



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON  
DI DAERAH TUMPUAN  
DENGAN MENGGUNAKAN LEMBARAN SERAT KARBON**

**SKRIPSI**

**EDWARD YAHYA  
0606072194**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON  
DI DAERAH TUMPUAN  
DENGAN MENGGUNAKAN LEMBARAN SERAT KARBON**

**SKRIPSI**

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

**EDWARD YAHYA  
0606072194**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Edward Yahya**

**NPM : 0606072194**

**Tanda tangan : **

**Tanggal : 8 Juli 2010**

## STATEMENT OF ORIGINALITY

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

**Name : Edward Yahya**

**NPM : 0606072194**

**Signature : **

**Date : July 8<sup>th</sup>, 2010**



## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Edward Yahya  
NPM : 0606072194  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi :

**STUDI PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON  
DI DAERAH TUMPUAN  
DENGAN MENGGUNAKAN LEMBARAN SERAT KARBON**

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr-Ing. Josia Irwan Rastandi, ST., MT.

(*Josia Irwan Rastandi*)

Pembimbing : Dr.Ir. Elly Tjahjono, DEA.

(*Elly Tjahjono*)

Penguji : Mulia Orientilize, ST., M.Eng

(*Mulia Orientilize*)

Penguji : Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng

(*Sjahril A. Rahim*)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juli 2010

## AUTHENTICATION SHEET

This paper submitted by :  
Name : Edward Yahya  
NPM : 0606072194  
Study Program : Civil Engineering  
Skripsi Title :

**STUDY OF CONCRETE BEAM STRUCTURE REINFORCEMENT  
IN A SUPPORT AREA  
WITH CFRP WRAP**

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

### EXAMINER COUNCIL

Counselor : Dr-Ing. Josia Irwan Rastandi, ST., MT.



Counselor : Dr.Ir. Elly Tjahjono, DEA.



Examiner : Mulia Orientilize, ST., M.Eng



Examiner : Ir. Sjahril A. Rahim, M.Eng



Approved in : Depok

Date : July 8<sup>th</sup>, 2010

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya , saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat pencapaian gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak akan sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr-Ing Josia Irwan Rastandi, ST., MT., dan Dr.Ir. Elly Tjahjono, DEA., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan saya dalam penyusunan seminar skripsi 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 menjadi mitra dalam penelitian ini dimana telah banyak membantu dalam penyediaan material maupun data teknis yang dibutuhkan peneliti.
4. Laboran yang telah membantu mempersiapkan dan melakukan pengujian di laboratorium.
5. Orang Tua dan keluarga saya tercinta atas doa dan dukungannya.
6. Teman-teman Departemen Teknik Sipil khususnya angkatan 2006 yang telah memberikan masukan dan semangat bagi saya.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat menjadi inspirasi bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya bidang teknik Sipil.

Depok, 8 Juli 2010



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

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

Nama : Edward Yahya  
NPM : 0606072194  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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 :

**STUDI PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON  
DI DAERAH TUMPUAN  
DENGAN MENGGUNAKAN LEMBARAN SERAT KARBON**

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 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 : 8 Juli 2010  
Yang menyatakan



(Edward Yahya)

## ABSTRACT

Name : Edward Yahya  
Study Program : Teknik Sipil  
Title :

### **STUDY OF CONCRETE BEAM STRUCTURE REINFORCEMENT IN A SUPPORT AREA WITH CFRP WRAP**

Structure reinforcement using carbon fibre is an effective method to retrofit the structure decreased in capacity. Fibre Reinforced Polymer (FRP) material based on carbon called Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) has a tensile strength up to 4900 MPa in plate and wrap, so when used in the composite concrete structure will play a role in providing a large tensile strength effectively. Otherwise, a support area of beam often has difficulties to give a good development length of material because of the column. The difficulties happened in CFRP plate that cannot be buckle and belt to the column.

In this research, CFRP wrap that commonly use to give shear reinforcement will be used to give flexural reinforcement in a support area where the material will be belt to the column so can give a good development length to the material. The samples used are beam column structure which has a compressive strength of concrete around 30MPa where the structure tested in flexural strength with monotonic loading until reach its ultimate limit. The samples leave for 2 years before repaired with resin injection production of PT Sika Indonesia called *Sikadur 31* and *Sikadur 752* and strengthened with CFRP wrap production of PT Sika Indonesia called *Sikawrap 231-C* and *Sikadur 330* and then tested in flexural with monotonic loading. The results of this research indicate that there is a significant increasing moment capacity around 50% more than its original capacity.

Key Words:

Concrete Beam Structure Reinforcement, Carbon Fibre, Support Area, CFRP wrap

## ABSTRAK

Nama : Edward Yahya  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul :

### **STUDI PERKUATAN STRUKTUR BALOK BETON DI DAERAH TUMPUAN DENGAN MENGGUNAKAN LEMBARAN SERAT KARBON**

Perkuatan struktur dengan menggunakan serat karbon merupakan suatu metode yang efektif untuk memperbaiki struktur yang mengalami penurunan kapasitas. Material *Fibre Reinforced Polymer (FRP)* dari bahan karbon ini yang disebut *Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP)* mempunyai kekuatan tarik hingga 4900 MPa dengan bentuk pelat maupun lembaran sehingga apabila digunakan secara komposit pada struktur beton dapat berperan secara efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik dari elemen struktur. Akan tetapi, untuk daerah tumpuan balok sering kali menemui kesulitan karena adanya kolom yang tidak memungkinkan untuk memberikan panjang penyaluran yang cukup untuk material *CFRP*. Hal ini terutama untuk pelat *CFRP* karena tidak memungkinkan untuk ditekuk dan diikat ke kolom.

Penelitian kali ini dilakukan terhadap penggunaan lembaran *CFRP* yang biasa digunakan untuk perkuatan geser dimana lembaran *CFRP* ini digunakan untuk perkuatan lentur daerah tumpuan dengan mengikat material ke kolom sehingga memberikan panjang penyaluran yang cukup. Benda uji yang digunakan adalah struktur balok kolom dengan kuat tekan beton berkisar 30 MPa dimana sebelumnya telah dilakukan uji kuat lentur terhadap struktur dengan pembebanan monotonik hingga dicapai batas ultimitnya. Benda uji ini kemudian dibiarkan selama kurang lebih 2 tahun sebelum dilakukan perbaikan dengan menggunakan injeksi resin produksi PT Sika Indonesia dengan nama *Sikadur 31* dan *Sikadur 752* serta diperkuat dengan menggunakan lembaran serat karbon produksi PT Sika Indonesia dengan nama *Sikawrap 231-C* dan *Sikadur 330* kemudian dilakukan uji kuat lentur menggunakan pembebanan monotonik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kapasitas lentur yang cukup signifikan hingga sekitar 50% lebih dari kapasitas mula-mula.

Kata Kunci:

Perkuatan struktur balok beton, serat karbon, tumpuan, lembaran *CFRP*

## 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 GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Hipotesis .....	8
1.6. Metodologi Penelitian .....	8
1.7. Sistematika Pembahasan .....	9
<b>2. LANDASAN TEORI .....</b>	<b>10</b>
2.1. Sejarah Perkembangan Material <i>Fibre Reinforced Polymer</i> ( <i>FRP</i> ) .....	10
2.2. Review Penelitian Perkuatan Struktur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Pelat Baja dan <i>CFRP</i> .....	12
2.2.1. Baja Pelat .....	12
2.2.2. Pelat <i>CFRP</i> .....	12
2.2.3. Lembaran <i>CFRP</i> .....	13
2.3. Beton Bertulang .....	13
2.3.1. Analisis Kuat Lentur Struktur Beton Bertulang .....	14
2.3.2. Analisis Kuat Geser Struktur Beton Bertulang .....	18
2.4. Beton Bertulang dengan Perkuatan <i>CFRP</i> .....	22
2.4.1. Analisis Kuat Lentur dengan Perkuatan <i>CFRP</i> .....	23
2.4.2. Analisis Kuat Geser dengan Perkuatan <i>CFRP</i> .....	26
2.5. Kelemahan Perkuatan dengan <i>CFRP</i> .....	27
2.5.1. Bentuk <i>CFRP</i> .....	27
2.5.2. Panjang Penyaluran.....	27
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
3.1. Umum .....	29
3.2. Sistematika Penelitian .....	29
3.3. Benda Uji Eksisting .....	30
3.3.1. Data Properti Material Beton .....	30
3.3.2. Data Hasil Tes Tekan Silinder .....	31
3.3.3. Data Properti Material Baja .....	32

3.3.4. Dimensi dan Penulangan.....	32
3.4. Metode Perbaikan Benda Uji Eksisting.....	32
3.5. Metode Perkuatan Benda Uji Eksisting.....	35
3.6. Pengujian Laboratorium Terhadap Benda Uji Yang Telah Diperbaiki dan Diperkuat.....	37
<b>4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA .....</b>	<b>39</b>
4.1. Studi Eksperimental .....	39
4.1.1. Pendahuluan.....	39
4.1.2. Hasil Pengujian .....	40
4.2. Pengolahan Data dan Analisa Hasil .....	42
4.2.1. Beban Luar.....	42
4.2.2. Lendutan .....	46
4.2.3. Momen-Rotasi.....	59
4.2.4. Pola Retak dan Jenis Kegagalan .....	68
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>87</b>
5.1. Kesimpulan .....	87
5.2. Saran .....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	89
LAMPIRAN .....	91

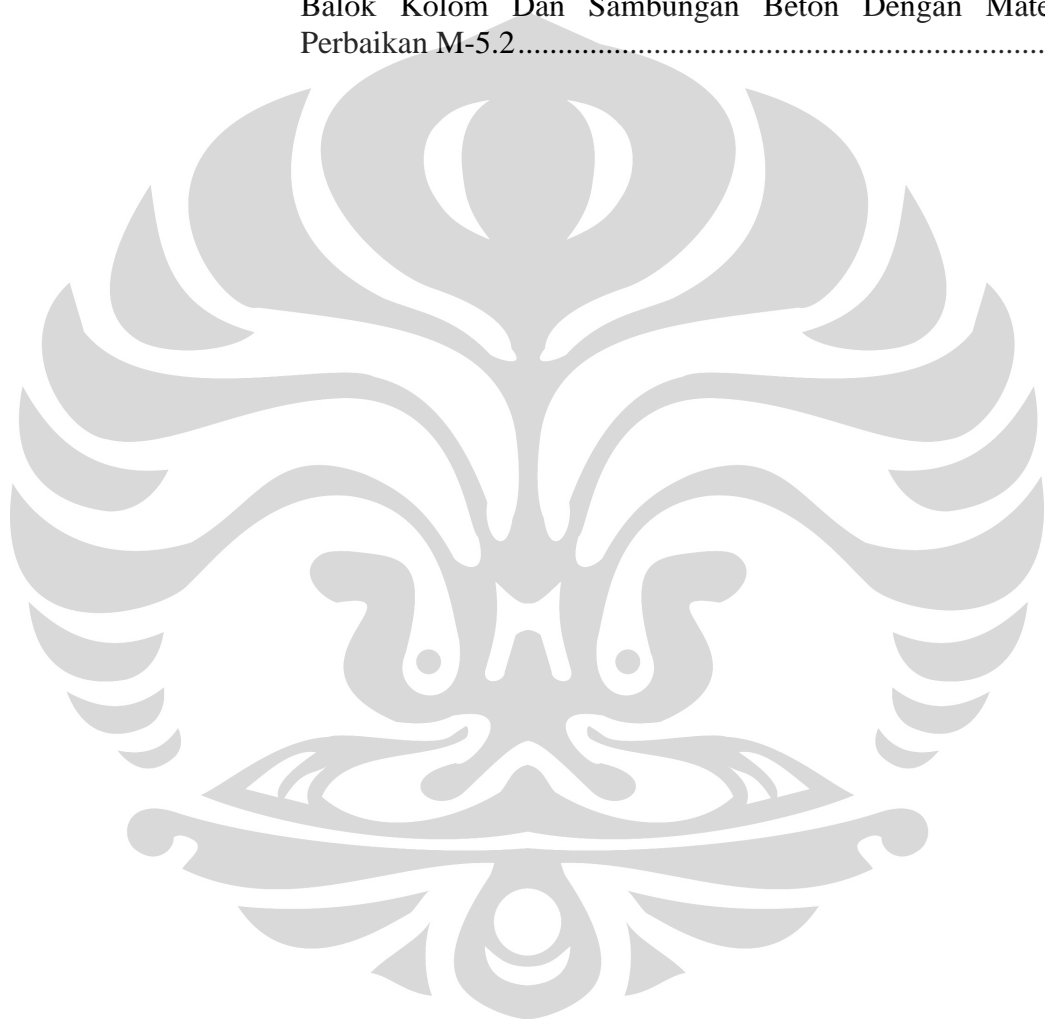


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Dimensi Dan Penulangan Balok Kantilever .....	4
Gambar 1.2	Potongan A.....	5
Gambar 1.3	Potongan B.....	5
Gambar 1.4	Tampak Atas Pemasangan Perkuatan ( <i>Mm</i> ) .....	6
Gambar 1.5	Tampak 3D Pemasangan Perkuatan ( <i>Mm</i> ).....	6
Gambar 1.6	Tampak Atas Pemasangan Perkuatan Yang Diikatkan Ke Kolom ( <i>Mm</i> ).....	7
Gambar 1.7	Tampak 3D Pemasangan Perkuatan Yang Diikatkan Ke Kolom ( <i>Mm</i> ).....	7
Gambar 2.1	Pola Pembebanan .....	14
Gambar 2.2	Perilaku Lentur Pada Kondisi Elastis.....	16
Gambar 2.3	Perilaku Lentur Pada Kondisi Ultimit/Leleh .....	16
Gambar 2.4	Perlawanan Terhadap Geser.....	19
Gambar 2.5	Keruntuhan Lentur Pada Balok.....	21
Gambar 2.6	Keruntuhan Tarik Diagonal Pada Balok .....	21
Gambar 2.7	Keruntuhan Tekan Geser Pada Balok .....	22
Gambar 2.8	Perilaku Lentur Pada Kondisi Ultimit/Leleh Dengan Perkuatan <i>FRP</i> .....	23
Gambar 2.9	Perilaku Lentur Daerah Tumpuan Dengan Perkuatan Lembaran <i>CFRP</i> .....	24
Gambar 2.10	Perkuatan Geser Dengan Material Lembaran <i>CFRP</i> Di Daerah Tumpuan.....	26
Gambar 3.1	Posisi <i>Loading Test</i> .....	37
Gambar 3.2	Posisi <i>Dial Gauge</i> .....	38
Gambar 3.3	Posisi Pelat Baja Pada Titik Pembebanan.....	38
Gambar 4.1	Grafik Beban-Lendutan M-1 Sebelum Koreksi .....	47
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan <i>Repair Injection</i> .....	48
Gambar 4.3	Grafik Beban-Lendutan M-2.1 Sebelum Koreksi .....	49
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-2.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	49
Gambar 4.5	Grafik Beban-Lendutan M-2.2 Sebelum Koreksi .....	50
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-2.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	50
Gambar 4.7	Grafik Beban-Lendutan M-3.1 Sebelum Koreksi .....	51
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-3.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	52
Gambar 4.9	Grafik Beban-Lendutan M-3.2 Sebelum Koreksi .....	53
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-3.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	53
Gambar 4.11	Grafik Beban-Lendutan M-4.1 Sebelum Koreksi .....	54
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-4.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	54
Gambar 4.13	Grafik Beban-Lendutan M-4.2 Sebelum Koreksi .....	55

Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-4.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	56
Gambar 4.15	Grafik Beban-Lendutan M-5.1 Sebelum Koreksi .....	57
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-5.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	57
Gambar 4.17	Grafik Beban-Lendutan M-5.2 Sebelum Koreksi .....	58
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-5.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	58
Gambar 4.19	Grafik Momen-Rotasi M-1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perbaikan .....	60
Gambar 4.20	Grafik Momen-Rotasi M-2.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	61
Gambar 4.21	Grafik Momen-Rotasi M-2.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	62
Gambar 4.22	Grafik Momen-Rotasi M-3.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	63
Gambar 4.23	Grafik Momen-Rotasi M-3.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	63
Gambar 4.24	Grafik Momen-Rotasi M-4.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	64
Gambar 4.25	Grafik Momen-Rotasi M-4.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	65
Gambar 4.26	Grafik Momen-Rotasi M-5.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	66
Gambar 4.27	Grafik Momen-Rotasi M-5.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan .....	67
Gambar 4.28	Kegagalan Lentur Pada Sambungan Beton Lama Dengan Material Perbaikan Dan Sambungan Balok Kolom M-1 .....	69
Gambar 4.29	Lepasnya Rekatan Perkuatan M-2.1 .....	70
Gambar 4.30	Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-2.1 .....	70
Gambar 4.31	Lepasnya Rekatan Perkuatan M-2.2 .....	72
Gambar 4.32	Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-2.2 .....	72
Gambar 4.33	Retak Pada Sambungan Balok Kolom M-3.1 .....	73
Gambar 4.34	Retak Melintang Perkuatan Di Daerah Tekukan Pertemuan Balok Kolom M-3.1 .....	73
Gambar 4.35	Retak Diagonal Akibat Geser Pada Panel Pertemuan Balok Kolom M-3.1 .....	74
Gambar 4.36	Retak Pada Sambungan Balok Kolom M-3.2 .....	75
Gambar 4.37	Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom M-3.2 .....	75
Gambar 4.38	Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom M-4.1 .....	77
Gambar 4.39	Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-4.1 .....	78
Gambar 4.40	Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom M-4.2 .....	79
Gambar 4.41	Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-4.2 .....	80

Gambar 4.42	Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom Dan Menerus Ke Badan Balok M-5.1 .....	81
Gambar 4.43	Retak Diagonal Akibat Geser Pada Panel Pertemuan Balok Kolom M-5.1.....	82
Gambar 4.44	Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-5.1 .....	82
Gambar 4.45	Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom M-5.2 .....	83
Gambar 4.46	Retak Diagonal Akibat Geser Pada Panel Pertemuan Balok Kolom M-5.2.....	84
Gambar 4.47	Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom Dan Sambungan Beton Dengan Material Perbaikan M-5.2.....	85



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Hasil Uji Rata-Rata Material Beton.....	30
Tabel 3.2	Hasil Tes Tekan Silinder Uji .....	31
Tabel 3.3	Hasil Uji Rata-Rata Baja Tulangan Dan Pelat.....	32
Tabel 4.1	Pembebanan Maksimum Tiap Tahap .....	40
Tabel 4.2	Pembacaan <i>Dial Gauge</i> M-3.1.....	41
Tabel 4.3	Beban Nominal Perhitungan Teori dan Hasil Uji Balok Kantilever Tanpa Perkuatan( <b>P TP</b> ) dan Dengan Perkuatan( <b>P P</b> )..	42
Tabel 4.4	Beban Nominal Rata-Rata Teori Dan Hasil Uji Balok Kantilever Tanpa Perkuatan ( <b>P TP</b> ) dan Dengan Perkuatan ( <b>P P</b> ) .....	43
Tabel 4.5	Peningkatan Kapasitas Beban Balok Kantilever Dengan Perkuatan Lembaran <i>CFRP</i> Terhadap Balok Kantilever Tanpa Perkuatan .....	43
Tabel 4.6	Peningkatan Rata-Rata Kapasitas Beban Balok Kantilever Dengan Perkuatan Lembaran <i>CFRP</i> Terhadap Balok Kantilever Tanpa Perkuatan .....	44
Tabel 4.7	Lendutan M-3.1 Sesudah Perbaikan Dan Perkuatan .....	46
Tabel 4.8	Kapasitas Momen dan Peningkatan Momen Balok Kantilever Dengan Perkuatan Lembaran <i>CFRP</i> ( <b>P</b> ) Terhadap Balok Kantilever Tanpa Perkuatan ( <b>TP</b> ).....	67
Tabel 4.9	Kapasitas Momen dan Peningkatan Momen Rata-Rata Balok Kantilever Dengan Perkuatan Lembaran <i>CFRP</i> ( <b>P</b> ) Terhadap Balok Kantilever Tanpa Perkuatan ( <b>TP</b> ) .....	68
Tabel 4.8	Pola Retak Benda Uji.....	85
Tabel 4.9	Jenis Kegagalan Benda Uji.....	86

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan zaman, perkembangan material untuk rekayasa teknik juga terus berkembang. Material dengan kekuatan mekanis yang tinggi terus diteliti dan dikembangkan untuk digunakan dalam rekayasa teknik. Beralihnya fungsi bangunan, kebakaran, serta gempa bumi dapat membuat masa layan dari struktur bangunan menurun dan membutuhkan perkuatan tambahan. Penurunan masa layan ini terjadi akibat penambahan beban yang berlebih sehingga struktur mengalami retak bahkan keruntuhan akibat lentur pada daerah tengah bentang maupun daerah pertemuan balok kolom eksterior (tumpuan) yang mengalami tarik. Untuk itu, diperlukan suatu perbaikan dan perkuatan menggunakan material dengan kekuatan mekanis tinggi pada daerah yang mengalami retak akibat lentur tersebut.

Perkembangan ilmu material saat ini telah memberikan jawaban atas masalah perbaikan dan perkuatan struktur yang telah mengalami kerusakan dengan memanfaatkan material *Fibre Reinforced Polymer (FRP)*. Penelitian dan penggunaan terhadap *FRP* ini terus dikembangkan untuk melihat pengaruh material dalam perbaikan dan perkuatan struktur beton bertulang sehingga perkuatan menggunakan pelat baja yang relatif berat dapat digantikan oleh material *FRP* yang relatif ringan. Prinsip daripada penambahan *FRP* ini sama seperti penambahan pelat baja, yaitu menambah kekuatan di bagian tarik dari struktur. Adapun tipe *FRP* yang dipakai pada perkuatan struktur adalah dari bahan carbon, aramid dan glass.

*FRP* dari bahan carbon atau disebut *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* merupakan tipe fiber yang banyak digunakan untuk perbaikan dan perkuatan struktur balok beton bertulang. Bentuk *CFRP* yang sering digunakan pada perkuatan struktur adalah pelat dan lembaran. Secara umum, bentuk pelat lebih efektif dan efisien untuk perkuatan lentur baik pada balok maupun pelat serta pada dinding, sedangkan bentuk lembaran lebih efektif dan efisien untuk perkuatan geser pada balok serta untuk meningkatkan kapasitas beban axial dan

geser pada kolom. CFRP ini diproduksi oleh suatu perusahaan yang telah berpengalaman di dunia kimia untuk pekerjaan konstruksi dalam skala global, yaitu SIKA AG, Switzerland. Melalui cabangnya di Indonesia, PT Sika Indonesia memperkenalkan penggunaan bahan utama perbaikan struktur beton dengan *Sikadur 31* dan *Sikadur 752* serta *Sika-wrap 231-C* dan *Sikadur 330* sebagai material yang kompetitif digunakan sebagai perkuatan struktur. Secara umum, keunggulan material *CFRP* ini adalah:

- a. Ringan dan memiliki kekuatan tarik yang besar.
- b. Bersifat *Non-Corrosive*.
- c. Memiliki dimensi tebal yang relatif tipis.
- d. Secara signifikan dapat menambah kapasitas kekuatan struktur.
- e. Penggunaannya bersifat ekonomis.
- f. Dapat diaplikasikan pada bentuk maupun permukaan yang irregular.
- g. Mudah dalam pemasangannya.

Penelitian terhadap material perkuatan pelat *CFRP* di daerah tumpuan pernah dilakukan dan menunjukkan peningkatan kapasitas lentur dari struktur balok beton bertulang dengan digunakannya material ini secara eksternal pada bagian atas balok yang mengalami tarik. Namun, penelitian terhadap bentuk lain dari material *CFRP* yaitu lembaran *CFRP* untuk perkuatan lentur khususnya di daerah tumpuan belum pernah dilakukan sehingga akan diteliti penggunaan material perkuatan lembaran *CFRP* di daerah tumpuan balok beton bertulang kantilever yang ditempatkan secara eksternal pada bagian atas balok yang mengalami tarik. Penggunaan lembaran *CFRP* ini diharapkan dapat meningkatkan kekuatan lentur struktur di daerah tumpuan terkait dengan terpenuhinya kriteria panjang penyaluran material serta memberikan kemudahan dalam pengaplikasian dikarenakan fleksibilitas dari material ini.

