	6
Gambar 1.5	Potongan Pemasangan CFRP & L-30X20X5 pada Balok	6
Gambar 1.6	Tampak Atas Pemasangan CFRP & Plat 50X5 pada Balok-Kolom	7
Gambar 1.7	Tampak Samping Pemasangan CFRP & Plat 50X5 pada Balok-Kolom	7
Gambar 1.8	Potongan Pemasangan CFRP & Plat 50X5 pada Balok-Kolom	8
Gambar 2.1	Distribusi Tegangan-Regangan Penampang Balok	16
Gambar 2.2	Tegangan Geser Horizontal dalam Balok	17
Gambar 2.3	Segmen Kecil dx Dari Suatu Balok	18
Gambar 2.4	Struktur Balok	23
Gambar 2.5	Skematisasi Diagram Regangan dan Tegangan dalam Penampang Balok Beton Bertulang	24
Gambar 2.6	Dengan Penulangan Tekan	26
Gambar 2.7	Diagram Balok dengan Penulangan Rangkap	27
Gambar 2.8	Skema Jumlah Kaki Sengkang	30
Gambar 2.9	(a) Penampang tulangan baja dan (b) Plat CFRP pada balok	39
Gambar 2.10	Distribusi Tegangan dan Regangan Beton dengan CFRP	40
Gambar 2.11	Mekanisme Keruntuhan Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP (Kuriger, 2001)	41
Gambar 3.1	Dimensi Struktur Kantilever Balok Beton Bertulang	44
Gambar 3.2	Potongan A	45
Gambar 3.3	Potongan B	45
Gambar 3.4	Penempatan <i>Strain Gages</i> sebelum Perkuatan	46
Gambar 3.5	Penempatan <i>Dial Gauge</i>	47
Gambar 3.6	Penempatan <i>Strain Gages</i> Model-1 dengan Perkuatan	52
Gambar 3.7	Potongan Penempatan <i>Strain Gages</i> Model-1 dengan Perkuatan	52
Gambar 3.8	Penempatan <i>Strain Gages</i> Model-2 dengan Perkuatan	53

Gambar 3.9	Potongan Penempatan <i>Strain Gages</i> Model-2 dengan Perkuatan	53
Gambar 3.10	Penempatan <i>Strain Gages</i> Model-3 dengan Perkuatan	54
Gambar 3.11	Potongan Penempatan <i>Strain Gages</i> Model-3 dengan Perkuatan	54
Gambar 3.12	Potongan Penempatan <i>Strain Gages</i> Model-3 dengan Perkuatan	55
Gambar 3.13	Model Pengujian Struktur Kantilever Balok Beton Bertulang yang Telah Diperbaiki	56
Gambar 4.1	Baja Tulangan	60
Gambar 4.2	Penulangan Balok Kantilever	61
Gambar 4.3	Posisi <i>Loading Test</i>	62
Gambar 4.4	Posisi <i>Dial Gauge</i> Sebelum Perbaikan	63
Gambar 4.5	Posisi <i>Dial Gauge</i> Sesudah Perbaikan	63
Gambar 4.6	Posisi <i>Strain Gages</i> Sebelum Perbaikan	64
Gambar 4.7	Posisi <i>Strain Gages</i> Sesudah Perbaikan	64
Gambar 4.8	Posisi Pelat Paja pada Titik Pembebanan	65
Gambar 4.9	Grafik Pembacaan <i>Strain Gages</i> Sebelum Perbaikan	69
Gambar 4.10	Grafik Pembacaan <i>Strain Gages</i> Sesudah Perbaikan	69
Gambar 4.11	Pola Retak Sebelum Perbaikan	70
Gambar 4.12	Pola Retak Sesudah Perbaikan	70
Gambar 4.13	Model-1 dengan SAP 2000	71
Gambar 4.14	Lendutan Model-1 dengan SAP 2000 (P=10 kN)	72
Gambar 4.15	Model-2 dengan SAP 2000	72
Gambar 4.16	Lendutan Model-2 dengan SAP 2000 (P=10 kN)	73
Gambar 4.17	Model-3 dengan SAP 2000	73
Gambar 4.18	Lendutan Model-3 dengan SAP 2000 (P=10 kN)	74
Gambar 4.19	Beban-Lendutan Model-1.1	80
Gambar 4.20	Beban-Lendutan Model-1.2	81
Gambar 4.21	Beban-Lendutan Model-1.3	81