Pada kesempatan kali ini penulis akan mencoba mengembangkan penelitian terhadap metode perbaikan dan perkuatan struktur kantilever balok beton bertulang di daerah tumpuan yang telah mengalami keruntuhan akibat beban berlebih (*overloading*). Perbaikan terhadap struktur beton akan dilakukan menggunakan material perbaikan berupa *Sikadur 31* dan *Sikadur 752* serta

penambahan bahan perkuatan berupa *Sika-wrap 231-C* dan *Sikadur 330* pada daerah tumpuan buatan PT Sika Indonesia.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dewasa ini telah berkembang material jenis baru yaitu *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. *CFRP* adalah material ringan dengan berat  $1,6 \text{ g/cm}^3$  yang mempunyai kekuatan tarik jauh lebih tinggi dibandingkan dengan material baja yaitu minimal sebesar  $2800 \text{ MPa}$ , sehingga apabila digabungkan secara komposit dengan struktur beton, material ini akan berperan dalam meningkatkan kapasitas lentur dari struktur.

Perkuatan struktur balok beton bertulang di daerah tumpuan pernah dilakukan dengan menggunakan baja pelat bentuk siku dan pelat *CFRP* dimana perkuatan tersebut menunjukkan peningkatan kapasitas lentur dari struktur. Namun, pemasangan baja pelat bentuk siku maupun pelat *CFRP* pada daerah tumpuan balok seringkali menemui kesulitan karena adanya kolom yang tidak memungkinkan untuk memberikan panjang penyaluran yang cukup pada *CFRP*. Hal ini terjadi dikarenakan baja pelat bentuk siku maupun pelat *CFRP* tidak memungkinkan untuk ditekuk dan diikat ke kolom sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap bentuk lainnya dari *CFRP*, yaitu lembaran *CFRP* yang lebih fleksibel untuk dapat ditekuk dan diikat ke kolom sehingga dapat memberikan panjang penyaluran yang cukup untuk material. Di dalam penelitian ini akan dicoba penggunaan lembaran *CFRP* yang biasa digunakan untuk perkuatan geser dimana perkuatan ini hendak digunakan untuk perkuatan lentur daerah tumpuan dengan mengikat material ke kolom sehingga memberikan panjang penyaluran yang cukup. Lembaran *CFRP* ini ditempatkan secara eksternal di daerah tumpuan pada bagian sisi atas struktur kantilever balok beton bertulang.

Penelitian kali ini ingin melihat bagaimana pengaruh penggunaan lembaran *CFRP* terkait dengan kriteria panjang penyaluran pada daerah tumpuan terhadap peningkatan kapasitas kekuatan lentur dari struktur balok beton bertulang yang telah mengalami kerusakan akibat *overloading*.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai melalui penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penggunaan lembaran *CFRP* untuk perkuatan lentur pada daerah tumpuan yang dapat memberikan panjang penyaluran yang cukup. Dengan menggunakan lembaran *CFRP* sebagai material perkuatan di daerah tumpuan, diharapkan struktur balok beton bertulang yang telah runtuh akibat *overloading* dapat mengalami peningkatan kapasitas lentur.

Penulis akan membahas metode perbaikan kerusakan struktur kantilever balok beton bertulang yang telah runtuh akibat *overloading* dengan menggunakan bahan perbaikan dan perkuatan produksi PT Sika Indonesia sehingga dapat diketahui perilaku serta kinerja dan kekuatan struktur kantilever balok beton bertulang setelah dilakukan perbaikan dan perkuatan.

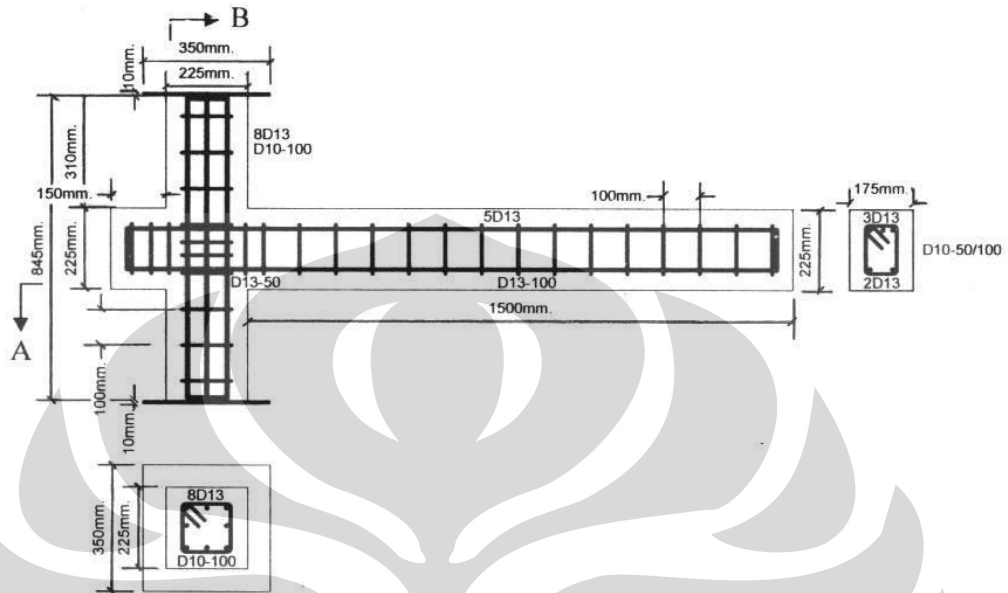
Diharapkan hasil penelitian ini dapat membantu mendapatkan solusi terhadap penyelesaian masalah perbaikan dan perkuatan struktur balok beton bertulang di daerah tumpuan.

### 1.4 Batasan Masalah

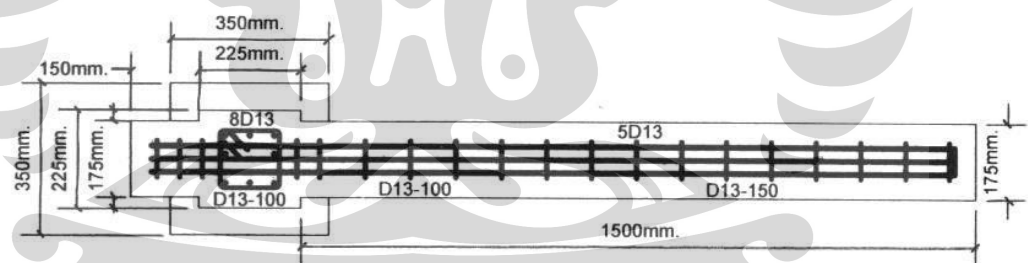
Struktur yang ditinjau dan diteliti adalah balok beton bertulang yang telah mengalami kerusakan akibat pembebanan berlebih (*overloading*) pada penelitian sebelumnya. Kondisi penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pio Ranap Tua Naibaho (2008):



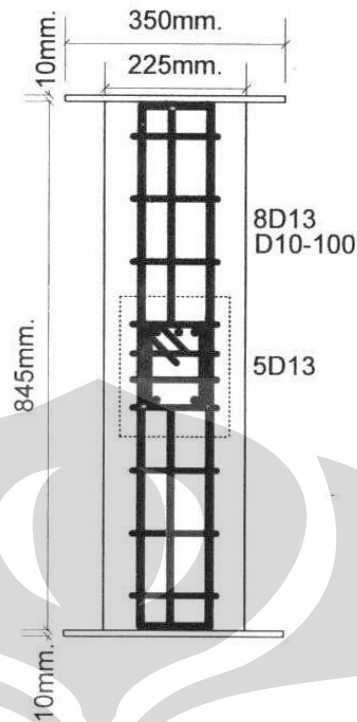
- Dimensi balok kantilever beton bertulang seperti tergambar dibawah ini



**Gambar 1.1** Dimensi dan Penulangan Balok Kantilever



**Gambar 1.2** Potongan A



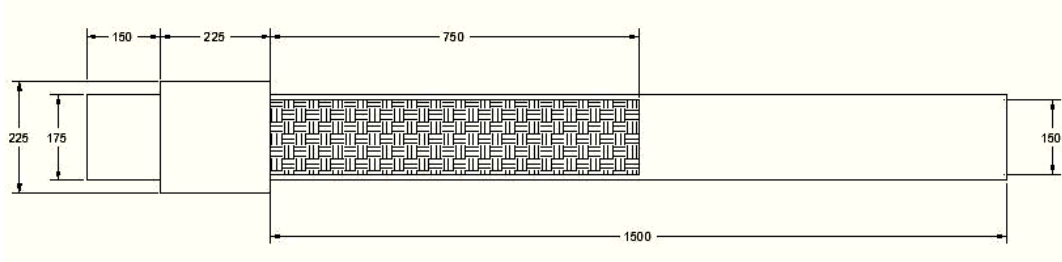
**Gambar 1.3** Potongan B

- Struktur balok kantilever beton bertulang telah mengalami kerusakan akibat beban berlebih (foto terlampir).
- Pada penelitian sebelumnya, material perbaikan yang digunakan adalah *Sikadur 31* dan *Sikadur 752* serta diperkuat dengan menggunakan *Sika Carbodur* dan *Sikadur 30*.

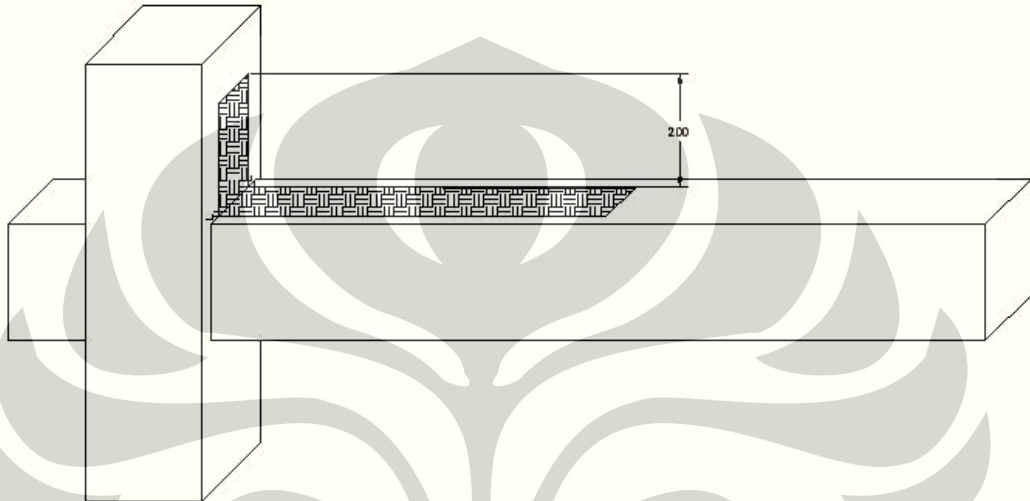
Penelitian kali ini menggunakan benda uji eksisting hasil penelitian sebelumnya seperti dijelaskan di atas dimana balok kantilever beton bertulang yang akan digunakan telah mengalami keruntuhan akibat *overloading*. Benda ini dibiarkan selama kurang lebih 2 tahun dengan kondisi retak sebelum dilakukan perbaikan dan perkuatan.

Penelitian akan difokuskan pada daerah tumpuan dimana benda uji eksisting akan diperbaiki kembali menggunakan *Sikadur 31* dan *Sikadur 752* kemudian diperkuat dengan menggunakan *Sika-wrap 231-C* dan *Sikadur 330*. Penelitian dilakukan dengan 5 variasi seperti dibawah ini :

1. Balok yang diperbaiki dengan material perbaikan
2. Balok yang diperbaiki dengan material perbaikan dan diperkuat dengan 1 lapis lembaran *CFRP* seperti **Gambar 1.4**

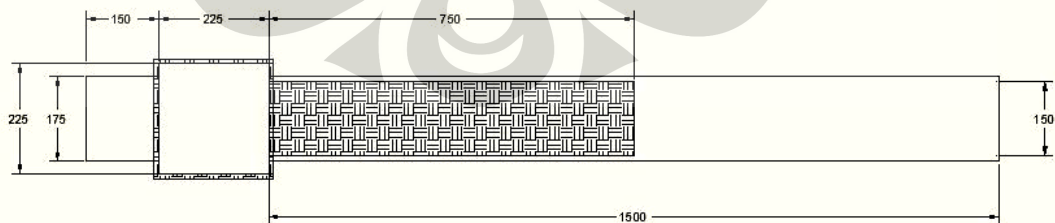


**Gambar 1.4** Tampak Atas Pemasangan Perkuatan (*mm*)

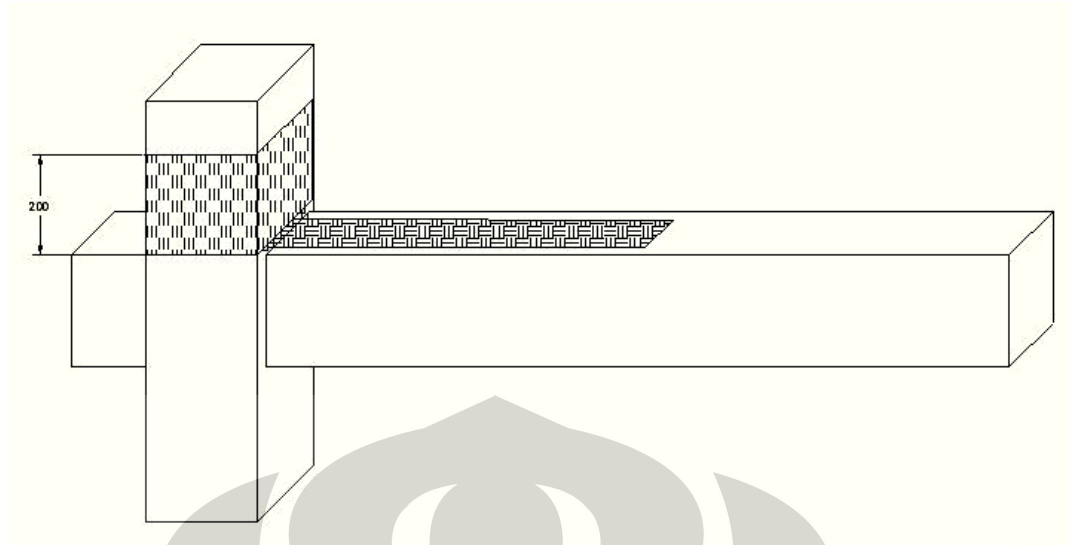


**Gambar 1.5** Tampak 3D Pemasangan Perkuatan (*mm*)

3. Balok yang diperbaiki dengan material perbaikan dan diperkuat dengan 1 lapis lembaran *CFRP* yang diikatkan ke kolom seperti **Gambar 1.6** dan **1.7**
4. Balok yang diperbaiki dengan material perbaikan dan diperkuat dengan 2 lapis lembaran *CFRP* yang diikatkan ke kolom seperti **Gambar 1.6** dan **1.7**
5. Balok yang diperbaiki dengan material perbaikan dan diperkuat dengan 3 lapis lembaran *CFRP* yang diikatkan ke kolom seperti **Gambar 1.6** dan **1.7**



**Gambar 1.6** Tampak Atas Pemasangan Perkuatan (*mm*)



**Gambar 1.7** Tampak 3D Pemasangan Perkuatan (*mm*)

Setelah diperbaiki dan diperkuat, maka benda uji akan diberi beban sampai mengalami keruntuhan akibat *overloading* dimana pembebanan diberikan secara bertahap dengan sistem monotonik. Selama proses pembebanan berlangsung, dilakukan pengamatan terhadap besar beban, lendutan, serta pola retak yang terjadi sehingga dapat dilakukan analisis terhadap peningkatan kapasitas lentur dari struktur.

### 1.5 Hipotesis

Lembaran serat karbon dapat dipergunakan untuk perkuatan lentur di daerah tumpuan dengan cara menempelkan serta mengikatkan ke kolom sebagai pengganti panjang penyaluran sehingga terjadi peningkatan kapasitas lentur dari struktur.

### 1.6 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian di laboratorium dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Melakukan studi kepustakaan terhadap berbagai referensi berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Topik-topik yang akan dikaji antara lain meliputi: sejarah perkembangan material *FRP*, review penelitian perkuatan struktur balok beton bertulang dengan pelat baja maupun material *CFRP*, beton bertulang, beton bertulang dengan perkuatan *FRP* disertai analisis kuat lentur dan geser struktur, serta kelemahan perkuatan struktur dengan *CFRP* terkait dengan bentuk perkuatan dan kriteria panjang penyaluran struktur.

- b. Menggunakan struktur balok beton bertulang yang telah mengalami kerusakan akibat pembebanan yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya.
- c. Melakukan perbaikan terhadap struktur balok beton bertulang yang telah mengalami kerusakan. Metode perbaikan dilakukan dengan penutupan retak menggunakan *Sikadur 31* dan injeksi bertekanan tinggi terhadap retak yang terjadi menggunakan *Sikadur 752*.
- d. Melakukan perkuatan dengan merekatkan *Sika-wrap 231-C* di daerah tumpuan bagian atas struktur balok beton bertulang yang telah mengalami kerusakan akibat pembebanan menggunakan *Sikadur 330*.
- e. Melakukan pengujian pembebanan secara *monotonic* di ujung struktur balok beton kantilever yang telah diperbaiki dan diberi perkuatan serta menganalisis hasil pengujian.

### 1.7 Sistematika Penulisan

- Bab I. Pendahuluan yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.
- Bab II. Landasan Teori memberikan penjelasan mengenai sejarah perkembangan material *FRP*, review penelitian perkuatan struktur balok beton bertulang dengan pelat baja maupun material *CFRP*, beton bertulang, beton bertulang dengan perkuatan *FRP* disertai analisis kuat lentur dan geser struktur, serta kelemahan perkuatan struktur dengan *CFRP* terkait dengan bentuk perkuatan dan kriteria panjang penyaluran struktur.
- Bab III. Metodologi Penelitian memberi penjelasan tentang data objek penelitian yang ditinjau, metode penelitian yang digunakan, serta jalannya percobaan di laboratorium.
- Bab IV. Pengolahan Data dan Analisa membahas tentang hasil penelitian yang didasarkan pada analisa secara teoritis.
- Bab V. Kesimpulan dan Saran memberi kesimpulan dari hasil analisa penelitian yang dilakukan serta saran-saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Sejarah Perkembangan Material *Fibre Reinforced Polymer (FRP)*

Pada tahun sebelum Masehi, sudah banyak jenis material yang digunakan oleh bangsa primitif pada zaman itu. Material yang sering digunakan adalah polimer, keramik, maupun komposit. Hal ini dapat dilihat dari barang-barang antik hasil penemuan sejarah. Berdasarkan hasil-hasil penemuan tersebut, dapat dilihat bahwa material yang paling mutakhir saat ini yaitu komposit, sudah ada pada zaman itu. Pertama kali munculnya material komposit adalah batu bata yang terdiri dari tanah liat dan jerami yang berasal dari China dan Mesir Kuno.

Seiring dengan berkembangnya zaman, perkembangan dan penggunaan material komposit pun terus meningkat. Material komposit adalah penggabungan dua jenis material atau lebih untuk memperoleh sifat optimum dari setiap material penyusunnya. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Material komposit tersusun dari dua jenis material yaitu material dasar (matriks) dan material pengisi (filler). Filler (pengisi) pada material komposit berfungsi sebagai penguat, sedangkan matriks berfungsi sebagai perekat atau pengikat, pelindung filamen, serta pelintas tegangan ke material pengisi (D. Feldman dan A.J.Hartomo, 1995). Penggunaan komposit sering diaplikasikan untuk produk-produk sederhana (rumahan), alat olahraga, pesawat penumpang dan pesawat militer, jembatan, hingga produk-produk untuk transportasi atau alat-alat militer yang membutuhkan ketangguhan dan kekuatan yang sangat baik.

Banyak jenis dari material komposit ini yaitu *MMC (Metal Matrix Composite)* yaitu komposit dengan material dasar dan material penguatnya berbahan dasar logam, *CMC (Ceramic Matrix Composite)* yaitu komposit dengan material dasar dan material penguatnya berbahan dasar keramik dan *PMC (Polymer Matrix Composite)* yaitu komposit dengan material dasar dan material penguatnya polimer.

*PMC* adalah salah satu jenis komposit yang paling populer saat ini. Penelitian dan penggunaan terhadap material *PMC* terus dikembangkan untuk menggantikan penggunaan logam seperti baja yang relatif lebih berat. Polimer yang dapat digunakan dalam pembuatan komposit ini yaitu *thermoset* dan *thermoplastic*. Secara garis besar, jenis polimer *thermoset* adalah jenis polimer yang tidak dapat di daur ulang, sedangkan jenis polimer *thermoplastic* adalah jenis polimer yang dapat di daur ulang.

Jenis *PMC* yang saat ini sering dipakai dinamakan *FRP (Fiber Reinforced Polymer)* yaitu material polimer yang diperkuat dengan menggunakan serat. Penggunaan serat ini dimaksudkan agar berat material komposit menjadi lebih ringan dibandingkan dengan menggunakan logam yang relatif lebih berat. Sedangkan, keuntungan penggunaan polimer dibandingkan dengan logam adalah polimer tidak akan berkarat (korosi) dan dalam pembuatannya tidak membutuhkan suhu proses yang sangat tinggi. Bahan serat yang umum digunakan pada *FRP* ada 3 jenis serat (*fiber*) yaitu *carbon*, *aramid (kevlar)*, dan *glass* yang masing-masing disebut dengan *CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer)*, *AFRP (Aramid Fibre Reinforced Polymer)*, dan *GFRP (Glass Fibre Reinforced Polymer)* (Sudarsana dan Widiarsa, 2008).

Saat ini telah berkembang suatu metode perkuatan struktur menggunakan material *FRP* ini. Sistem perkuatan dilekatkan pada bagian luar permukaan struktur dengan menggunakan perekat epoksi. Material *FRP* yang menggunakan serat karbon (*CFRP*) adalah material yang banyak digunakan untuk sistem perkuatan ini karena memiliki kuat tarik yang sangat tinggi mencapai 4900 MPa, ringan, tidak mudah mengalami korosi sehingga memiliki durabilitas (keawetan) yang tinggi, mudah dalam pemasangannya sehingga menghemat waktu, serta bahannya mudah untuk dibentuk (fleksibel). Struktur yang diperkuat biasanya berupa struktur beton yang mengalami retak lentur akibat pembebanan baik pada balok, kolom, maupun slab beton. Perkuatan dengan material ini diyakini dapat menambah kapasitas kuat lentur maupun geser dari struktur.

Sebenarnya perkuatan struktur dapat dilakukan dengan menggunakan pelat baja yang dilekatkan pada bagian permukaan struktur yang hendak diperkuat misalnya pada bagian tengah bentang maupun tumpuan. Beberapa penelitian

pernah dilakukan terhadap penggunaan pelat baja ini dan menunjukkan hasil yang cukup memuaskan dimana terjadi peningkatan kapasitas kuat lentur dari struktur. Namun, penggunaan pelat baja memiliki kelemahan karena baja memiliki massa yang relatif berat dan sulit diaplikasikan untuk daerah tumpuan. Karena kelemahan ini, banyak penelitian dilakukan terhadap penggunaan *CFRP* dimana diharapkan *CFRP* dapat menggantikan perkuatan dengan pelat baja sehingga didapat material perkuatan yang ringan namun memiliki kekuatan tinggi. Penelitian-penelitian yang dilakukan difokuskan untuk melihat pengaruh perkuatan *CFRP* yang direkatkan pada balok beton bertulang dalam meningkatkan kapasitas lentur maupun geser dari struktur. Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan, didapat hasil yang cukup memuaskan dimana struktur balok beton yang diperkuat dengan *CFRP* mengalami peningkatan kapasitas lentur struktur untuk perkuatan lentur dan kapasitas geser struktur untuk perkuatan geser.

Karena perkuatan *CFRP* ini dilakukan dengan melekatkan material menggunakan perekat pada struktur yang hendak diperkuat, maka jenis perekat yang digunakan perlu diperhatikan untuk mencegah kegagalan perkuatan struktur akibat lepasnya ikatan antara material *CFRP* dengan beton sehingga perkuatan yang dilakukan menjadi efektif. Perekat yang biasa digunakan untuk melekatkan material *CFRP* dengan struktur beton adalah zat epoksi dimana bentuk *CFRP* yang biasa digunakan adalah bentuk pelat (*plate*) dan Lembaran (*wrap*).

## **2.2 Review Penelitian Perkuatan Struktur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Pelat Baja dan *CFRP***

### **2.2.1 Baja Pelat**

M.Sukrawa, G.Pringgana, dan I.K.Sudarsana ( 2006 ) meneliti balok T-beton bertulang yang diberi perkuatan *steel-plate* pada bagian tarik balok. Hasil penelitiannya didapat bahwa penambahan *steel-plate* meningkatkan kuat lentur balok T sebesar 21% serta menurunkan defleksi balok sebesar 36 % selama tahap *precracking* dan 42,7 % selama tahap *post-cracking*, dibanding balok T tanpa perkuatan.

### **2.2.2 Pelat *CFRP***

Pio Ranap Tua Naibaho ( 2008 ) meneliti balok kantilever beton bertulang yang diberi beban berlebih sehingga mengalami keruntuhan akibat *overloading*.



Kemudian, balok kantilever tersebut diperbaiki dengan bahan perbaikan Sikadur 31 & Sikadur 752 dan diperkuat dengan bahan perkuatan Sikadur 30 & Sika Carbodur Plates. Hasil penelitiannya didapat bahwa struktur balok mengalami peningkatan kekuatan sebesar 16,89% untuk perkuatan dengan *CFRP* yang dipasang memanjang, 27,11% untuk perkuatan *CFRP* yang dipasang memanjang dan melintang, dan 54,16% untuk perkuatan *CFRP* yang dikombinasikan dengan pelat. Nguyen dkk, (2003) dalam penelitiannya menyatakan bahwa penambahan pelat *CFRP* menunjukkan adanya peningkatan kapasitas ultimit balok sampai 132% dengan bentuk kegagalan yang tergantung pada panjang pelat *CFRP*.

### 2.2.3 Lembaran *CFRP*

Januar dan Triwiyono ( 2003 ) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa kolom dengan perkuatan *carbon fiber jacket* yang dipasang dengan arah serat radial (mengelilingi kolom) dapat menahan beban lateral lebih besar 75,566 % dibanding kolom asli.

Purwanto dkk ( 2001 ) mengungkapkan bahwa dalam perkuatan lentur dengan *CFRP strips* dan geser dengan *CFRP wrap* maka kekakuannya naik 5,49 % terhadap balok pasca bakar dengan perkuatan lentur saja, naik 8,04 % terhadap balok pasca bakar tanpa perkuatan, dan turun sebesar 18,77 % terhadap balok normal. Kuat geser ultimit berturut – turut akan naik sebesar 65,64 % terhadap balok pasca bakar dengan perkuatan lentur, 75,68 % terhadap balok pasca bakar tanpa perkuatan, dan 52,63 % terhadap balok normal. Sementara menurut PT.SIKA Indonesia selaku produsen *CFRP wrap*, penelitian mengenai penggunaan *CFRP wrap* masih sebatas perkuatan geser belum sampai pada perkuatan lenturnya (Santosa, 2000).

## 2.3 Beton Bertulang

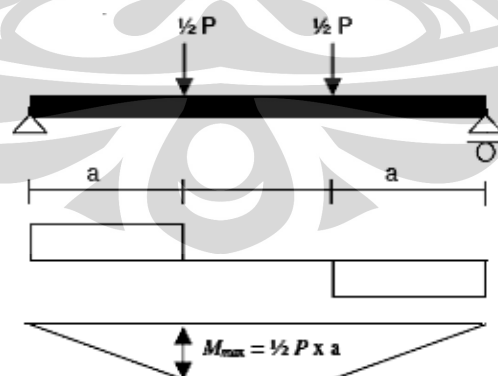
Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya. Beton merupakan campuran bahan-bahan agregat halus dan agregat kasar, yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan bahan perekat semen dan air sebagai bahan yang membantu terjadinya reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Dipohusodo, 1994). Dari berbagai hasil percobaan terhadap kekuatan tarik maupun tekan dari beton, terlihat bahwa kekuatan tarik beton

sangat kecil dibandingkan kekuatan tekannya. Sehingga dalam analisis atau desain, kekuatan tarik beton diabaikan dan beton dianggap hanya dapat menahan gaya tekan. Karena karakteristik ini, maka struktur beton memerlukan material perkuatan yang dapat menahan gaya tarik. Baja merupakan material yang kuat terhadap tarik sehingga baja seringkali dipakai untuk perkuatan tarik dari struktur beton. Beton yang diperkuat dengan menggunakan tulangan baja ini disebut sebagai beton bertulang. Dengan penggunaan struktur beton bertulang, gaya tekan yang dialami struktur akibat pembebanan akan ditahan oleh beton karena kuat tekannya yang tinggi, sedangkan gaya tarik yang timbul seluruhnya ditahan oleh baja tulangan karena terbukti bahwa kekuatan tarik dan tekan baja adalah sama (L. Wahyudi dan Sjahril A. Rahim, 1997).

Struktur beton bertulang banyak digunakan untuk elemen-elemen balok, kolom, dan slab. Agar struktur beton bertulang dapat menahan lentur akibat beban yang bekerja tanpa terjadi kegagalan, maka perlu dilakukan analisis dan desain terhadap kuat lentur struktur beton bertulang.

### 2.3.1 Analisis Kuat Lentur Struktur Beton Bertulang

Lenturan murni adalah lenturan yang terjadi pada balok dengan mengkondisikan gaya lintangnya sama dengan nol, yaitu dengan meletakkan balok beton pada tumpuan sederhana yang dibebani secara simetris sejauh  $a$  dari tumpuan seperti terlihat pada **Gambar 2.1**



**Gambar 2.1** Pola Pembebanan

**Sumber:** Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, nomor 1 volume 10 – Januari 2008, hal: 14

Lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar (Edward G. Nawy, 1990). Apabila beban bertambah maka akan terjadi

deformasi dan regangan tambahan pada balok yang mengakibatkan retak lentur disepanjang bagian balok yang mengalami tarik. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan akibat lentur. Dalam perhitungan perencanaan kekuatan balok beton dengan penampang persegi, digunakan distribusi tegangan ekuivalen bentuk persegi yang diusulkan oleh Whitney sebagai penyederhanaan dari bentuk distribusi lengkung. Whitney menyarankan suatu distribusi tegangan persegi. Penyederhanaan ini diijinkan dalam SNI 03-2847-2002 pasal 12.2 dengan nilai intensitas tegangan rata-rata  $0,85 f_c'$  dan tinggi blok tegangan  $a = \beta_1 c$ . Whitney menetapkan harga  $\beta_1$  sebesar:

1. Untuk  $f_c' \leq 28 \text{ MPa}$ ,

$$\beta_1 = 0,85 \quad (2.1)$$

2. Untuk  $28 \text{ MPa} < f_c' \leq 56 \text{ MPa}$ ,

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f_c' - 28 \text{ MPa}}{7 \text{ MPa}} \quad (2.2)$$

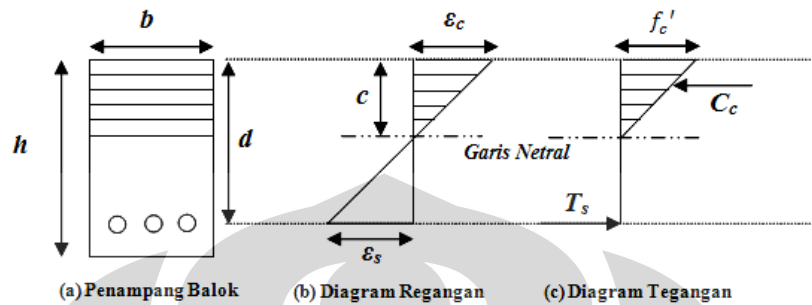
3. Untuk  $f_c' \geq 56 \text{ MPa}$ ,

$$\beta_1 = 0,65 \quad (2.3)$$

Nilai di atas sesuai dengan pasal 12.2 ayat 7 butir 3 SNI 03-2847-2002. Berdasarkan tegangan persegi ekuivalen ini maka nilai kuat lentur nominal  $M_n$  dapat dihitung. Pendekatan dan pengembangan metoda perencanaan kekuatan didasarkan atas anggapan :

1. Bidang penampang rata sebelum terjadi lentur, tetap rata setelah lentur, dan tetap tegak lurus sumbu bujur balok (prinsip Bernoulli). Karena itu, nilai regangan terdistribusi linier atau sebanding lurus dengan jaraknya terhadap garis netral (prinsip Navier).
2. Tegangan sebanding dengan regangan hanya sampai kira-kira beban sedang, yaitu saat tegangan tekan beton telah melampaui  $\pm f_c'$ . Bila beban meningkat sampai beban batas, tegangan yang timbul tidak lagi sebanding dengan regangan, sehingga blok tegangan tekan berupa garis lengkung.
3. Dalam menghitung kapasitas momen, beton tarik diabaikan, seluruh gaya tarik ditahan batang baja tulangan.

Kesebandingan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada balok beton hanya berlaku sampai pada batas elastis, yakni pada tingkat beban sedang yang terlihat pada **Gambar 2.2**:

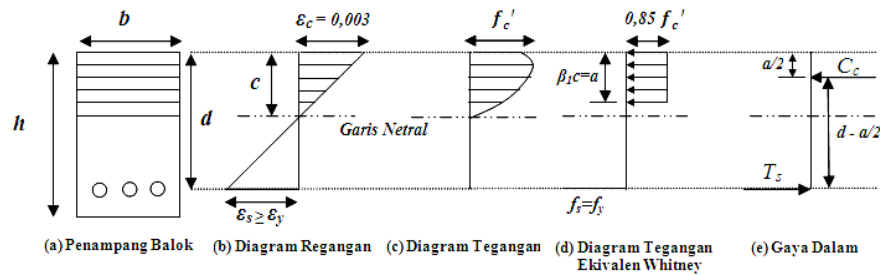


**Gambar 2.2** Perilaku Lentur Pada Kondisi Elastis

Sumber: Reinforced Concrete, J.K.Wight and J.G.MacGregor, 2009

Apabila kekuatan tarik beton telah tercapai, maka beton mengalami retak rambut. Oleh karena itu beton tidak dapat meneruskan gaya tarik pada daerah retak, sehingga seluruh gaya tarik yang timbul ditahan oleh baja tulangan. Pada kondisi tersebut, distribusi tegangan akibat tekan pada beton masih dianggap sebanding dengan nilai regangannya.

Pada **Gambar 2.3** menunjukkan distribusi regangan dan tegangan pada saat beton dan baja tulangan mencapai kondisi leleh. Tahap kapasitas ultimit atau terlampauinya kapasitas batas kuat tekan beton ini merupakan proses yang tidak dapat terulang. Untuk memperhitungkan terjadinya keadaan ultimit, digunakan faktor reduksi. Hal ini serupa dengan sistem pembebanan, yakni beban kerja (*service load*) diperbesar yang disebut beban berfaktor (*factor load*). Dari analisa keseimbangan statis dan kesesuaian tegangan ekuivalen Whitney pada suatu penampang elemen struktur didapat suatu kuat teoritis atau kuat nominal (*nominal strength*). Suatu faktor reduksi  $\Phi$  yang dikalikan dengan nilai kuat nominal tersebut akan menghasilkan kuat rencana (*design strength*). Untuk perencanaan kekuatan lentur, besarnya harus diambil sebesar 0,8 sesuai dengan pasal 11.3 ayat 2 butir 1 SNI 03-2847-2002.



**Gambar 2.3** Perilaku Lentur Pada Kondisi Ultimit/Leleh

**Sumber:** Reinforced Concrete, J.K.Wight and J.G.MacGregor, 2009

Berdasarkan penjelasan yang telah dikemukakan di atas, maka dapat dilakukan perhitungan regangan, tegangan maupun gaya-gaya yang timbul pada penampang balok dalam menahan momen batas, yakni momen akibat beban luar yang timbul tepat pada saat balok hancur. Momen ini menggambarkan kekuatan dan lazim disebut kuat lentur ultimit balok. Kuat lentur nominal adalah nilai maksimum yang diperoleh dari gaya-gaya dalam  $C$  (resultante gaya tekan – dalam) dan  $T$  (resultante gaya tarik – dalam) yang membentuk suatu kopel momen tahanan dalam dengan jarak  $Z = d - a/2$ , dengan  $d$  adalah tinggi efektif balok seperti terlihat dalam **Gambar 2.3** diatas. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilakukan analisa perhitungan kuat lentur nominal balok dengan rumus :

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b \quad (2.4)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (2.5)$$

dimana :

$C_c$  = gaya tekan pada beton ( $N$ )

$T_s$  = gaya tarik pada baja ( $N$ )

$f'_c$  = kuat tekan beton ( $MPa$ )

$a$  = tinggi blok tegangan ( $mm$ )

$b$  = lebar balok ( $mm$ )

$f_y$  = tegangan leleh baja ( $MPa$ )

$A_s$  = luas baja tarik ( $mm^2$ )

dengan persamaan kesetimbangan gaya dalam, didapat :

$$C_c = T_s \quad (2.6)$$

$$0,85 f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \quad (2.7)$$

Sehingga, dari persamaan 2.7 didapat:

$$a = \beta_1 \cdot c = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f_c \cdot b} \quad (2.8)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (2.9)$$

Berdasarkan persamaan 2.5 dan 2.6 serta asumsi bahwa baja tulangan mencapai leleh  $f_s=f_y$ , maka kuat lentur nominal balok dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_n = T_s \left( d - \frac{a}{2} \right) = C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.10)$$

Untuk perkuatan dengan tulangan tunggal, maka rumus kuat lentur nominal balok dapat ditulis sebagai berikut:

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.11)$$

dimana  $d$  adalah tinggi efektif balok.

### 2.3.2 Analisis Kuat Geser Struktur Beton Bertulang

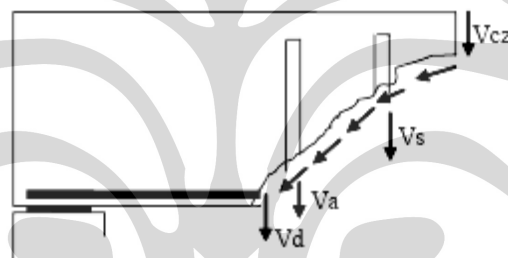
Kegagalan struktur balok beton bertulang akibat pembebanan tidak hanya ditentukan oleh kuat lentur tetapi juga oleh kuat geser. Kegagalan yang terjadi akibat geser pada balok disebut sebagai kegagalan geser. Geser pada balok beton bertulang merupakan kerusakan yang terjadi di daerah sekitar tumpuan. Retak miring akibat geser di badan balok beton bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan proses retak lentur yang telah mendahuluinya. Retak balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dinamakan retak geser badan. Retak geser badan juga dapat terjadi di sekitar titik balik lendutan atau pada tempat terjadi penghentian tulangan balok struktur bentang menerus (Dipohusodo, 1996).

Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok tersebut akan hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu. Juga retak diagonalnya lebih lebar dibandingkan retak lentur (Edward G. Nawy, 1990). Tarik diagonal merupakan penyebab utama dari retak miring. Dengan demikian keruntuhan di dalam balok yang lazimnya disebut sebagai keruntuhan geser (*shear failure*) sebenarnya adalah keruntuhan tarik di arah retak miring. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan geser dan pembentukan dari retak miring begitu banyak dan rumit sehingga suatu kesimpulan yang pasti mengenai mekanisme yang benar dari retak miring akibat geser yang tinggi sangat sukar untuk ditentukan (Chu Kia Wang, dkk, 1990).

Perencanaan beton bertulang terhadap geser ternyata memiliki kesamaan dalam menganalisis perencanaan terhadap lentur murni karena yang menentukan adalah perilaku struktur saat mengalami keruntuhan. Transfer dari geser di dalam unsur-unsur beton bertulang terjadi berdasarkan kombinasi dari beberapa mekanisme sebagai berikut :

1. Perlawanan geser dari beton yang belum retak  $V_{cz}$ .
2. Gaya ikat antara agregat (transfer geser antar permukaan)  $V_a$  dalam arah tangensial sepanjang retak.
3. Aksi pasak (*double action*)  $V_d$  sebagai perlawanan dari penulangan longitudinal terhadap gaya transversal.
4. Perlawanan tulangan geser dari  $V_s$  dari sengkang vertikal atau miring.

Untuk lebih jelasnya perlawanan terhadap geser dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Perlawanan Terhadap Geser

Sumber: Reinforced Concrete, J.K.Wight and J.G.MacGregor, 2009  
Media Teknik Sipil, Wibowo dan Purnawan Gunawan, 2007

Kekuatan geser beton bertulang merupakan sumbangan dari beton dan baja tulangan yang digunakan. Adapun besarnya kekuatan geser nominal dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.12)$$

dimana,

$V_n$  = kuat geser nominal beton bertulang ( $N$ )

$V_c$  = kuat geser nominal sumbangan beton ( $N$ )

$V_s$  = kuat geser nominal sumbangan baja tulangan ( $N$ )

Apabila tulangan geser memiliki lekatan yang tidak sempurna, maka sumbangan kekuatan tulangan dalam menahan gaya geser pada balok berkurang atau mungkin tidak ada, sehingga gaya geser ditanggung sepenuhnya oleh beton dan sedikit tulangan baja. Balok beton dengan  $V_s$  kecil atau tidak ada dapat

mengalami keruntuhan secara tiba-tiba akibat geser. Untuk menghitung kekuatan geser dari beton bertulang, dapat digunakan rumus :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \quad (2.13)$$

dimana :

$f'_c$  = mutu beton yang direncanakan (MPa)

b = lebar penampang (mm)

d = tinggi efektif penampang (mm)

Sedangkan untuk kekuatan geser dari tulangan geser dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (2.14)$$

dimana :

$A_v$  = luas tulangan geser sengkang (mm<sup>2</sup>)

$f_y$  = mutu baja tulangan (MPa)

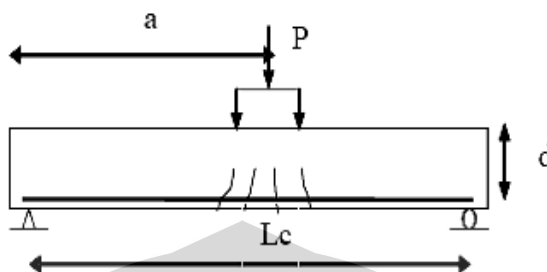
d = tinggi efektif penampang (mm)

S = jarak antar sengkang (mm)

Dengan melakukan analisis terhadap kuat lentur maupun geser dari struktur balok beton bertulang seperti di atas, dapat dilihat bahwa pembebanan berlebih dapat mengakibatkan keruntuhan pada struktur baik akibat lentur maupun geser. Pada daerah yang mengalami keruntuhan lentur, retak terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang, dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama. Dalam keadaan runtuh lentur, beberapa retak halus berarah vertikal terjadi di daerah tengah bentang sekitar 50% dari yang diakibatkan oleh beban runtuh lentur. Apabila bebannya terus bertambah, retak-retak di tengah bentang akan bertambah, dan retak awal yang sudah terjadi akan semakin lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan di tengah bentang. Jika balok tersebut *under-reinforced*, maka keruntuhan ini merupakan keruntuhan yang daktail dimana diawali dengan lelehnya tulangan tarik. Perilaku daktail ini memberi peringatan terlebih dahulu kepada pengguna bangunan sebelum terjadinya kehancuran total balok (*collapse*). Agar berperilaku daktail, biasanya perbandingan ( $a/d$ ) harus lebih besar dari 5,5 untuk beban terpusat dan ( $Lc/d$ ) lebih besar dari 16 untuk beban terdistribusi.



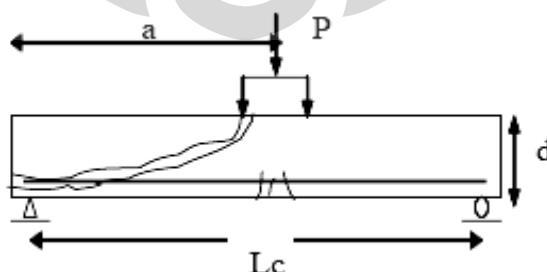
Untuk dapat mengetahui lebih jelas mengenai keruntuhan lentur yang terjadi pada balok, dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5** Keruntuhan Lentur Pada Balok

Sumber: Beton Bertulang, Edward G.Nawy, 1990

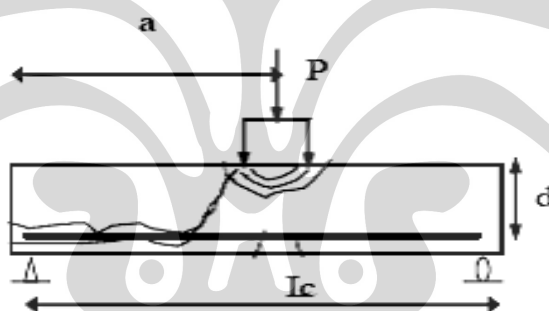
Sedangkan, keruntuhan tarik diagonal terjadi pada saat kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil daripada kekuatannya. Perbandingan antara bentang geser dengan tinggi penampang adalah *menegah* yaitu  $(a/d)$  bervariasi antara 2,5 – 5,5 untuk beban terpusat dan  $(Lc/d)$  bervariasi antara 11 – 16. Retak-retak mulai terjadi di tengah bentang, berarah vertical, yang berupa retak halus, dan diakibatkan oleh lentur. Hal ini diikuti dengan rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton di sekitarnya, pada perletakan. Maka, tanpa adanya peringatan sebelum runtuh, dua atau tiga retak diagonal terjadi pada jarak sekitar  $1,5d$  sampai  $2d$  dari muka perletakan. Guna mencapai kestabilan, satu retak diagonal ini melebar ke dalam retak tarik diagonal utama. Untuk mengetahui lebih jelas keruntuhan yang terjadi, dapat dilihat pada **Gambar 2.6**. Dapat dilihat bahwa retak lentur yang terjadi tidak menjalar ke sumbu netral pada kegagalan getas ini dimana struktur hanya memperlihatkan lendutan yang kecil.



**Gambar 2.6** Keruntuhan Tarik Diagonal Pada Balok

Sumber: Beton Bertulang, Edward G.Nawy, 1990

Untuk keruntuhan tekan geser, keruntuhan ini terjadi pada balok yang mempunyai perbandingan ( $a/d$ ) antara 1 – 2,5 untuk beban terpusat dan ( $Lc/d$ ) antara 1 – 5 untuk beban terdistribusi. Seperti pada tarik diagonal, keruntuhan ini dimulai dengan timbulnya retak lentur halus vertikal di tengah bentang dan tidak terus menjalar, karena terjadi kehilangan lekatan antara tulangan longitudinal dengan beton di sekitarnya pada daerah perletakan. Setelah itu diikuti dengan retak miring, yang lebih curam daripada retak diagonal tarik, secara tiba-tiba dan menjalar menuju sumbu netral. Kecepatan penjalaran ini semakin berkurang sebagai akibat dari hancurnya beton pada tepi tertekan dan terjadinya redistribusi tegangan pada daerah atas. Pada saat bertemunya retak miring ini dengan tepi beton yang tertekan, terjadilah keruntuhan secara tiba-tiba. Untuk dapat mengetahui lebih jelas mengenai keruntuhan tekan geser yang terjadi pada balok, dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



**Gambar 2.7** Keruntuhan Tekan Geser Pada Balok

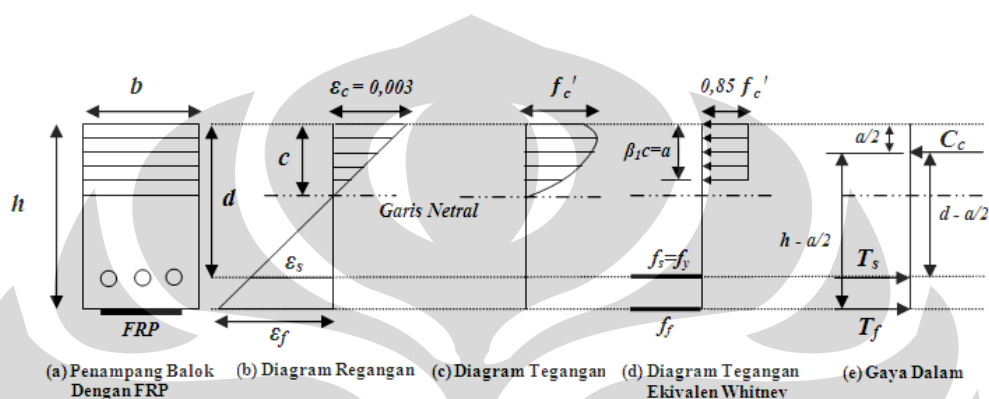
Sumber: Beton Bertulang, Edward G.Nawy, 1990

#### 2.4 Beton Bertulang dengan Perkuatan *CFRP*

Berdasarkan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, penggunaan material *CFRP* untuk perbaikan struktur balok beton bertulang pada daerah tarik dapat menambah kekuatan lentur dari struktur. Selain itu, penggunaan material ini untuk perkuatan geser juga dapat meningkatkan kapasitas geser dari struktur sehingga meminimalisasi terjadinya keruntuhan geser struktur. Hal ini dapat dijelaskan melalui analisa kuat lentur dan geser penampang struktur balok beton bertulang yang diberi perkuatan *CFRP*.