Gambar 4.22	Beban-Lendutan Model-2.1	82
Gambar 4.23	Beban-Lendutan Model-2.2	83
Gambar 4.24	Beban-Lendutan Model-2.3	84
Gambar 4.25	Beban-Lendutan Model-3.1	85
Gambar 4.26	Beban-Lendutan Model-3.2	86
Gambar 4.27	Beban-Lendutan Model-3.3	87
Gambar 4.28	Beban-Regangan Model-1.1	89
Gambar 4.29	Pembesaran Beban-Regangan Model-1.1	89
Gambar 4.30	Beban-Regangan Model-1.2	90
Gambar 4.31	Pembesaran Beban-Regangan Model-1.2	90
Gambar 4.32	Beban-Regangan Model-1.3	91
Gambar 4.33	Pembesaran Beban-Regangan Model-1.3	91
Gambar 4.34	Beban-Regangan Model-2.1	92
Gambar 4.35	Pembesaran Beban-Regangan Model-2.1	92
Gambar 4.36	Beban-Regangan Model-2.2	93

Gambar 4.37	Pembesaran Beban-Regangan Model-2.2	93
Gambar 4.38	Beban-Regangan Model-2.3	94
Gambar 4.39	Pembesaran Beban-Regangan Model-2.3	94
Gambar 4.40	Beban-Regangan Model-3.1	95
Gambar 4.41	Pembesaran Beban-Regangan Model-3.1	95
Gambar 4.42	Beban-Regangan Model-3.2	96
Gambar 4.43	Pembesaran Beban-Regangan Model-3.2	96
Gambar 4.44	Beban-Regangan Model-3.3	97
Gambar 4.45	Pembesaran Beban-Regangan Model-3.3	97
Gambar 4.46	Pola Retak M-1.1 Sebelum diperkuat : $P=0,6$ kN	98
Gambar 4.47	Pola Retak M-1.1 Sesudah diperkuat : $P=0,3$ kN	99
Gambar 4.48	Pola Retak M-1.1 Sesudah diperkuat : $P=1,42$ kN	99
Gambar 4.49	Pola Retak M-1.2 Sebelum diperkuat : $P=0,4$ kN	100
Gambar 4.50	Pola Retak M-1.2 Sesudah diperkuat : $P=0,3$ kN	100
Gambar 4.51	Pola Retak M-1.2 Sesudah diperkuat : $P=1,6$ kN	101
Gambar 4.52	Pola Retak M-1.3 Sebelum diperkuat : $P=0,5$ kN	102
Gambar 4.53	Pola Retak M-1.3 Sesudah diperkuat : $P=0,3$ kN	102
Gambar 4.54	Pola Retak M-1.3 Sesudah diperkuat : $P=1,42$ kN	103
Gambar 4.55	Pola Retak M-2.1 Sebelum diperkuat : $P=0,6$ kN	104
Gambar 4.56	Pola Retak M-2.1 Sesudah diperkuat : $P=0,4$ kN	104
Gambar 4.57	Pola Retak M-2.1 Sesudah diperkuat : $P=1,5$ kN	105
Gambar 4.58	Pola Retak M-2.2 Sebelum diperkuat : $P=0,6$ kN	106
Gambar 4.59	Pola Retak M-2.2 Sesudah diperkuat : $P=0,3$ kN	106
Gambar 4.60	Pola Retak M-2.2 Sesudah diperkuat : $P=1,52$ kN	107
Gambar 4.61	Pola Retak M-2.3 Sebelum diperkuat : $P=0,6$ kN	108
Gambar 4.62	Pola Retak M-2.3 Sesudah diperkuat : $P=0,4$ kN	108
Gambar 4.63	Pola Retak M-2.3 Sesudah diperkuat : $P=1,66$ kN	109
Gambar 4.64	Pola Retak M-3.1 Sebelum diperkuat : $P=0,5$ kN	110
Gambar 4.65	Pola Retak M-3.1 Sesudah diperkuat : $P=0,2$ kN	110
Gambar 4.66	Pola Retak M-3.1 Sesudah diperkuat : $P=1,8$ kN	111
Gambar 4.67	Pola Retak M-3.2 Sebelum diperkuat : $P=0,5$ kN	112
Gambar 4.68	Pola Retak M-3.2 Sesudah diperkuat : $P=0,2$ kN	112
Gambar 4.69	Pola Retak M-3.2 Sesudah diperkuat : $P=1,98$ kN	113
Gambar 4.70	Pola Retak M-3.3 Sebelum diperkuat : $P=0,5$ kN	114
Gambar 4.71	Pola Retak M-3.3 Sesudah diperkuat : $P=0,2$ kN	114
Gambar 4.72	Pola Retak M-3.3 Sesudah diperkuat : $P=2,0$ kN	114