### 2.4.1 Analisis Kuat Lentur dengan Perkuatan CFRP

Penambahan CFRP pada daerah tarik dari struktur balok beton bertulang dapat meningkatkan kuat lentur dari struktur karena adanya penambahan kekuatan tarik dari material CFRP. Penambahan kekuatan tarik ini dapat dianalisis dengan mengembangkan metode analisis kuat lentur balok beton bertulang tanpa perkuatan CFRP. Dengan penambahan CFRP pada daerah tarik dari balok, didapat penambahan gaya tarik  $T_f$  seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2.8** Perilaku Lentur Pada Kondisi Ultimit/Leleh Dengan Perkuatan FRP

Sumber: Forum Teknik Sipil No. XVIII, Ignatius, Andreas, Hary, 2008

Berdasarkan **Gambar 2.8** di atas, maka dapat dilakukan analisa perhitungan kuat lentur nominal balok beton bertulang yang diperkuat CFRP yaitu:

$$T_f = A_f \cdot f_f \quad (2.15)$$

dengan persamaan kesetimbangan gaya dalam, didapat :

$$C_c = T_s + T_f \quad (2.16)$$

Berdasarkan  $C_c$ ,  $T_s$ , dan  $T_f$  pada persamaan 2.4, 2.5, dan 2.15 yang disubstitusi ke persamaan 2.16 didapat:

$$0,85 f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y + A_f \cdot f_f \quad (2.17)$$

dimana,

$C_c$  = gaya tekan pada beton (N)

$T_s$  = gaya tarik pada baja (N)

$f_c'$  = kuat tekan beton (MPa)

$a$  = tinggi blok tegangan (mm)

$b$  = lebar balok (mm)

$f_y$  = tegangan leleh baja (MPa)

$f_f$  = tegangan leleh material CFRP (MPa)

$A_s$  = luas baja tarik ( $mm^2$ )

$A_f$  = luas material CFRP ( $mm^2$ )

Sehingga, dari persamaan 2.17 didapat:

$$a = \beta_1 \cdot c = \frac{A_s \cdot f_y + A_f \cdot f_f}{0,85 f_c \cdot b} \quad (2.18)$$

Berdasarkan persamaan 2.5 untuk  $T_s$ , 2.15 untuk  $T_f$ , penggunaan tulangan tarik, dan asumsi bahwa baja tulangan serta material CFRP mencapai leleh ( $f_s=f_y$  dan  $f_f=f_{yf}$ ), maka kuat lentur nominal balok beton bertulang dengan perkuatan CFRP dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_n = T_s \left( d - \frac{a}{2} \right) + T_f \left( h - \frac{a}{2} \right) \quad (2.19)$$

dimana:

$d$  = jarak bagian atas balok dengan tulangan tarik baja

$h$  = jarak bagian atas balok dengan material CFRP (tinggi balok)

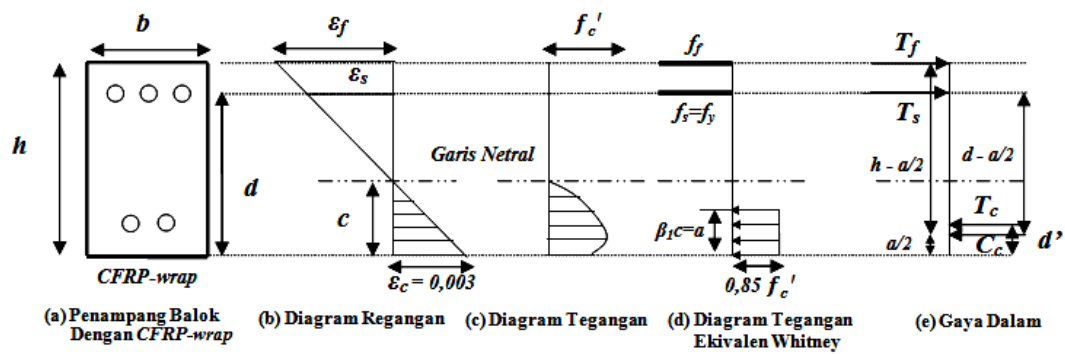
Atas saran ACI Committee 440, kontribusi CFRP masih perlu dikalikan dengan faktor reduksi  $\psi_f = 0,85$ , sehingga momen nominal total ( $M_n$ ) dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$M_n = T_s \left( d - \frac{a}{2} \right) + \psi_f T_f \left( h - \frac{a}{2} \right) \quad (2.20)$$

Karena pertimbangan kompatibilitas regangan, FRP sebaiknya hanya digunakan untuk menahan gaya tarik (ACI Committee 440, 2002). Altmark dkk (1998) menyarankan kuat lentur nominal balok setelah diperkuat ( $M_n$ ) tidak boleh melebihi dua kali kuat lentur sebelum diperkuat ( $M_{no}$ ), atau dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_B = \frac{M_n}{M_{no}} \leq 2 \quad (2.21)$$

Berdasarkan analisis di atas, maka perhitungan kuat lentur balok yang diberikan perkuatan berupa lembaran CFRP pada daerah tumpuan adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.9** Perilaku Lentur Daerah Tumpuan Dengan Perkuatan Lembaran CFRP

Berdasarkan di atas, maka dapat dilakukan analisa perhitungan kuat lentur nominal balok beton bertulang dengan tulangan rangkap yang diperkuat lembaran CFRP yaitu:

$$T_c = A_s' \cdot f_y \quad (2.22)$$

dengan persamaan kesetimbangan gaya dalam, didapat :

$$C_c + T_c = T_s + T_f \quad (2.23)$$

Berdasarkan  $C_c$ ,  $T_s$ ,  $T_f$  dan  $T_c$  pada persamaan 2.4, 2.5, 2.15, dan 2.22 yang disubstitusi ke persamaan 2.23 didapat:

$$0,85 f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_y = A_s \cdot f_y + A_f \cdot f_f \quad (2.24)$$

dimana,

$C_c$  = gaya tekan pada beton (N)

$T_s$  = gaya tarik pada baja (N)

$f_c'$  = kuat tekan beton (MPa)

$a$  = tinggi blok tegangan (mm)

$b$  = lebar balok (mm)

$f_y$  = tegangan leleh baja (MPa)

$f_f$  = tegangan leleh material CFRP (MPa)

$A_s$  = luas baja tarik ( $mm^2$ )

$A_s'$  = luas baja tekan ( $mm^2$ )

$A_f$  = luas material CFRP ( $mm^2$ )

Sehingga, dari persamaan 2.17 didapat:

$$a = \beta_1 \cdot c = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y + A_f \cdot f_f}{0,85 f_c' \cdot b} \quad (2.25)$$

Berdasarkan persamaan 2.5 untuk  $T_s$ , 2.15 untuk  $T_f$ , penggunaan tulangan tarik, tekan dan asumsi bahwa baja tulangan serta material *CFRP* mencapai leleh ( $f_s=f_y$  dan  $f_f=f_{yf}$ ), maka kuat lentur nominal balok beton bertulang dengan perkuatan *CFRP-wrap* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_n = T_s \left( d - \frac{a}{2} \right) + \psi_f T_f \left( h - \frac{a}{2} \right) - T_c \left( d' - \frac{a}{2} \right) \quad (2.26)$$

dimana:

$d$  = jarak bagian bawah balok dengan tulangan tarik baja

$h$  = jarak bagian bawah balok dengan material *CFRP* (tinggi balok)

$d'$  = jarak bagian bawah balok dengan tulangan tekan baja

$\psi_f$  = faktor reduksi kuat lentur *CFRP* = 0,85

#### 2.4.2 Analisis Kuat Geser dengan Perkuatan *CFRP*

Penggunaan material *CFRP* untuk perkuatan struktur beton bertulang tidak hanya dapat dilakukan untuk menambah kekuatan lentur saja tetapi juga dapat menambah kekuatan geser dari struktur. Penambahan kekuatan geser ini juga dapat dianalisis dengan mengembangkan metode analisis kuat geser balok beton bertulang tanpa perkuatan *CFRP*. Berdasarkan ACI Committee 440, kuat geser nominal ( $V_n$ ) merupakan gabungan kontribusi kuat geser beton ( $V_c$ ), tulangan geser ( $V_s$ ), dan *FRP* ( $V_f$ ) dimana ketahanan geser masih harus dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan. Dari persamaan 2.13 untuk ( $V_c$ ) dan 2.14 untuk ( $V_s$ ), kuat geser nominal ( $V_n$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_n = (V_c + V_s + \psi V_f) \quad (2.27)$$

dimana:

$\psi$  = faktor reduksi tambahan untuk *FRP* dengan;

$\psi = 0,95$  untuk komponen yang ditutup lembaran kelling penampang atau keempat sisinya

$\psi = 0,85$  untuk *U-wrap* tiga sisi atau bentuk pelat

Sedangkan kekuatan geser kontribusi *CFRP* ( $V_f$ ) adalah :

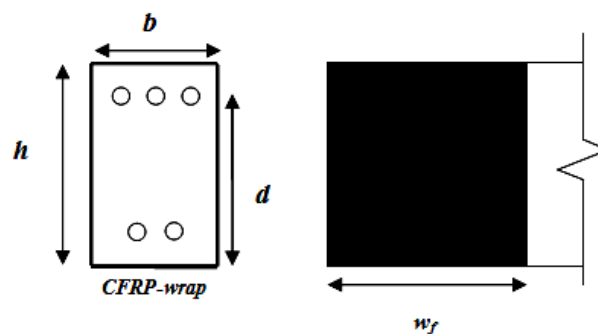
$$V_f = A_{fv} f_{yf} d \quad (2.28)$$

dimana :

$A_{fv}$  = luas *CFRP* ( $mm^2$ )

$f_{yf}$  = mutu *CFRP* (MPa)

$d$  = tinggi efektif penampang (mm)



**Gambar 2.10** Perkuatan Geser Dengan Material Lembaran *CFRP* di Daerah Tumpuan

## 2.5 Kelemahan Perkuatan dengan *CFRP*

Penggunaan material *CFRP* untuk perkuatan struktur di daerah tarik khususnya di tengah bentang telah terbukti dapat menambah kekuatan dari struktur. Namun, bentuk *CFRP* yang akan digunakan untuk perkuatan struktur perlu diperhatikan. Penggunaan bentuk *CFRP* yang tidak tepat akan menemukan kendala untuk daerah sekitar tumpuan terkait dengan sulitnya memenuhi kriteria panjang penyaluran struktur.

### 2.5.1 Bentuk *CFRP*

Pemilihan bentuk yang tepat untuk perkuatan struktur akan membuat sistem perkuatan dapat bekerja secara efektif. Melalui penelitian-penelitian yang pernah dilakukan serta melalui analisis bentuk-bentuk *CFRP* yang ada, dapat dilihat bahwa penggunaan pelat *CFRP* untuk perkuatan struktur pada daerah tumpuan menemui kesulitan untuk ditekuk ke kolom sehingga tidak dapat memberikan panjang penyaluran yang cukup sehingga perkuatan daerah tumpuan dengan pelat *CFRP* menjadi kurang efektif.

### 2.5.2 Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran didefinisikan sebagai panjang minimum dari tulangan terbenam yang diperlukan sehingga tulangan dapat mencapai tegangan leleh (Jack C. McCormac, 2000). Demikian halnya dengan baja tulangan, perkuatan struktur yang menggunakan baja pelat maupun material *CFRP* juga memerlukan kriteria panjang penyaluran agar perkuatan struktur dapat bekerja secara optimal. Tarik yang dialami pelat ditransfer menuju beton melalui tegangan geser dari material adesif di dekat daerah pembebanan.

Van Gemert (1980) melakukan penelitian terhadap tegangan dari pelat baja yang direkatkan pada beton prismatis dengan menggunakan uji tarik ganda (*double shear test*). Dari penelitian tersebut, gaya tarik pada baja meningkat secara eksponensial pada ujung-ujung material perkuatan. Pada pembebanan yang sangat besar, distribusi gaya tarik terus meningkat dan menyebabkan kriteria kekuatan ditentukan dari kekuatan ikatan antara material perkuatan dengan beton. Pada zona ini, dapat dikatakan bahwa tidak ada gaya yang ditransfer dari pelat ke material beton karena retak yang terjadi pada beton di dekat daerah pembebanan digantikan oleh zona aktif ikatan yang meluas dari daerah pembebanan. Pergantian zona aktif ikatan ini memiliki arti bahwa pada suatu waktu, hanya sebagian daerah ikatan saja yang efektif. Pada saat retak yang terjadi pada beton terus meluas, kekuatan ikatan pada daerah pembebanan menurun perlahan-lahan sehingga peran kekuatan ikatan dari material perkuatan pada daerah yang jauh dari pembebanan menjadi aktif. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa penambahan panjang penyaluran dari material perkuatan tidak selalu meningkatkan kekuatan dari struktur yang diperkuat, dan tegangan leleh dari material perkuatan ini pun belum tentu tercapai sebagaimana telah dibuktikan melalui percobaan (Chajes et al. 1996; Maeda et al. 1997; Täljsten 1997) dan analisis kegagalan mekanis (Holzenkämpfer 1994; Yuan dan Wu 1999; Yuan et al. 2001). Untuk itu, penting sekali untuk memahami konsep panjang penyaluran efektif pada material yang digunakan sebagai perkuatan.

Berdasarkan kelemahan di atas, maka akan dilakukan penelitian dari bentuk CFRP lainnya yaitu lembaran CFRP agar dapat menyelesaikan permasalahan perkuatan struktur beton bertulang di daerah tumpuan terkait dengan panjang penyaluran serta fleksibilitasnya.



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Umum

Penelitian ini merupakan studi kasus lanjutan dari penelitian sebelumnya terhadap pekerjaan perbaikan dan perkuatan struktur balok kantilever beton bertulang yang telah mengalami keruntuhan diakibatkan *overloading*/ beban berlebih. Pada penelitian sebelumnya (Pio Ranap Tua Naibaho, 2008), balok kantilever yang telah mengalami keruntuhan diperbaiki dan diperkuat dengan *Sikadur 31 & Sikadur 752* untuk perbaikan serta *Sika Carbodur Plates & Sikadur 30* untuk perkuatan. Pada penelitian kali ini, balok kantilever diperkuat dengan bahan perkuatan *Sikawrap 231-C* dan *Sikadur 330*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penggunaan lembaran *CFRP* untuk perkuatan lentur pada daerah tumpuan yang dapat memberikan panjang penyaluran yang cukup. Dengan menggunakan lembaran *CFRP* sebagai material perkuatan di daerah tumpuan, diharapkan struktur balok beton bertulang yang telah runtuh akibat *overloading* dapat mengalami peningkatan kapasitas lentur.

Penelitian dilakukan melalui studi literatur dan juga melalui percobaan laboratorium. Percobaan dilakukan dengan menggunakan balok kantilever eksisting yang telah mengalami keruntuhan akibat *overloading* pada penelitian sebelumnya dimana benda uji ini telah diperbaiki kembali serta diberi perkuatan.

### 3.2 Sistematika Penelitian

Untuk mencapai tujuan di atas, maka sistematika penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari jenis-jenis kerusakan yang terjadi pada struktur beton bertulang, penyebabnya, perbaikan menggunakan *CFRP* dan pelat baja, serta data teknis yang terkait di lapangan.
2. Melakukan studi literatur tentang teori-teori yang berkaitan dengan beton bertulang serta bahan *CFRP* untuk perkuatan.
3. Menyiapkan balok kantilever eksisting pada penelitian sebelumnya yang kemudian diperbaiki serta diberikan perkuatan.

4. Melakukan pengujian di laboratorium terhadap balok kantilever yang telah diperkuat.
5. Melakukan analisa terhadap data hasil pengujian dengan literatur.
6. Mengambil kesimpulan berdasarkan analisa hasil penelitian dan literatur.

### 3.3 Benda Uji Eksisting

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok kantilever beton bertulang yang telah dibebani berlebih sampai runtuh pada penelitian sebelumnya. Balok kantilever beton bertulang yang digunakan sejumlah 9 buah seperti pada **Gambar 3.1, 3.2, dan 3.3**. Data properti material serta hasil pengujian balok kantilever yang telah dibebani sampai runtuh pada penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1 Data Properti Material Beton

Material beton yang dipergunakan adalah *concrete mix design* yang dibuat oleh Adhi Mix dengan  $f'_c = \pm 30 \text{ MPa}$ .

**Tabel 3.1** Hasil Uji Rata-rata Material Beton

<i>Mix Design, per m<sup>3</sup></i>	
<b>UJI</b>	<b>Balok Kantilever</b>
Semen	378 kg
Pasir	717 kg
Agregat kasar	1000 kg
Air	196 kg
Fly ash	42 kg
Additives	1,13 ltr
<i>Slump</i>	12±2 cm
Kuat tekan silinder, $f'_c$	24 & 30 Mpa
Massa silinder, $m$	12,17 kg

#### 3.3.2 Data Hasil Tes Tekan Silinder

Tabel 3.2 Hasil tes tekan silinder uji

NO	TANGGAL DICOR	UMUR DITEST (hari)	CODE	A' (cm <sup>2</sup> )	SLUMP (cm)	BERAT (kg)	w (kg/m <sup>3</sup> )	BEBAN (ton)	TEGANGAN (kg/cm <sup>2</sup> )	fc' (MPa)	KONVERSI S-K	TEGANGAN (kg/cm <sup>2</sup> )	fc' (MPa)	KONVERSI UMUR (PBI)	TEGANGAN (kg/cm <sup>2</sup> )	KONVERSI UMUR (UI)	TEGANGAN (kg/cm <sup>2</sup> )	fc' (MPa)
1	11/06/08	21/06/08	10-1	176.71	12	12.24	2,295.90	47	265.97	265.97	0.83	327.26	33.37	0.749	436.93	0.78	419.56	42.78
			10-2			12.21		49.5	280.11									
			10-3			12.17		47.5	268.80									
						12.21			271.62									
						0.04			7.49									
						12.17			264.14	26.93			32.45					41.6
2	22/06/08	11/11-1	11-1			12.16	2,292.34	41	232.01	232.01		269.31	27.46	0.781	344.82	0.807	333.71	34.03
			11-2			12.19		36	203.72									
			11-3			12.16	2,294.12	41.5	234.84	23.99								
						12.17			223.52									
						0.02			17.21									
						12.15			206.31	21.04			25.35					32.5
3	08/07/08	27/27-1	27-1			12.26	2,291.32	53.5	302.75	302.75		382.94	39.05	0.992	396.03	0.994	365.25	39.28
			27-2			12.24		57.5	325.38									
			27-3			12.67		57.5	325.38									
						12.39			317.84									
						0.24			13.07									
						12.15			304.77	31.08			37.44					48
4	10/07/08	29/29-1	29-1			12.28	2,291.70	57.25	323.97	323.97		405.66	41.37	1	405.66	1	405.66	41.37
			29-2			12.27		52	294.26									
			29-3			12.79	2,291.51	69.25	391.87	30.15								
						12.45			336.70									
						0.30			50.04									
						12.15			286.66	29.23			35.22					45.15

### 3.3.3 Data Properti Material Baja

Baja tulangan dan pelat rencana yang digunakan adalah BJTD-30 produk KS JIS 13 untuk tulangan utama dengan diameter 13 mm, BJTD-40 produk IS S10 untuk sengkang dengan diameter 10 mm, dan BJTD-30 untuk pelat 50x5 mm. Namun setelah dilakukan pengukuran diameter dan pengujian mutu baja, didapatkan bahwa diameter tulangan utama adalah 11 mm sehingga untuk perhitungan kapasitas momen nominal, dipakai tulangan utama diameter 11 sesuai dengan kondisi benda uji.

**Tabel 3.3** Hasil Uji Rata-rata Baja Tulangan dan Pelat

JENIS BESI	$\sigma_u$		$\sigma_y$		GOL
	( $kg/mm^2$ )	( $Mpa$ )	( $kg/mm^2$ )	( $Mpa$ )	
D-10	70,29	689,31	42,65	418,29	BJTD-40
D-13	47,42	465,05	34,47	338,02	BJTD-30
Pelat 50x5 mm	52,46	514,45	38,52	377,8	BJTD-30

### 3.3.4 Dimensi dan Penulangan

Detail balok kantilever yang digunakan adalah:

- $f'_c = 30 Mpa$
- $w_c = 2296 kg/m^3$
- $f_y$  D-13 = 338 Mpa (D eksisting = D-11 hasil koreksi pengukuran laboratorium)
- $f_y$  D-10 = 418 Mpa
- Dimensi dan Penulangan rencana seperti pada **Gambar 1.1, 1.2, dan 1.3**
- Pada kondisi eksisting, tulangan utama yang digunakan adalah diameter 11mm

### 3.4 Metode Perbaikan Benda Uji Eksisting

Benda uji eksisting yang hendak diperbaiki berjumlah 9 buah. Metode perbaikan benda uji dilakukan menggunakan teknologi injeksi bertekanan tinggi. Prosedur yang harus dipenuhi untuk pekerjaan perbaikan retak dengan metode injeksi bertekanan tinggi dan mendapatkan hasil yang dapat diterima adalah sebagai berikut:

#### 1. Pekerjaan persiapan

- Melakukan pengangukuran terhadap benda uji untuk dilakukan pendongkrakan. Hal ini dilakukan agar kondisi benda uji dapat diperbaiki seperti bentuk semula yaitu kondisi tegak lurus.

- Bagian retak dan permukaan sekitarnya harus bersih, padat dan bebas dari bahan yang menghambat lekatan, dengan menggunakan air secara mekanis.
- Dibuat lubang injeksi diameter 5 mm, kedalaman 50 mm.
- Dibuat takikan berbentuk v sepanjang retak dengan lebar 5 mm dan kedalaman 5 mm.
- Bersihkan bagian retak dengan kompresor udara atau *vacuum cleaner*.
- Pada saat dilakukan aplikasi injeksi *epoxy resin* daerah perbaikan harus kering atau boleh sedikit lembab akan tetapi tidak boleh ada air yang menggenang.

## 2. Cara pencampuran

### a. Bahan perekat *Sikadur 31*

- Bahan *Sikadur 31* ini terdiri dari 2 komponen, yaitu berupa pasta (A) dan *viscous liquid* (B).
- Sebelum digunakan, aduk terlebih dahulu dari masing-masing komponen tersebut.
- Campurkan kedua komponen tersebut dalam suatu wadah pengaduk yang kering dan bersih dengan perbandingan campuran A:B = 2:1 atau sesuai rekomendasi pabrik.
- Diaduk secara merata selama 3 menit dengan pengaduk elektrik.
- Jumlah bahan yang dicampurkan harus diperhitungkan sedemikian rupa sehingga dapat diaplikasikan sebelum terlampainya waktu *potlife*.

### b. Bahan injeksi resin *Sikadur 752* pengisi celah retak

- Bahan injeksi resin *Sikadur 752* ini terdiri dari 2 komponen, dimana keduanya berupa *thin liquid*.
- Sebelum digunakan, aduk terlebih dahulu dari masing-masing komponen tersebut.
- Campurkan kedua komponen tersebut dalam suatu wadah pengaduk yang kering dan bersih dengan perbandingan campuran A:B = 2:1 atau sesuai rekomendasi pabrik.
- Jumlah bahan yang dicampurkan harus diperhitungkan sedemikian rupa sehingga dapat diaplikasikan sebelum terlampainya waktu *potlife* (35 menit pada suhu 30°C).

### 3. Prosedur pelaksanaan perbaikan

#### a. Bahan perekat *Sikadur 31* untuk menutup retakan dan pipa injeksi:

- Pasang pipa injeksi dengan jarak antar pipa tidak melebihi ketebalan permukaan.
- Jarak antar pipa injeksi harus diatur sedemikian rupa sehingga bahan *Sikadur 31* dapat mengalir diantara pipa dan mengisi penuh celah retak yang ada.
- Pada bagian struktur yang mempunyai 2 sisi retak, pemasangan pipa injeksi dilakukan pada kedua sisi dengan letak yang bersilangan.
- Aplikasi campuran *Sikadur 31* digunakan untuk menutup retak dan sekitar pipa untuk mencegah keluarnya bahan injeksi resin *Sikadur 752*.

#### b. Bahan injeksi resin *Sikadur 752* untuk injeksi dengan tekanan:

- Masukkan campuran injeksi resin *Sikadur 752* kedalam tangki penampung resin dari alat injeksi.
- Injeksikan bahan injeksi *Sikadur 752* kedalam retak dengan tekanan konstan 1-70 bar, agar retak dapat terisi penuh tanpa adanya rongga atau udara yang terjebak.
- Pengisian retak dimulai pada pipa yang terendah dan dilanjutkan hingga bahan injeksi resin *Sikadur 752* keluar pada pipa disebelahnya, dimana hal ini menunjukkan adanya aliran bahan tersebut.
- Lanjutkan prosedur injeksi seperti tersebut diatas hingga seluruh celah retak terisi.

### 4. Pembersihan permukaan

- Setelah bahan injeksi resin *Sikadur 752* mengeras, potong pipa injeksi dan lakukan perataan bekas bahan perekat *Sikadur 31* dengan menggunakan gerinda. Pembersihan permukaan dilakukan untuk mendapatkan permukaan yang diinginkan sesuai persyaratan.
- Bahan perekat *Sikadur 31* dan injeksi resin *Sikadur 752* dapat dibersihkan dari peralatan dengan menggunakan bahan *solven* yang telah disetujui.
- Bahan perekat *Sikadur 31* dan injeksi resin *Sikadur 752* yang telah mengeras hanya dapat dibersihkan secara mekanis.

- Setelah pekerjaan selesai, daerah pekerjaan injeksi dan daerah kerja sekitarnya harus ditinggalkan dalam keadaan rapi, bersih, dan tidak terdapat tumpahan bahan-bahan sisa disekitar daerah kerja.

#### 5. Finishing

Setelah selesai pekerjaan pembersihan, permukaan bagian struktur yang mengalami perbaikan harus siap untuk dilakukan pekerjaan perkuatan pada elemen struktur yang akan dilakukan perkuatan.

### 3.5 Metode Perkuatan Benda Uji Eksisting

Benda uji eksisting yang hendak diperkuat berjumlah 8 buah. Metode perkuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan bahan *Sikawrap 231-C & Sikadur 330* yang direkatkan di daerah tumpuan. Perkuatan dilakukan dengan 4 variasi seperti dibawah ini :

1. Balok yang diperbaiki dengan material perbaikan dan diperkuat dengan 1 lapis lembaran CFRP seperti **Gambar 1.4 dan 1.5**
2. Balok yang diperbaiki dengan material perbaikan dan diperkuat dengan 1 lapis lembaran CFRP yang diikatkan ke kolom seperti **Gambar 1.6 dan 1.7**
3. Balok yang diperbaiki dengan material perbaikan dan diperkuat dengan 2 lapis lembaran CFRP yang diikatkan ke kolom seperti **Gambar 1.6 dan 1.7**
4. Balok yang diperbaiki dengan material perbaikan dan diperkuat dengan 3 lapis lembaran CFRP yang diikatkan ke kolom seperti **Gambar 1.6 dan 1.7**

Prosedur yang harus dipenuhi dalam pemasangan perkuatan *Sikawrap 231-C & Sikadur 330* adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan persiapan permukaan
  - Permukaan harus bersih, padat, dan bebas dari material penghambat lekatan.
  - Permukaan beton harus dikasarkan dengan alat mekanis.
  - Permukaan yang mengalami kerusakan atau terdapat lubang-lubang besar harus diperbaiki dengan mengisi/menutup permukaan tersebut.
  - Bersihkan permukaan dari debu dengan menggunakan kompresor udara atau *vacum cleaner*.
2. Cara pencampuran
 

Bahan perekat *epoxy resin Sikadur 330*

  - Bahan *Sikadur 330* ini terdiri dari dua komponen, yaitu *resin* dan *hardener*.

- Sebelum digunakan aduk terlebih dahulu dari masing-masing komponen tersebut.
- Tuangkan komponen *hardener* ke komponen *resin* dengan menggunakan spatula dengan perbandingan campuran *resin* : *hardener* = 4:1 atau sesuai rekomendasi pabrik.
- Diaduk secara merata selama 3 menit dengan tangkai pengaduk elektrik dengan putaran maksimum 600 putaran per menit.

### 3. Prosedur aplikasi

- Aplikasikan campuran bahan perekat *epoxy resin* pada permukaan beton yang telah dipersiapkan dengan menggunakan kuas dengan perkiraan pemakaian  $0,7 - 1,5 \text{ kg/m}^2$  tergantung kekasaran permukaan.
- Lapisan perekat *epoxy resin* harus membentuk lapisan rekatan yang baik pada permukaan beton.
- Lekatkan *carbon fibre* pada permukaan beton yang telah dilapisi dengan bahan perekat *epoxy resin*.
- Tekan *carbon fibre* hingga *epoxy resin* terdesak keluar melalui celah antar anyaman.
- Ratakan kelebihan *epoxy resin* dengan menggunakan kuas sebagai lapisan pelindung dari *carbon fibre*.

### 4. Pembersihan

- Bahan perekat *epoxy resin* dapat dibersihkan dari peralatan dengan menggunakan air.
- Bahan perekat yang telah mengeras hanya dapat dibersihkan secara mekanis.
- Setelah pekerjaan selesai, lokasi perkuatan dan daerah kerja sekitarnya harus ditinggalkan dalam keadaan rapi, bersih, dan tidak terdapat tumpahan bahan perekat.

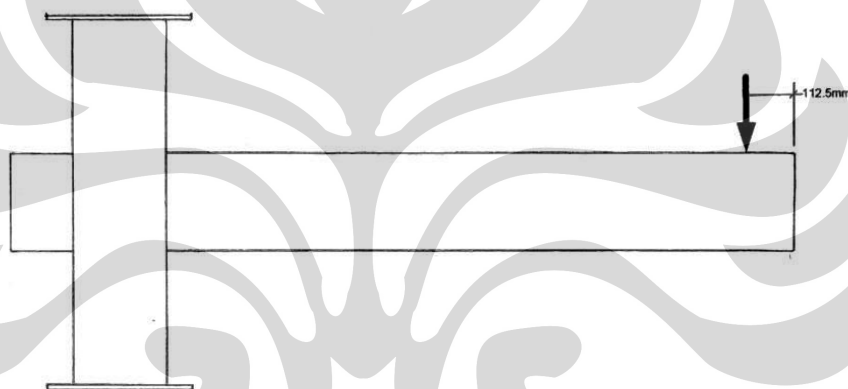
### 5. Finishing

Setelah menyelesaikan pekerjaan pembersihan, bagian permukaan struktur yang diberikan perkuatan harus siap untuk diuji.



### 3.6 Pengujian Laboratorium Terhadap Benda Uji Yang Telah Diperbaiki dan Diperkuat

Pada benda uji yang telah diperbaiki dan diperkuat ini dilakukan pengujian untuk mengetahui kapasitas kekuatan lentur balok kantilever hasil perkuatan. Metode pengujian yang dilakukan adalah dengan pembebanan secara *monotonic*, yaitu membebani balok uji dengan sebuah gaya terpusat pada ujung kantilever. Gaya terpusat diberikan kepada struktur secara bertahap sampai mencapai nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok kantilever dimana struktur telah mengalami kehancuran. Pengujian menggunakan sistem ini dimaksudkan untuk mendapatkan kondisi lentur murni pada balok kantilever, seperti terlihat pada gambar berikut ini :



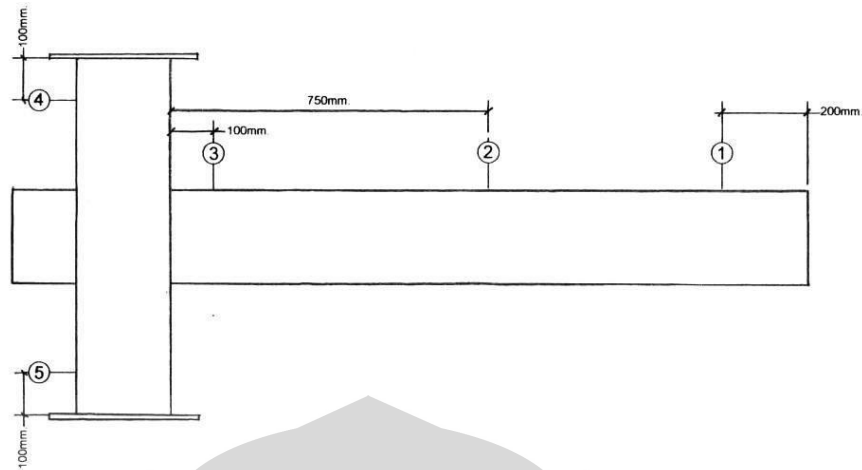
**Gambar 3.1** Posisi *Loading Test*

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

- 1 set *HI-TECH MAGNUS* Frame
- 1 set *hydraulic jack*, kapasitas 200 *kN*
- 5 buah *dial gauge*, ketelitian 0,01 *mm*

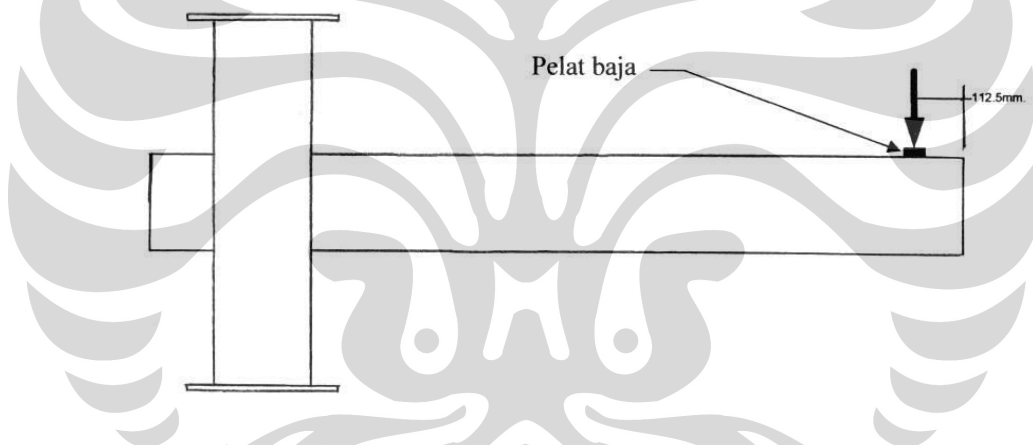
Prosedur pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mempersiapkan alat *HI-TECH MAGNUS* berkapasitas 200 *kN*.
- Memosisikan benda uji balok kantilever pada *frame* yang diidealisasikan sebagai perletakan sendi.
- Memasang alat ukur lendutan *dial gauge* sebanyak 5 set seperti tergambar.



**Gambar 3.2** Posisi *Dial Gauge*

- Memasang pelat baja pada titik dimana beban akan ditaruh untuk mendapatkan permukaan yang rata pada titik pembebanan.



**Gambar 3.3** Posisi Pelat Baja pada Titik Pembebanan

- Memberikan pembebanan yang dilakukan dengan pembebanan *monotonic*, yaitu pembebanan bertahap dengan nilai tertentu sampai mencapai nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok kantilever. Pengujian dihentikan apabila sudah mencapai beban maksimum, yaitu ketika *hydraulic-jack* sudah tidak mampu lagi menekan balok kantilever. Hal yang diamati dari pengujian balok kantilever beton bertulang ini adalah lendutan serta pola keretakan yang terjadi pada struktur yang telah diperkuat.

## BAB 4

### PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

#### 4.1 Studi Eksperimental

##### 4.1.1 Pendahuluan

Eksperimen dilakukan menggunakan benda uji eksisting hasil penelitian sebelumnya (Pio Ranap Tua Naibaho, 2008) dimana benda uji telah mengalami keruntuhan lentur untuk membandingkan kinerja balok kantilever sebelum diperbaiki dengan kondisi sesudah diperbaiki menggunakan lembaran *CFRP*. Terdapat 8 benda uji yang telah diperbaiki dan diperkuat dengan 4 jenis variasi perkuatan serta 1 benda uji yang hanya diperbaiki. Masing-masing akan dibandingkan dengan kinerja balok kantilever sebelumnya sehingga disini dilakukan pengkodean sebagai berikut:

- Balok kantilever (**M-1**) : balok kantilever yang telah runtuh kemudian diperbaiki dengan injeksi lalu dites kembali sampai runtuh.
- Balok kantilever (**M-2**) : balok kantilever yang telah runtuh kemudian diperbaiki dengan injeksi dan diperkuat dengan 1 lapis lembaran *CFRP*, lalu dites kembali sampai runtuh.
- Balok kantilever (**M-3**) : balok kantilever yang telah runtuh kemudian diperbaiki dengan injeksi dan diperkuat dengan 1 lapis lembaran *CFRP* yang diikat ke kolom, lalu dites kembali sampai runtuh.
- Balok kantilever (**M-4**) : balok kantilever yang telah runtuh kemudian diperbaiki dengan injeksi dan diperkuat dengan 2 lapis lembaran *CFRP* yang diikat ke kolom, lalu dites kembali sampai runtuh.
- Balok kantilever (**M-5**) : balok kantilever yang telah runtuh kemudian diperbaiki dengan injeksi dan diperkuat dengan 3 lapis lembaran *CFRP* yang diikat ke kolom, lalu dites kembali sampai runtuh.

### 4.1.2 Hasil Pengujian

a. Beban luar pada tahap pengujian:

**Tabel 4.1** Pembebanan Maksimum Tiap Tahap

Tahap	Beban P (kN)									
	M-1		M-2		M-3		M-4		M-5	
	TP	P	TP	P	TP	P	TP	P	TP	P
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4
5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5
6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6
7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7
8	9	8	9	8	9	8	9	8	9	8
9	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9
10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10
11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	11
12	13	12	13	12	13	12	13	12	13	12
13	14	13	14	13	14	13	14	13	14	13
14	15	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15		15	15	15	15	15	15	15	15	15
16		16	16	16	16	16	16	16	16	16
17		17	17	17	17	17	17	17	17	17
18		18	18	18	18	18	18	18	18	18
19		18,2	19	19	19	19	19	19	19	19
20			20	20	20	20	20	20	20	20
21			21	21	21	21	21	21	21	20,8
22					22	22	22	22	22	21
23						23	23	23	23	
24							23,8	23,8	23,8	
25										
26										

dimana, TP= balok kantilever tanpa perkuatan ;

P = balok kantilever dengan perkuatan lembaran CFRP

## b. Lendutan

Data defleksi vertikal dan horizontal didapat menggunakan *dial gauge* yang telah di posisikan seperti contoh lendutan pada balok kantilever M-3.1 pada **Tabel 4.2**. Penempatan *dial gauge* berada pada bagian atas balok dan samping kolom dimaksudkan untuk mendapatkan data defleksi akibat pembebanan yang dilakukan sebagai perbandingan. (data terlampir)

**Tabel 4.2** Pembacaan *Dial Gauge* M-3.1

PEMBACAAN DIAL					
BEBAN	DIAL 1	DIAL 2	DIAL 3	DIAL 4	DIAL 5
(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	27,00	26,00	22,00	17,00	8,00
1	27,00	25,95	21,99	16,99	8,06
2	26,53	25,86	21,97	16,97	8,15
3	25,66	25,39	21,96	16,84	8,22
4	24,63	24,82	21,94	16,62	8,24
5	23,48	24,25	21,90	16,52	8,32
6	22,78	23,81	21,85	16,45	8,39
7	21,65	23,32	21,79	16,36	8,45
8	20,65	22,78	21,73	16,27	8,50
9	19,30	22,08	21,65	16,19	8,58
10	17,59	21,22	21,55	16,10	8,67
11	16,10	20,47	21,48	16,04	8,74
12	15,76	19,77	21,40	15,97	8,83
13	13,37	19,07	21,34	15,90	8,93
14	12,10	18,42	21,27	15,85	9,02
15	11,93	17,80	21,21	15,80	9,10
16	10,71	17,55	21,15	15,75	9,18
17	8,43	17,21	21,09	15,70	9,26
18	7,12	16,90	21,02	15,64	9,33
19	6,21	15,42	20,98	15,60	9,37
20	4,12	14,29	20,92	15,57	9,42
21	1,93	13,13	20,86	15,54	9,54
22	-0,82	12,60	20,77	15,50	9,55
23	-4,95	9,38	20,67	15,46	9,55
23,8	-7,23	8,57	20,56	15,46	9,56

### c. Pola retak

Pengamatan pola retak dilakukan untuk menganalisa jenis keruntuhan yang terjadi pada model balok yang diuji. Pengamatan dilakukan dengan membuat plot keretakan yang terjadi pada sisi balok yang telah diberi kotak-kotak berjarak 5 cm guna mengetahui jarak antar keretakan yang terjadi. Pola retak diamati pada tiap siklus pembebanan sampai maksimum. (data terlampir)

## 4.2 Pengolahan Data dan Analisa Hasil

### 4.2.1 Beban Luar

Besar beban luar  $P$  yang dapat ditahan oleh balok kantilever dapat diketahui dengan perhitungan struktur balok beton bertulang dengan menggunakan data properti material  $f_c'$ ,  $W_c$ ,  $f_y$  serta analisis dimensi dari balok kantilever. Besarnya nilai momen nominal ( $M_n$ ) merupakan kondisi momen maksimal dimana balok kantilever mengalami kegagalan lentur. Secara teoritis, balok kantilever akan mengalami keruntuhan lentur sebesar  $P$ . Berikut adalah data beban nominal perhitungan teori dan hasil pengujian:

**Tabel 4.3** Beban Nominal Perhitungan Teori dan Hasil Uji Balok Kantilever Tanpa Perkuatan (**P TP**) dan Dengan Perkuatan (**P P**)

Model	P TP Teori (kN)	P TP Uji (kN)	P P Teori (kN)	P P Uji (kN)
M-1	13,10	15,00	13,10	18,20
M-2.1	13,10	12,00	20,63	20,00
M-2.2	13,10	14,00	20,63	21,00
M-3.1	13,10	14,00	20,63	23,80
M-3.2	13,10	14,00	20,63	19,80
M-4.1	13,10	14,00	30,06	16,80
M-4.2	13,10	13,00	30,06	18,00
M-5.1	13,10	13,00	38,80	19,20
M-5.2	13,10	14,00	38,80	21,00

**Tabel 4.4** Beban Nominal Rata-Rata Teori dan Hasil Uji Balok Kantilever Tanpa Perkuatan (**P TP**) dan Dengan Perkuatan (**P P**)

Model	P TP Teori (kN)	P TP Uji (kN)	P P Teori (kN)	P P Uji (kN)
M-1	13,10	15,00	13,10	18,20
M-2	13,10	13,00	20,63	20,50
M-3	13,10	14,00	20,63	21,80
M-4	13,10	13,50	30,06	17,40
M-5	13,10	13,50	38,80	20,10

Nilai P yang didapatkan dari pengujian balok kantilever yang telah diperbaiki dan diperkuat menggunakan lembaran CFRP (**P**) memperlihatkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai P balok kantilever tanpa perkuatan (**TP**). Hal ini membuktikan bahwa lembaran *CFRP* dapat digunakan untuk perkuatan lentur di daerah tumpuan yang dapat memberikan panjang penyaluran yang cukup sehingga terjadi peningkatan kapasitas lentur dari struktur. Lembaran serat karbon ini dapat meningkatkan kapasitas kekuatan dari struktur dikarenakan material perkuatan memberikan sumbangan kekuatan tarik serat atas balok kantilever akibat panjang penyaluran yang cukup sehingga meningkatkan nilai P yang dapat ditahan.

**Tabel 4.5** Peningkatan Kapasitas Beban Balok Kantilever Dengan Perkuatan Lembaran *CFRP* Terhadap Balok Kantilever Tanpa Perkuatan

Model	% P	Lendutan Maksimum
M-1	21,33	25,17 mm
M-2.1	66,67	21,07 mm
M-2.2	50,00	26,59 mm
M-3.1	70,00	27,44 mm
M-3.2	41,43	17,27 mm
M-4.1	20,00	21,53 mm
M-4.2	38,46	24,20 mm
M-5.1	47,69	26,86 mm
M-5.2	50,00	31,54 mm

**Tabel 4.6** Peningkatan Rata-Rata Kapasitas Beban Balok Kantilever Dengan Perkuatan Lembaran *CFRP* Terhadap Balok Kantilever Tanpa Perkuatan

% Rata-Rata		
Model	% P	Lendutan Maksimum
M-1	21,33	25,17 mm
M-2	57,69	23.83 mm
M-3	55,71	22,36 mm
M-4	28,89	22,87 mm
M-5	48,89	29.20 mm

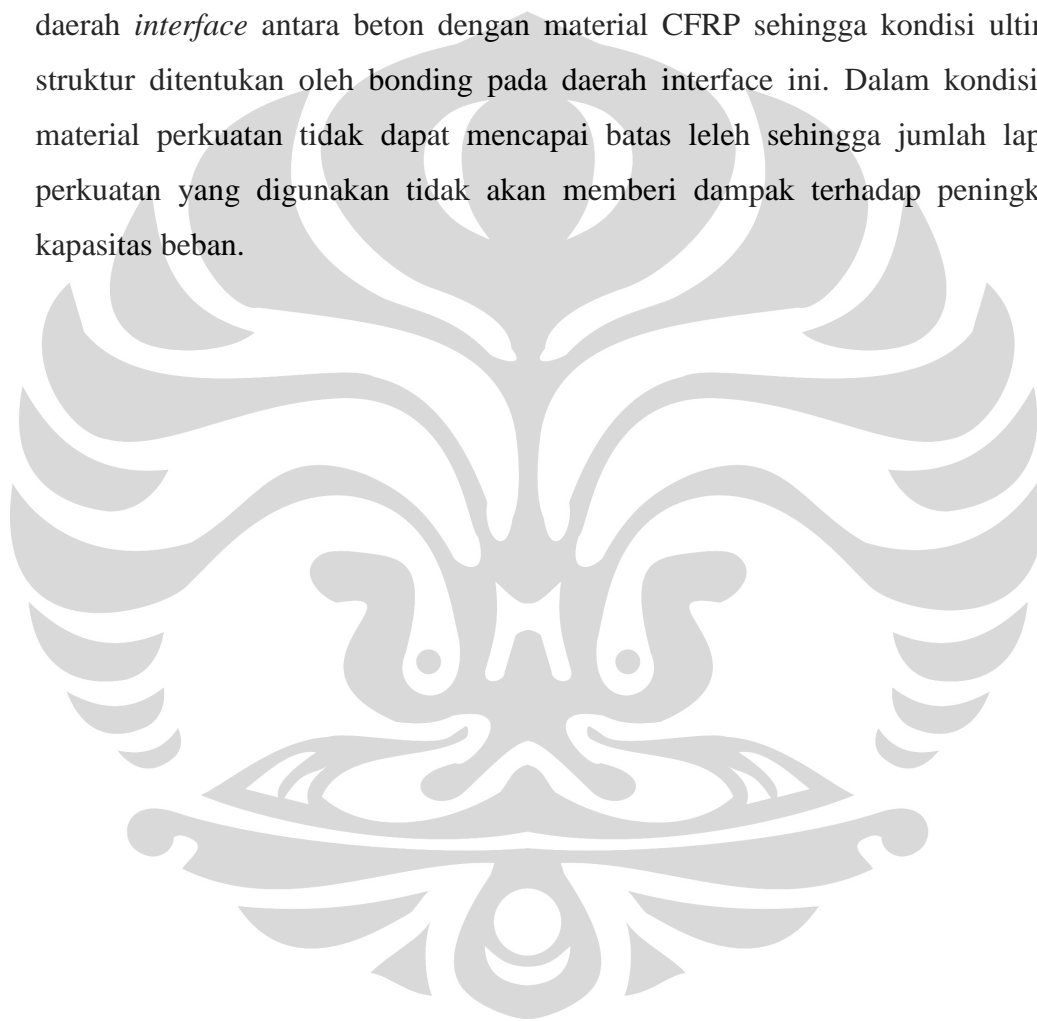
Berdasarkan Tabel 4.6 di atas, peningkatan rata-rata kapasitas beban balok beton dengan perkuatan lembaran *CFRP* menunjukkan peningkatan yang baik. Hal ini terjadi dikarenakan lembaran *CFRP* mudah ditebuk dan diikat ke kolom pada daerah tumpuan sehingga dapat memberikan panjang penyaluran yang cukup untuk menahan gaya tarik yang terjadi akibat pembebanan. Dengan penambahan lembaran serat karbon pada daerah tumpuan, maka kapasitas beban meningkat rata-rata sebesar 54,10% dari balok tanpa perkuatan. Rata-rata ini diambil dari hasil peningkatan kapasitas M-2, M-3, dan M-5 dikarenakan hasil yang kurang lebih mendekati. Untuk M-4, peningkatan kapasitas yang terjadi jauh lebih kecil dari benda uji lainnya sehingga tidak diikutsertakan dalam perhitungan rata-rata peningkatan secara keseluruhan. Berdasarkan hasil peningkatan kapasitas beban yang didapat, dapat dianalisa bahwa M-4 memiliki peningkatan yang jauh lebih kecil dari benda uji lainnya mungkin dikarenakan kondisi baja tulangan yang mengalami korosi lebih parah dari benda uji lainnya. Selain itu, perbaikan yang kurang baik menjadi penyebab kapasitas kekuatan yang dicapai menjadi tidak optimal dimana terjadi kebocoran saat dilakukan proses injeksi sehingga material injeksi tidak dapat mengisi celah retak dengan sempurna.

Dari hasil peningkatan kapasitas beban yang didapat, dapat dilihat bahwa pengikatan material ke kolom tidak mempengaruhi besarnya peningkatan kapasitas beban. Pemberian perkuatan tanpa diikat ke kolom memberi dampak terhadap *interface* kolom (arah vertikal) dimana terjadi kegagalan pada *bonding* daerah *interface* vertikal antara beton dengan *CFRP*. Sedangkan, pengikatan material ke kolom hanya akan memberi dampak terhadap *interface* kolom (arah vertikal). Dengan pengikatan ke kolom, maka kegagalan pada *bonding* daerah



*interface* vertikal antara beton dengan *CFRP* dapat dihindari namun kegagalan terjadi pada *bonding* daerah *interface* antara beton dengan *CFRP* pada balok (arah horizontal). Pengikatan material ke kolom ini dapat menjadi solusi untuk mencegah terjadinya kegagalan pada *bonding* daerah *interface* vertikal.

Dari hasil peningkatan kapasitas beban yang didapat, juga dapat dilihat bahwa jumlah lapisan perkuatan yang digunakan tidak dapat menambah peningkatan kapasitas beban. Hal ini dikarenakan kegagalan terjadi pada *bonding* daerah *interface* antara beton dengan material *CFRP* sehingga kondisi ultimate struktur ditentukan oleh *bonding* pada daerah *interface* ini. Dalam kondisi ini, material perkuatan tidak dapat mencapai batas leleh sehingga jumlah lapisan perkuatan yang digunakan tidak akan memberi dampak terhadap peningkatan kapasitas beban.



#### 4.2.2 Lendutan

Berikut ini adalah contoh pengolahan data lendutan M-3.1 **Tabel 4.7** yang didapat dari data pembacaan *dial gauge* pengujian sesudah perkuatan. (data terlampir)

**Tabel 4.7** Lendutan M-3.1 Sesudah Perbaikan dan Perkuatan

<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,05	0,01	0,01	-0,06
2	0,47	0,14	0,03	0,03	-0,15
3	1,34	0,61	0,04	0,16	-0,22
4	2,37	1,18	0,06	0,38	-0,24
5	3,52	1,75	0,10	0,48	-0,32
6	4,22	2,19	0,15	0,55	-0,39
7	5,35	2,68	0,21	0,64	-0,45
8	6,35	3,22	0,27	0,73	-0,50
9	7,70	3,92	0,35	0,81	-0,58
10	9,41	4,78	0,45	0,90	-0,67
11	10,90	5,53	0,52	0,96	-0,74
12	11,24	6,23	0,60	1,03	-0,83
13	13,63	6,93	0,66	1,10	-0,93
14	14,90	7,58	0,73	1,15	-1,02
15	15,07	8,20	0,79	1,20	-1,10
16	16,29	8,45	0,85	1,25	-1,18
17	18,57	8,79	0,91	1,30	-1,26
18	19,88	9,10	0,98	1,36	-1,33
19	20,79	10,58	1,02	1,40	-1,37
20	22,88	11,71	1,08	1,43	-1,42
21	25,07	12,87	1,14	1,46	-1,54
22	27,82	13,40	1,23	1,50	-1,55
23	31,95	16,62	1,33	1,54	-1,55
23,8	34,23	17,43	1,44	1,54	-1,56

Untuk mendapatkan lendutan sebenarnya dari dial 1, 2, dan 3 maka perlu dilakukan koreksi terhadap lendutan dial 4 dan 5 dimana seharusnya lendutan pada dial 4 dan 5 memiliki besar yang sama dengan arah yang berlawanan. Faktor koreksi akan mengurangi lendutan yang terjadi pada dial 1, 2, dan 3 dalam bentuk perbandingan:

$$\frac{y}{x} = \frac{|D4 - D5|}{h}$$

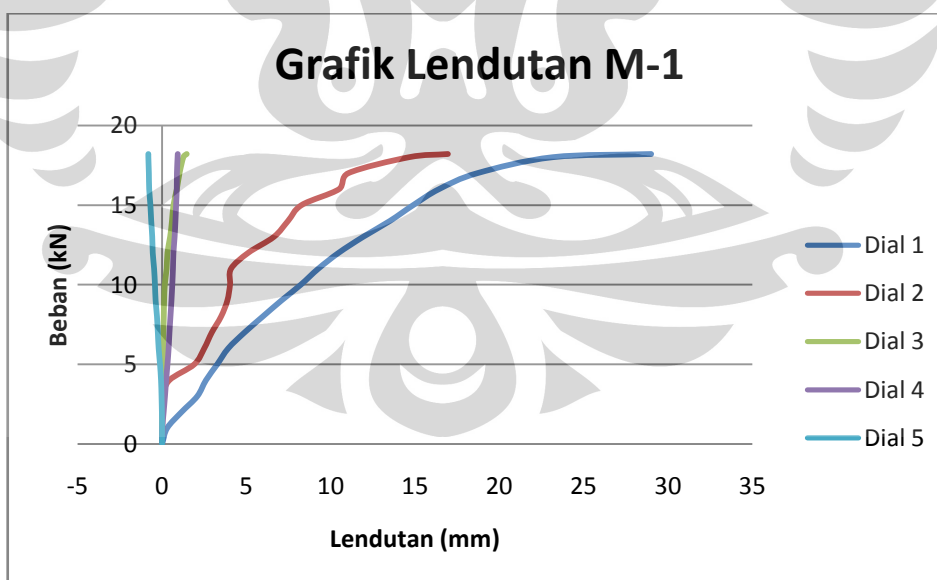
dimana:

- y = faktor koreksi
- x = jarak titik yang ditinjau
- D = lendutan pada titik dial
- H = jarak antara dial 4 dan dial 5

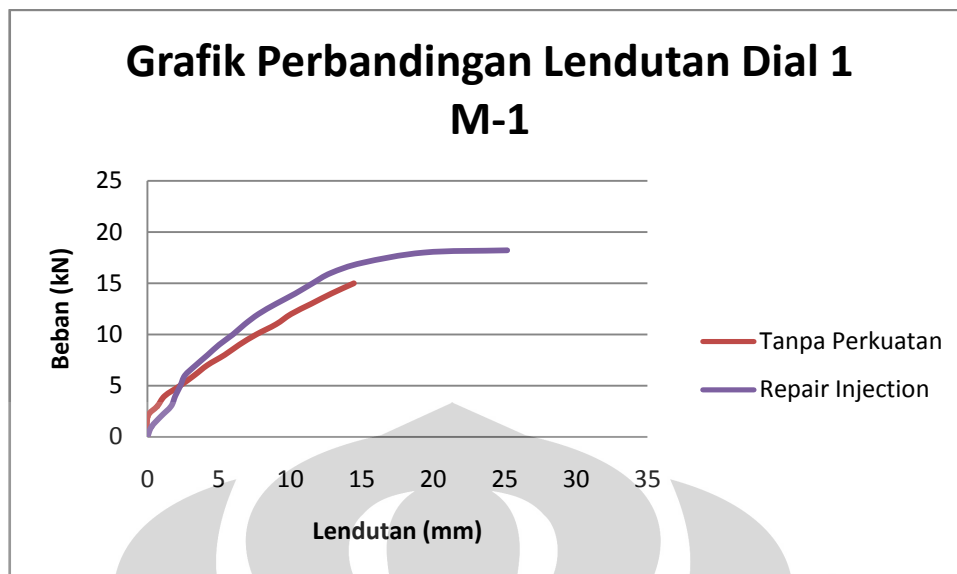
Lendutan terkoreksi pada dial 1, 2, dan 3 didapat dengan mengurangi bacaan lendutan sebelum koreksi dengan faktor koreksi. (data lendutan terkoreksi terlampir)

Berikut gambar grafik beban-lendutan dari masing-masing benda uji:

1. Benda uji M-1



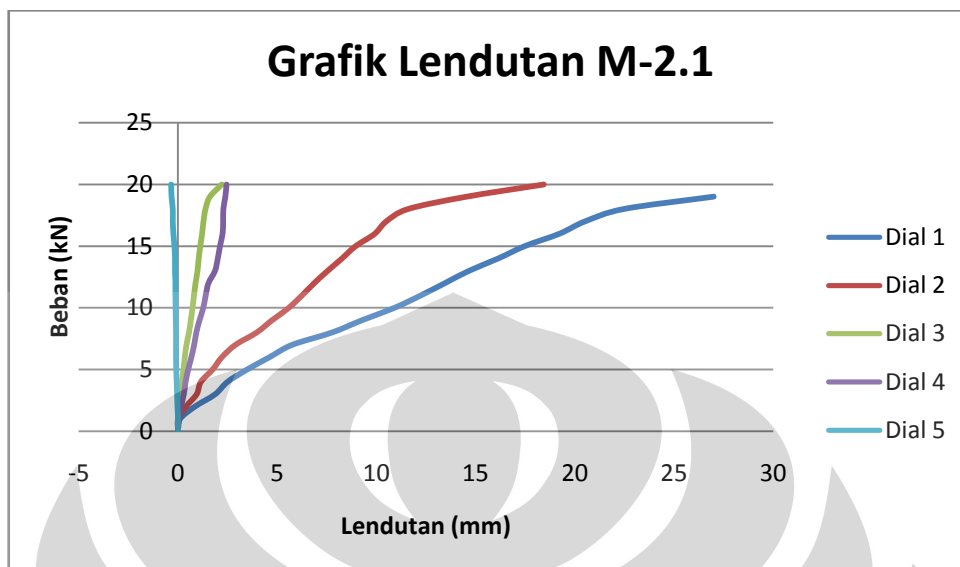
**Gambar 4.1** Grafik Beban-Lendutan M-1 Sebelum Koreksi



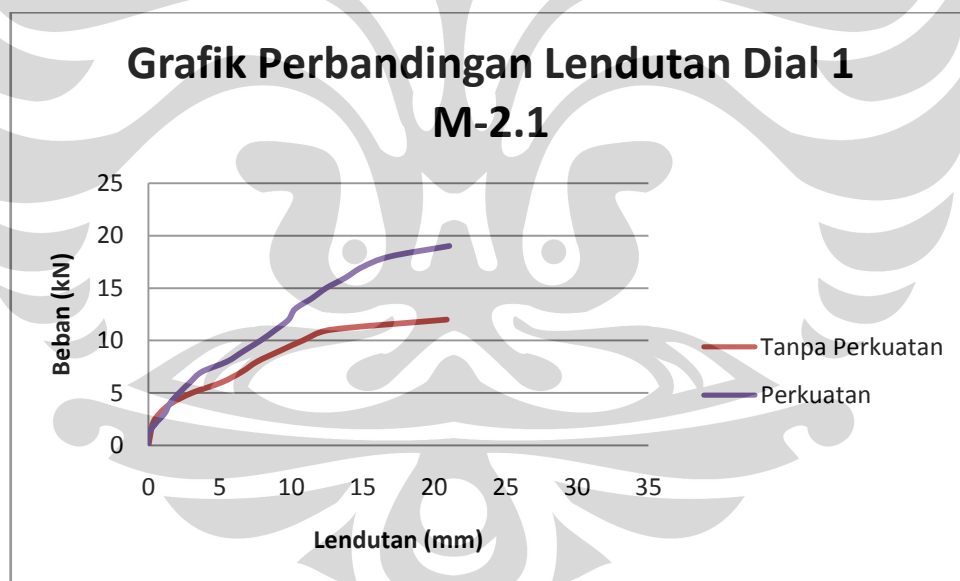
**Gambar 4.2** Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan *Repair Injection*

Berdasarkan grafik perbandingan lendutan M-1 diatas, dapat dilihat bahwa perbaikan dengan *repair injection* dapat mengembalikan kondisi kapasitas beban seperti balok beton tanpa perkuatan. Hal ini dikarenakan material injeksi pengisi retak dapat mengisi celah retak secara sempurna sehingga struktur dapat bekerja maksimal dalam menahan pembebanan yang diberikan. Namun perlu diperhatikan bahwa saat dilakukan injeksi tidak boleh terjadi kebocoran material injeksi sehingga celah retak dapat terisi dengan baik. Saat dilakukan perbaikan dengan injeksi di lapangan, balok M-1 ini berhasil diinjeksi dengan baik dalam arti tidak terjadi kebocoran sehingga balok hasil perbaikan dapat bekerja maksimal dalam menahan pembebanan yang diberikan sampai mengalami kehancuran.

## 2. Benda uji M-2



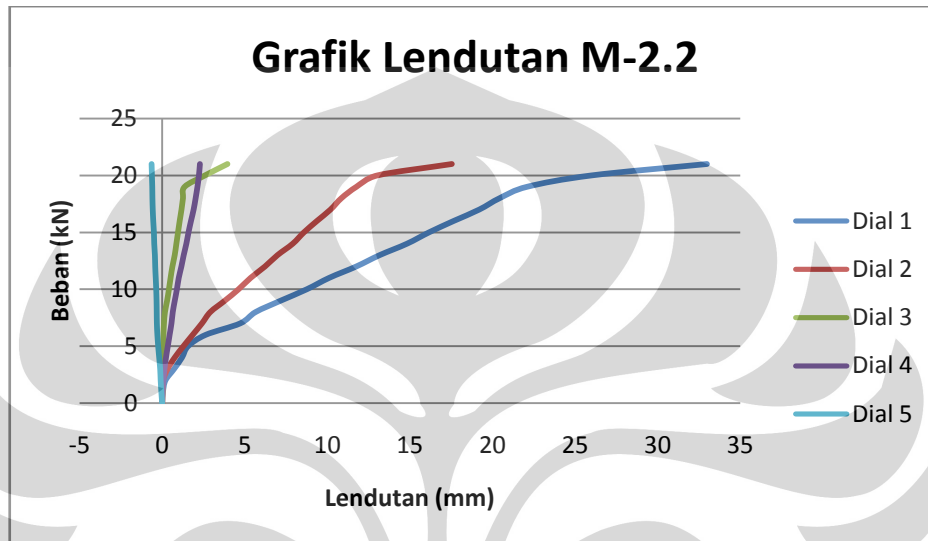
**Gambar 4.3** Grafik Beban-Lendutan M-2.1 Sebelum Koreksi



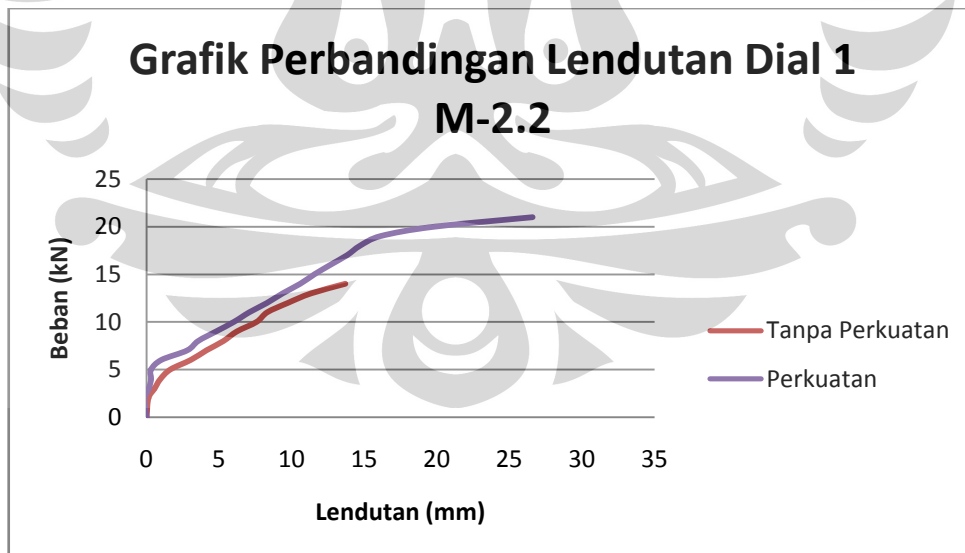
**Gambar 4.4** Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-2.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik perbandingan lendutan M-2.1 diatas, dapat dilihat bahwa balok kantilever yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* mengalami peningkatan kapasitas pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan balok kantilever tanpa perkuatan. Selain itu, balok yang diperbaiki dan diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* membuat struktur menjadi lebih

kaku dari balok beton tanpa perkuatan dimana aksi komposit dari beton dengan lembaran *CFRP* sedikit meningkatkan kekakuan struktur. Hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan lendutan M-2.1 dimana pada lendutan yang sama, beban yang ditanggung balok dengan perkuatan lebih besar dari beban yang ditanggung balok tanpa perkuatan.



**Gambar 4.5** Grafik Beban-Lendutan M-2.2 Sebelum Koreksi

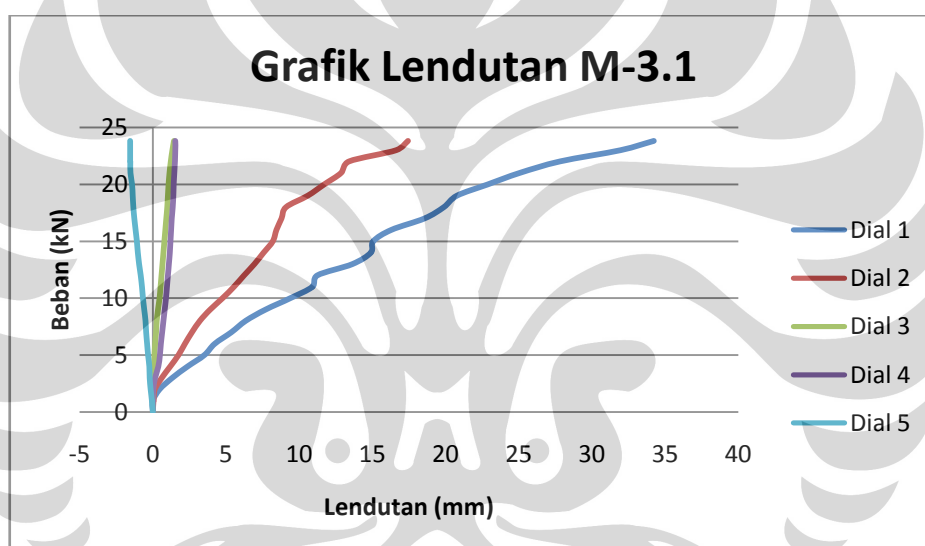


**Gambar 4.6** Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-2.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

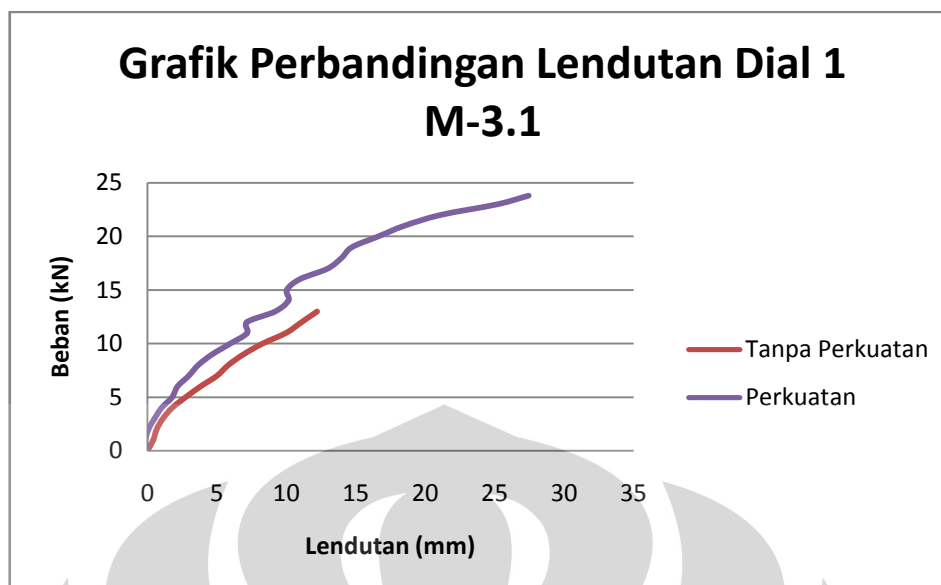
Berdasarkan grafik perbandingan lendutan M-2.2 diatas, dapat dilihat bahwa balok kantilever yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP*

mengalami peningkatan kapasitas pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan balok kantilever tanpa perkuatan dengan kapasitas beban yang hampir sama dengan balok M-2.1 yaitu mencapai 20 kN. Selain itu, balok yang diperbaiki dan diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* membuat struktur menjadi lebih kaku dari balok beton tanpa perkuatan dimana aksi komposit dari beton dengan lembaran *CFRP* sedikit meningkatkan kekakuan struktur. Hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan lendutan M-2.2 dimana pada lendutan yang sama, beban yang ditanggung balok dengan perkuatan lebih besar dari beban yang ditanggung balok tanpa perkuatan.

### 3. Benda uji M-3



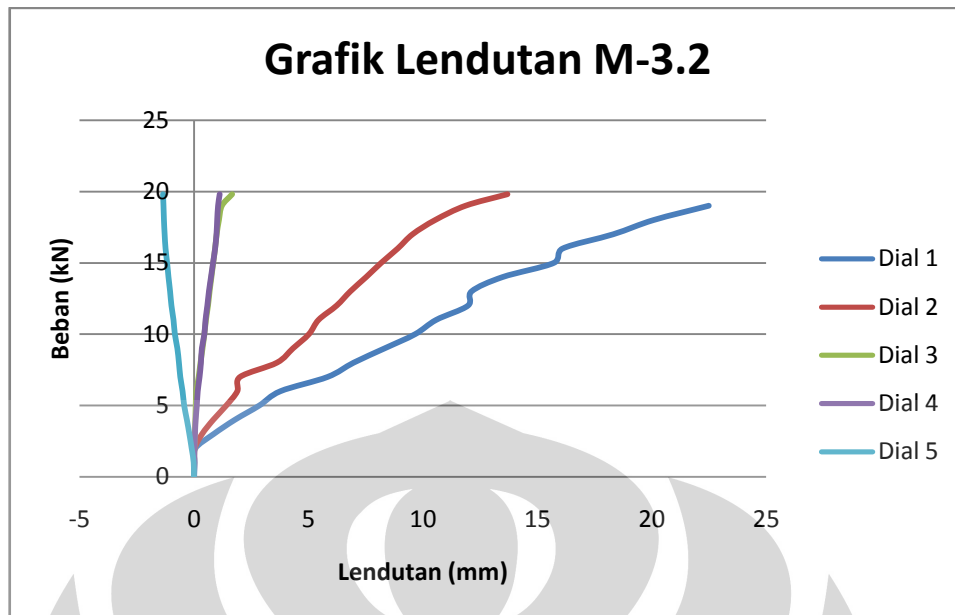
**Gambar 4.7** Grafik Beban-Lendutan M-3.1 Sebelum Koreksi



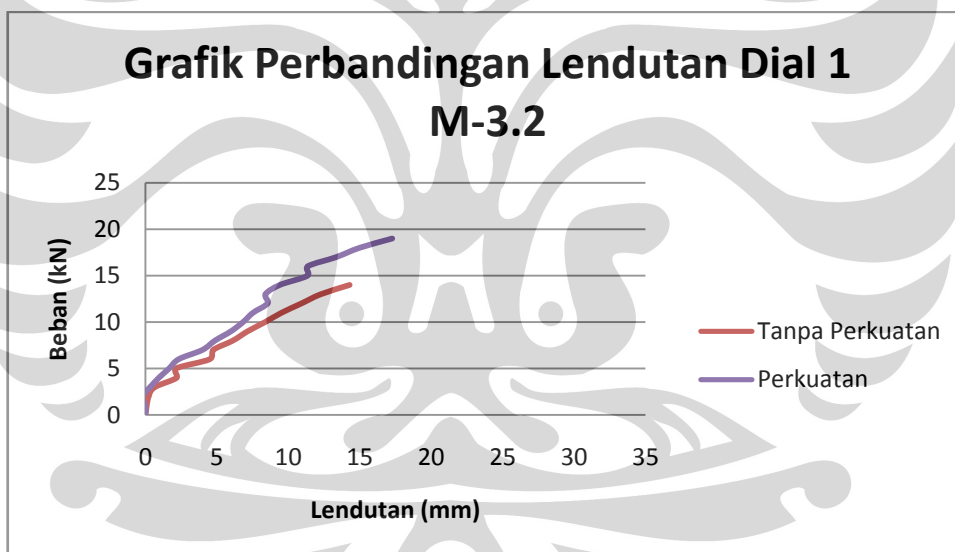
**Gambar 4.8** Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-3.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik perbandingan lendutan M-3.1 diatas, dapat dilihat bahwa balok kantilever yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* mengalami peningkatan kapasitas pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan balok kantilever tanpa perkuatan. Selain itu, balok yang diperbaiki dan diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* membuat struktur menjadi lebih kaku dari balok beton tanpa perkuatan dimana aksi komposit dari beton dengan lembaran *CFRP* sedikit meningkatkan kekakuan struktur. Hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan lendutan M-3.1 dimana pada lendutan yang sama, beban yang ditanggung balok dengan perkuatan lebih besar dari beban yang ditanggung balok tanpa perkuatan.





**Gambar 4.9** Grafik Beban-Lendutan M-3.2 Sebelum Koreksi

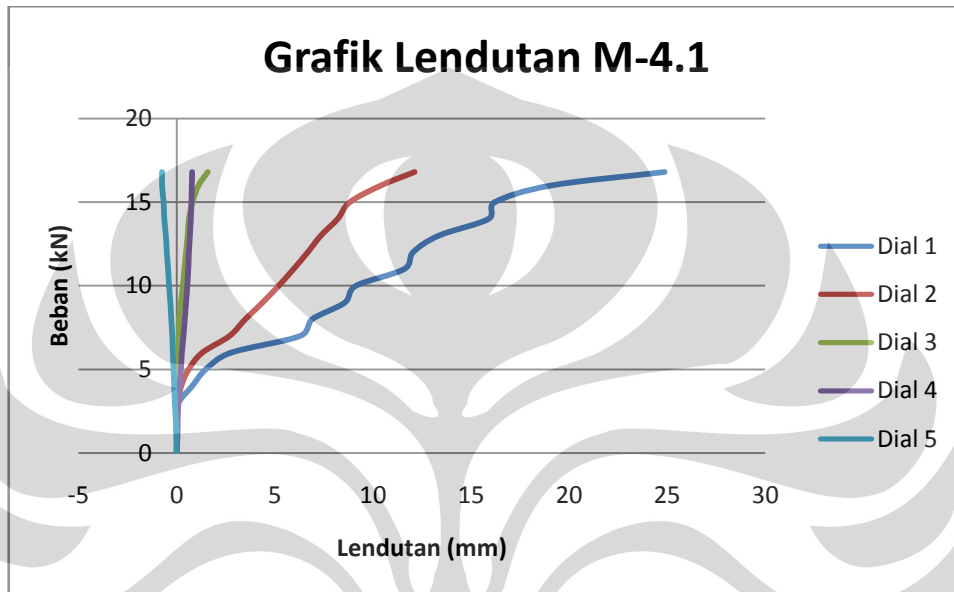


**Gambar 4.10** Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-3.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

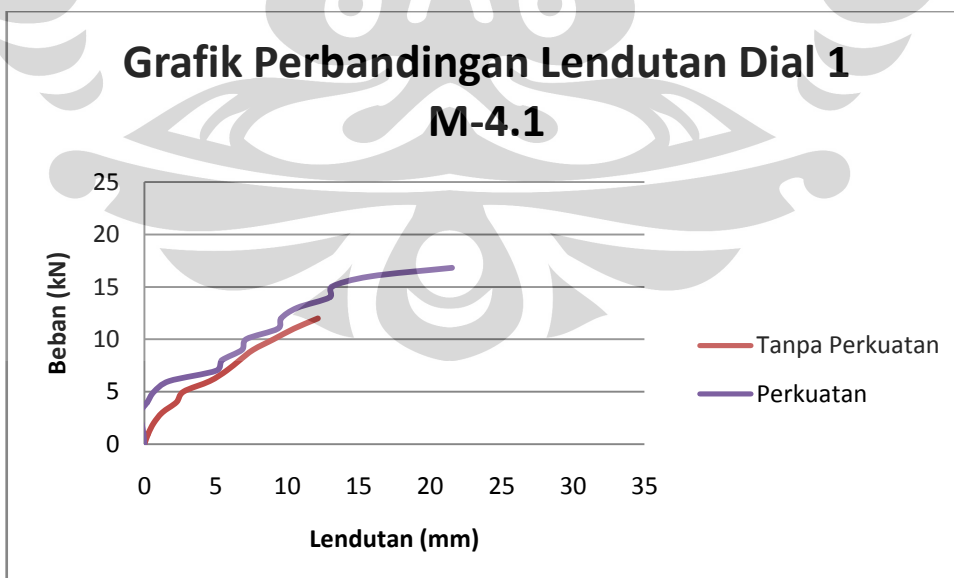
Berdasarkan grafik perbandingan lendutan M-3.2 diatas, dapat dilihat bahwa balok kantilever yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* mengalami peningkatan kapasitas pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan balok kantilever tanpa perkuatan. Selain itu, balok yang diperbaiki dan diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* membuat struktur menjadi lebih kaku dari balok beton tanpa perkuatan dimana aksi komposit dari beton dengan

lembaran *CFRP* sedikit meningkatkan kekakuan struktur. Hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan lendutan M-3.2 dimana pada lendutan yang sama, beban yang ditanggung balok dengan perkuatan lebih besar dari beban yang ditanggung balok tanpa perkuatan.

#### 4. Benda uji M-4



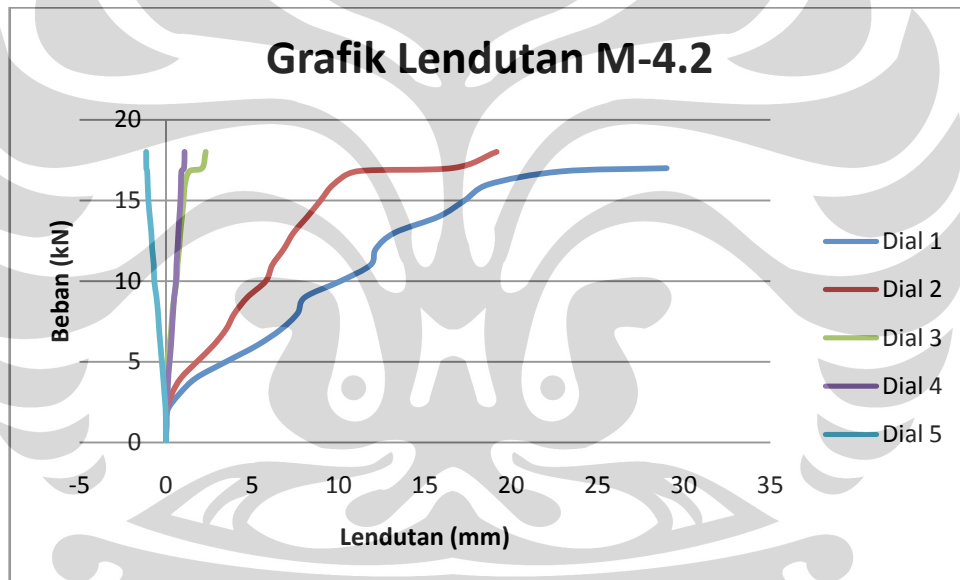
**Gambar 4.11** Grafik Beban-Lendutan M-4.1 Sebelum Koreksi



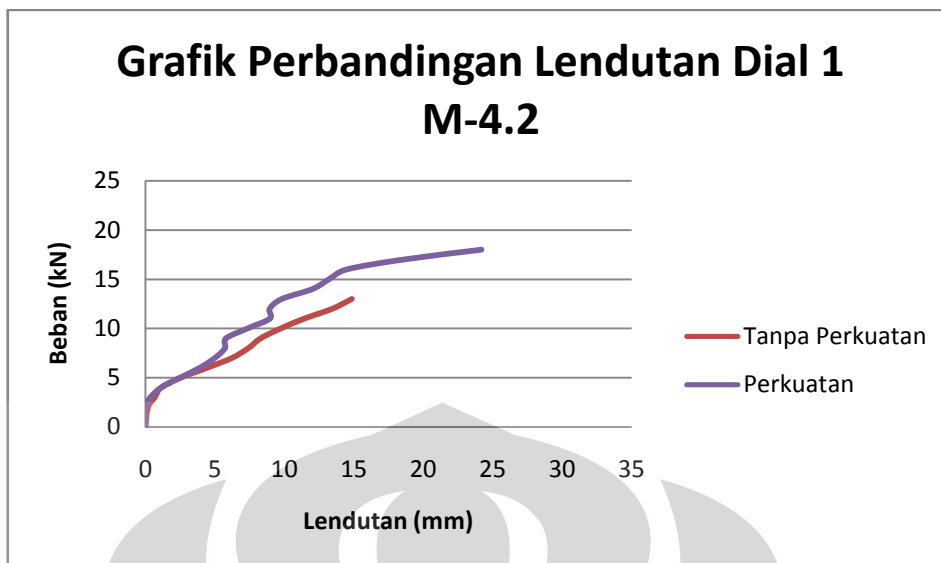
**Gambar 4.12** Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-4.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik perbandingan lendutan M-4.1 diatas, dapat dilihat bahwa balok kantilever yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* mengalami peningkatan kapasitas pembebanan sedikit lebih besar dibandingkan dengan balok kantilever tanpa perkuatan.

Berdasarkan analisa grafik sebelumnya, balok kantilever yang diberi perkuatan memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan balok kantilever tanpa perkuatan sehingga struktur yang diperkuat juga akan mengalami peningkatan kapasitas beban. Namun pada grafik perbandingan lendutan M-4.1 diatas, terlihat bahwa balok kantilever dengan atau tanpa perkuatan memiliki nilai kekakuan yang hampir sama sehingga balok kantilever M-4.1 ini memiliki peningkatan kapasitas beban yang relatif lebih kecil dari benda uji lainnya.



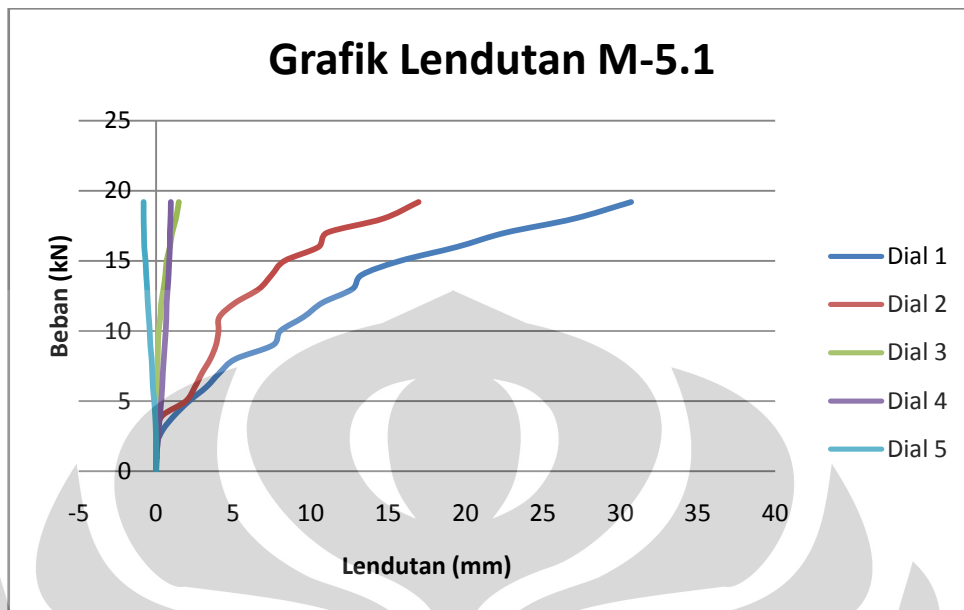
Gambar 4.13 Grafik Beban-Lendutan M-4.2 Sebelum Koreksi



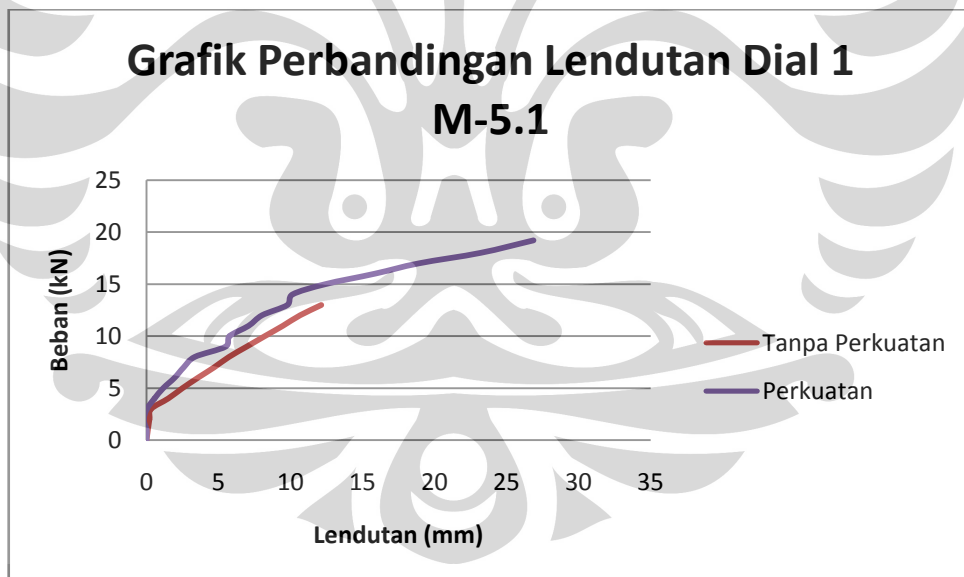
**Gambar 4.14** Grafik Perbandingan Lentutan Terkoreksi Dial 1 M-4.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik perbandingan lentutan M-4.2 diatas, dapat dilihat bahwa balok kantilever yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* mengalami peningkatan kapasitas pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan balok kantilever tanpa perkuatan. Selain itu, balok yang diperbaiki dan diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* membuat struktur menjadi lebih kaku dari balok beton tanpa perkuatan dimana aksi komposit dari beton dengan lembaran *CFRP* sedikit meningkatkan kekakuan struktur. Hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan lentutan M-4.2 dimana pada lendutan yang sama, beban yang ditanggung balok dengan perkuatan lebih besar dari beban yang ditanggung balok tanpa perkuatan.

## 5. Benda uji M-5



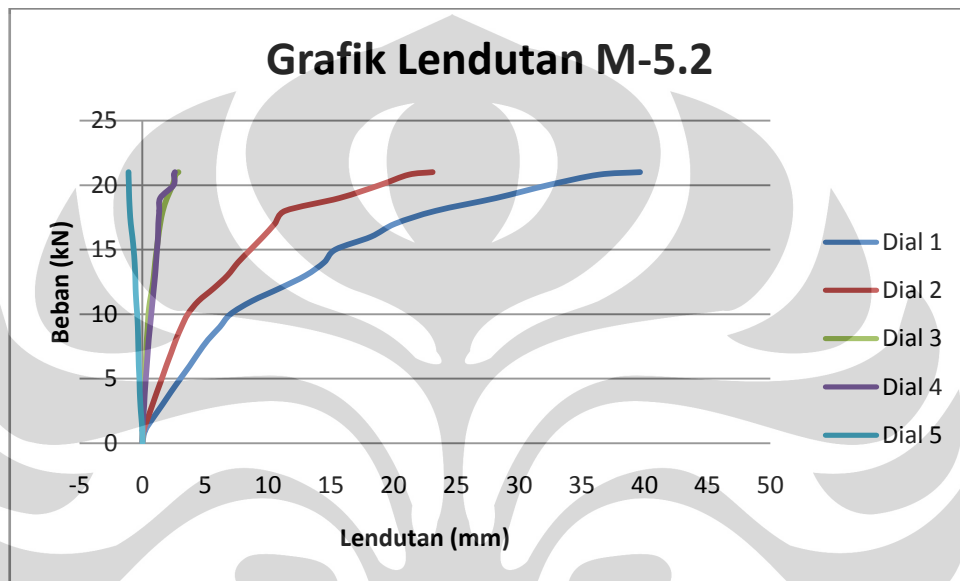
**Gambar 4.15** Grafik Beban-Lendutan M-5.1 Sebelum Koreksi



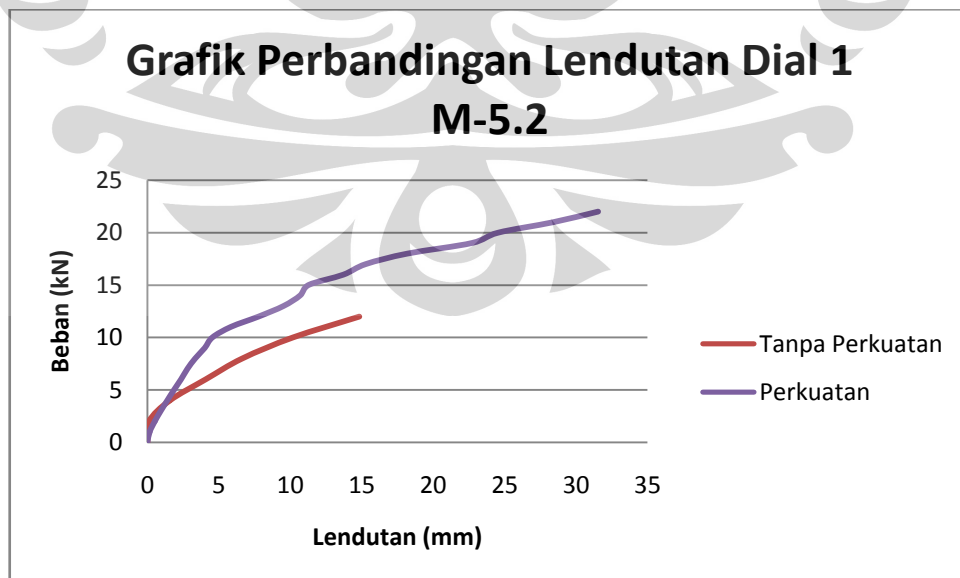
**Gambar 4.16** Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-5.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik perbandingan lendutan M-5.1 diatas, dapat dilihat bahwa balok kantilever yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* mengalami peningkatan kapasitas pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan balok kantilever tanpa perkuatan. Selain itu, balok yang diperbaiki dan

diperkuat dengan menggunakan lembaran CFRP membuat struktur menjadi lebih kaku dari balok beton tanpa perkuatan dimana aksi komposit dari beton dengan lembaran CFRP sedikit meningkatkan kekakuan struktur. Hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan lendutan M-5.1 dimana pada lendutan yang sama, beban yang ditanggung balok dengan perkuatan lebih besar dari beban yang ditanggung balok tanpa perkuatan.



Gambar 4.17 Grafik Beban-Lendutan M-5.2 Sebelum Koreksi



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Lendutan Terkoreksi Dial 1 M-5.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik perbandingan lendutan M-5.2 diatas, dapat dilihat bahwa balok kantilever yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* mengalami peningkatan kapasitas pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan balok kantilever tanpa perkuatan. Selain itu, balok yang diperbaiki dan diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* membuat struktur menjadi lebih kaku dari balok beton tanpa perkuatan dimana aksi komposit dari beton dengan lembaran *CFRP* sedikit meningkatkan kekakuan struktur. Hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan lendutan M-5.2 dimana pada lendutan yang sama, beban yang ditanggung balok dengan perkuatan lebih besar dari beban yang ditanggung balok tanpa perkuatan.

#### 4.1.3 Momen-Rotasi

Grafik hubungan momen-rotasi dibuat berdasarkan data lendutan terkoreksi pada dial 2 dan 3 dimana perhitungan rotasi didapat dari selisih lendutan dial 2 dengan dial 3 yang dibandingkan terhadap jarak antara dial 2 dan dial 3.

$$\phi = \frac{Dial\ 2 - Dial\ 3}{x}$$

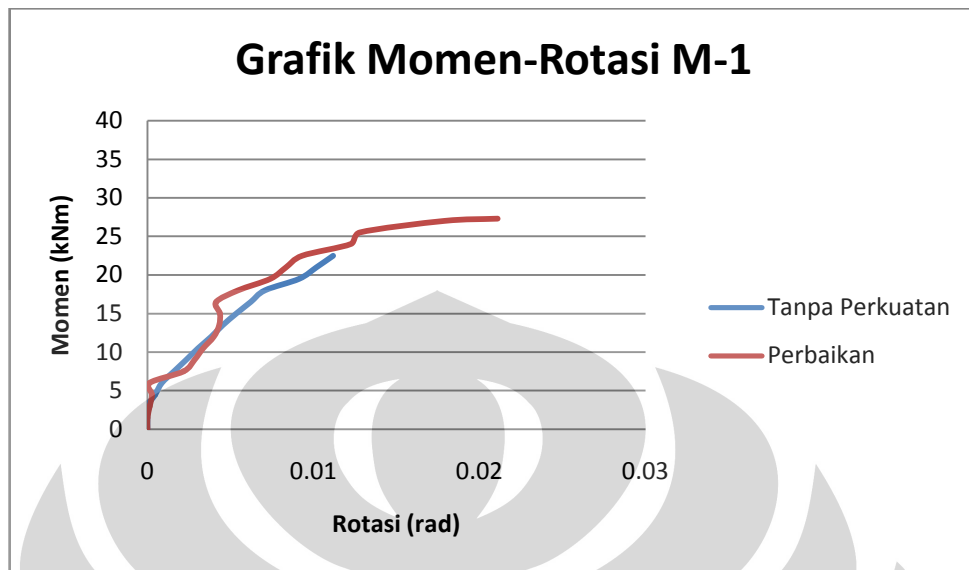
dimana,  $\phi$  = rotasi (rad)

Dial = lendutan

X = jarak antara dial 2 dengan dial 3

Grafik momen-rotasi ini dapat menunjukkan peningkatan kapasitas momen serta kekakuan dari benda uji.

## 1. Benda uji M-1

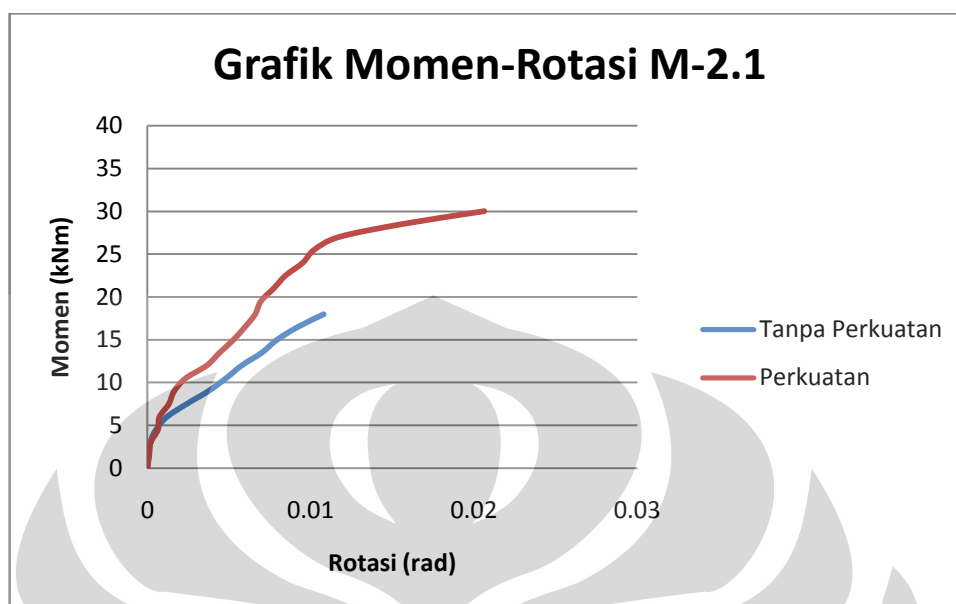


**Gambar 4.19** Grafik Momen-Rotasi M-1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perbaikan

Berdasarkan grafik momen-rotasi M-1 di atas, kemiringan gradien grafik momen-rotasi benda uji dengan perbaikan memiliki gradien yang sedikit lebih besar daripada benda uji tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan peningkatan sedikit kekakuan dari benda uji yang diperbaiki dengan injeksi resin daripada benda uji tanpa perkuatan dikarenakan bahan perbaikan ini memiliki kuat tarik yang besar. Selain itu, grafik momen-rotasi M-1 di atas juga menunjukkan peningkatan kapasitas momen dari benda uji yang diperbaiki sebesar 21,33% dari benda uji tanpa perkuatan.

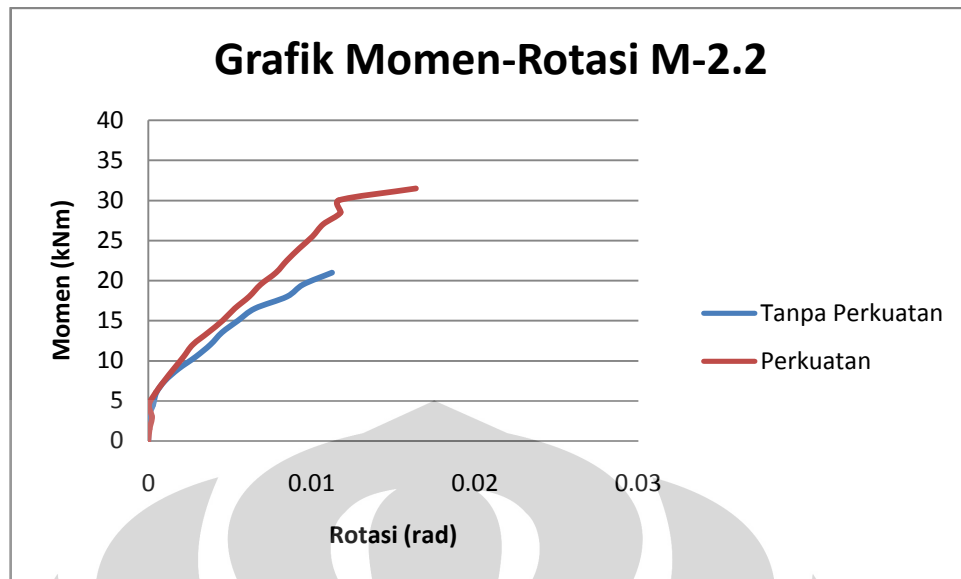


## 2. Benda uji M-2



**Gambar 4.20** Grafik Momen-Rotasi M-2.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

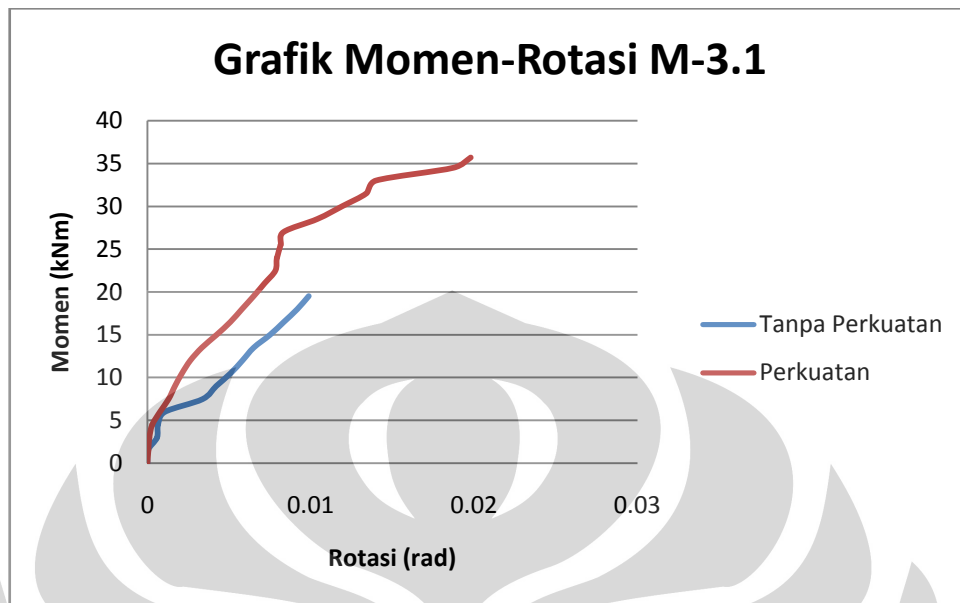
Berdasarkan grafik momen-rotasi M-2.1 di atas, kemiringan gradien grafik momen-rotasi benda uji dengan perkuatan memiliki gradien yang lebih besar daripada benda uji tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan peningkatan kekakuan dari benda uji yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* daripada benda uji tanpa perkuatan. Selain itu, grafik momen-rotasi M-2.1 di atas juga menunjukkan peningkatan kapasitas momen dari benda uji yang diperkuat sebesar 58,33% dari benda uji tanpa perkuatan.



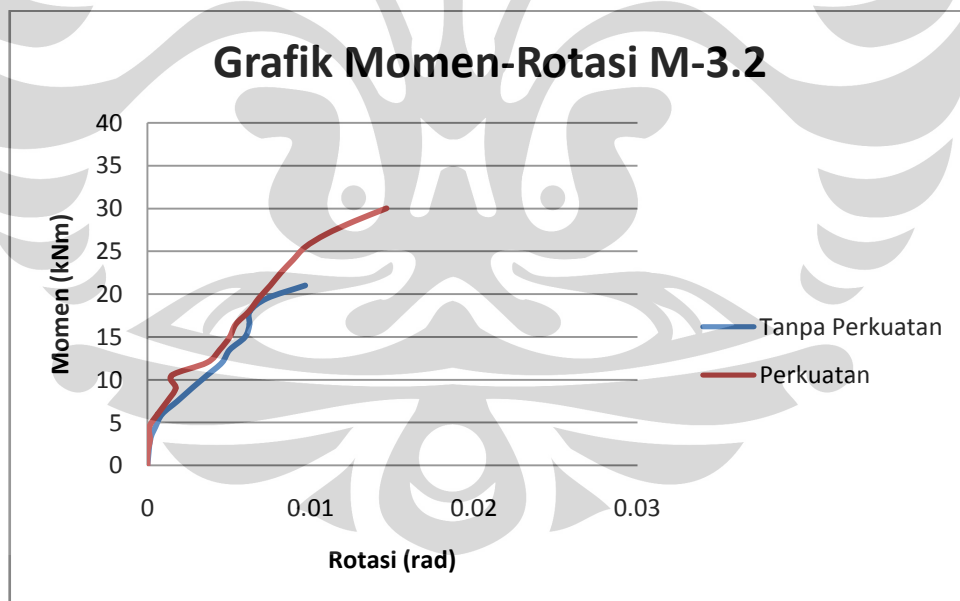
**Gambar 4.21** Grafik Momen-Rotasi M-2.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik momen-rotasi M-2.2 di atas, kemiringan gradien grafik momen-rotasi benda uji dengan perkuatan memiliki gradien yang lebih besar daripada benda uji tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan peningkatan sedikit kekakuan dari benda uji yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* daripada benda uji tanpa perkuatan. Selain itu, grafik momen-rotasi M-2.2 di atas juga menunjukkan peningkatan kapasitas momen dari benda uji yang diperkuat sebesar 50% dari benda uji tanpa perkuatan.

## 3. Benda uji M-3



**Gambar 4.22** Grafik Momen-Rotasi M-3.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

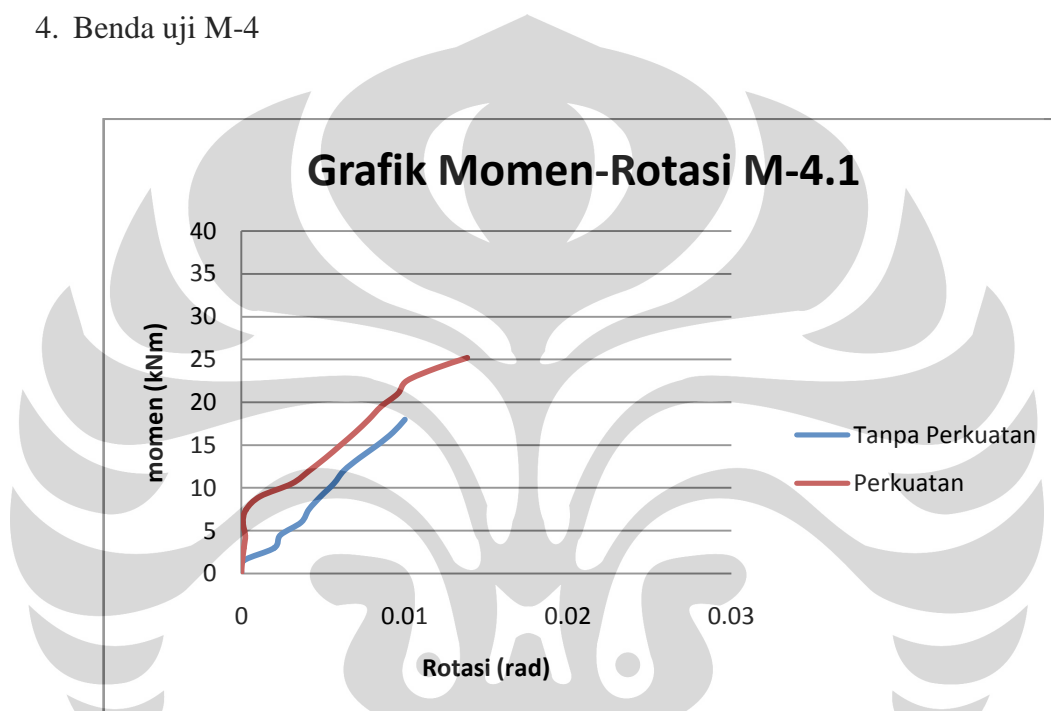


**Gambar 4.23** Grafik Momen-Rotasi M-3.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik momen-rotasi M-3.1 di atas, kemiringan gradien grafik momen-rotasi benda uji dengan perkuatan memiliki gradien yang lebih besar daripada benda uji tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan peningkatan kekakuan

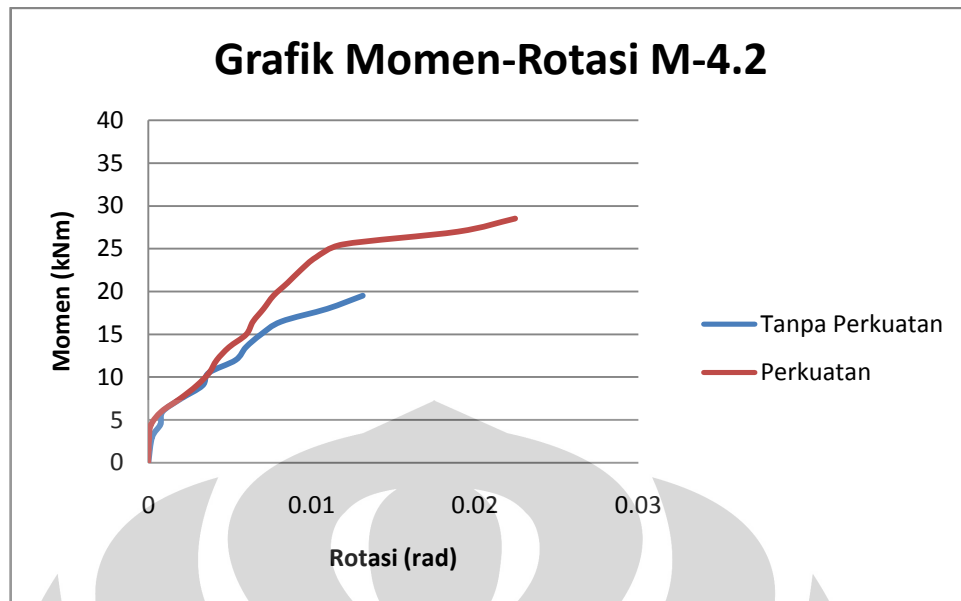
dari benda uji yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* daripada benda uji tanpa perkuatan. Sedangkan untuk peningkatan kekakuan M-3.2 lebih rendah dari benda uji M-3.1 sehingga peningkatan kapasitas momen dari benda uji M-3.1 jauh lebih besar dari benda uji M-3.2. Selain itu, grafik momen-rotasi M-3.1 dan M-3.2 juga menunjukkan peningkatan kapasitas momen dari benda uji yang diperkuat masing-masing sebesar 83,07% dan 42,86% dari benda uji tanpa perkuatan.

#### 4. Benda uji M-4



**Gambar 4.24** Grafik Momen-Rotasi M-4.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

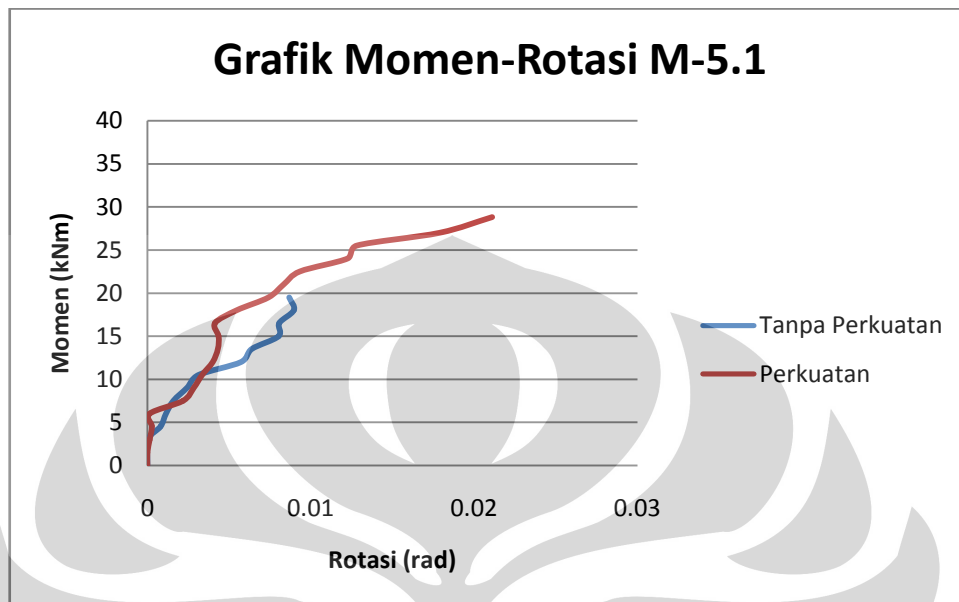
Berdasarkan grafik momen-rotasi M-4.1 di atas, kemiringan gradien grafik momen-rotasi benda uji dengan perkuatan memiliki gradien yang hampir sama daripada benda uji tanpa perkuatan. Hal ini menyebabkan benda uji M-4.1 mengalami peningkatan kapasitas momen yang paling kecil dari benda uji lainnya yaitu sebesar 40% dari benda uji tanpa perkuatan.



**Gambar 4.25** Grafik Momen-Rotasi M-4.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

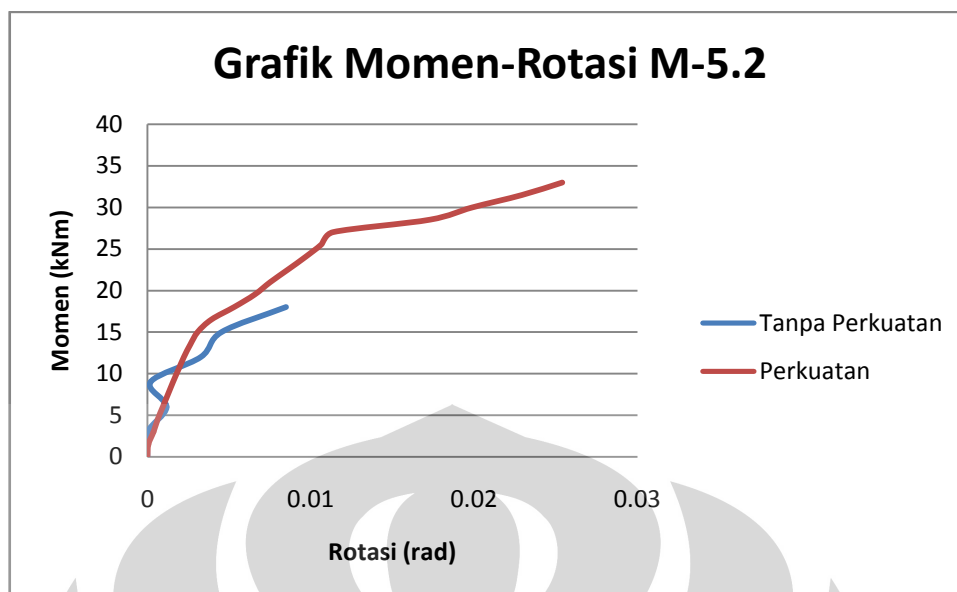
Berdasarkan grafik momen-rotasi M-4.2 di atas, kemiringan gradien grafik momen-rotasi benda uji dengan perkuatan memiliki gradien yang lebih besar daripada benda uji tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan peningkatan sedikit kekakuan dari benda uji yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* daripada benda uji tanpa perkuatan. Selain itu, grafik momen-rotasi M-4.2 di atas juga menunjukkan peningkatan kapasitas momen dari benda uji yang diperkuat sebesar 46,15% dari benda uji tanpa perkuatan.

## 5. Benda uji M-5



**Gambar 4.26** Grafik Momen-Rotasi M-5.1 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik momen-rotasi M-5.1 di atas, kemiringan gradien grafik momen-rotasi benda uji dengan perkuatan memiliki gradien yang lebih besar daripada benda uji tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan peningkatan sedikit kekakuan dari benda uji yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* daripada benda uji tanpa perkuatan. Selain itu, grafik momen-rotasi M-5.1 di atas juga menunjukkan peningkatan kapasitas momen dari benda uji yang diperkuat sebesar 47,69% dari benda uji tanpa perkuatan.



**Gambar 4.27** Grafik Momen-Rotasi M-5.2 Balok Kantilever Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan

Berdasarkan grafik momen-rotasi M-5.2 di atas, kemiringan gradien grafik momen-rotasi benda uji dengan perkuatan memiliki gradien yang lebih besar daripada benda uji tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan peningkatan kekakuan dari benda uji yang diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* daripada benda uji tanpa perkuatan. Bila dibandingkan dengan benda uji lainnya, benda uji M-5.2 mengalami peningkatan kekakuan yang cukup besar sehingga mengalami peningkatan kapasitas momen yang jauh lebih baik yaitu sebesar 83,33% dari benda uji tanpa perkuatan.

Secara ringkas, besar kapasitas momen dari masing-masing benda uji serta peningkatan kapasitas momen dapat dilihat pada **Tabel 4.8** berikut:

**Tabel 4.8** Kapasitas Momen dan Peningkatan Momen Balok Kantilever Dengan Perkuatan Lembaran *CFRP* (**P**) Terhadap Balok Kantilever Tanpa Perkuatan (**TP**)

Model	Momen TP	Momen P	%M
M-1	22,50	27,30	21,33
M-2.1	18,00	30,00	58,33
M-2.2	21,00	31,50	50,00
M-3.1	19,50	35,70	83,07
M-3.2	21,00	30,00	42,86
M-4.1	18,00	25,20	40,00
M-4.2	19,50	28,50	46,15
M-5.1	19,50	28,80	47,69
M-5.2	18,00	33,00	83,33

**Tabel 4.9** Kapasitas Momen dan Peningkatan Momen Rata-Rata Balok Kantilever Dengan Perkuatan Lembaran *CFRP* (P) Terhadap Balok Kantilever Tanpa Perkuatan (TP)

Model	Momen TP	Momen P	%M
M-1	22,50	27,30	21,33
M-2	19,50	30,75	54,17
M-3	20,25	32,85	62,97
M-4	18,75	26,85	43,08
M-5	18,75	30,90	65,51

#### 4.1.4 Pola Retak dan Jenis Kegagalan

##### 1. Benda uji M-1

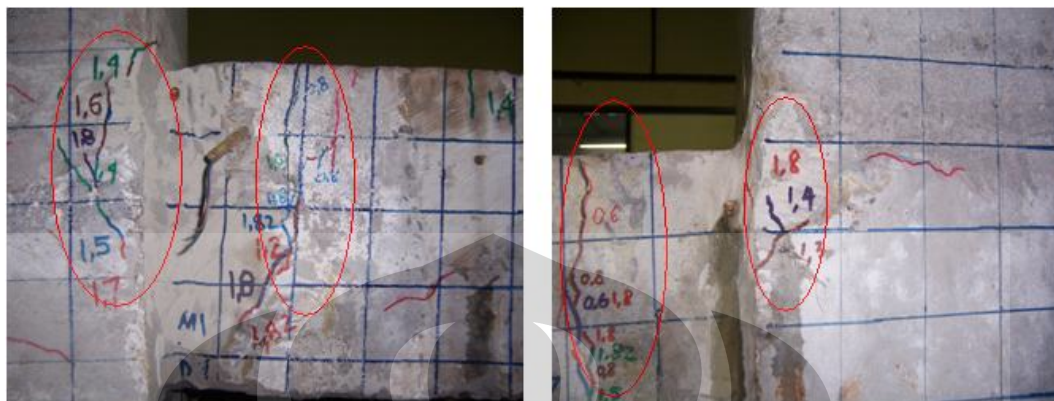
Retak yang terjadi pada benda uji M-1 adalah retak lentur. Retak mulai terjadi saat memasuki beban 6 kN yang terjadi pada material beton lama di daerah tumpuan. Saat beban terus bertambah, terjadi pelebaran dan perpanjangan retak pada retak eksisting sampai dengan beban 10 kN. Memasuki beban 13 kN mulai terjadi retak pada pertemuan balok kolom dimana terjadi pula pelebaran retak eksisting di daerah dekat joint.

Saat beban terus bertambah, retak pada pertemuan balok kolom terus bertambah ke arah kolom diikuti retak beban 6 kN pada material beton lama yang terus melebar dan memanjang mengelilingi badan beton khususnya bagian badan ke atas sampai dengan beban nominal pengujian 18,2 kN. Bila diamati lebih jauh, retak yang terjadi pada pertemuan balok kolom lebih cenderung merupakan retak halus. Sedangkan retak yang terjadi pada material beton lama yaitu kurang lebih sejarak 10 cm dari joint merupakan retak besar dan memanjang yang menandakan terjadinya kegagalan lentur (kehancuran struktur) akibat *overloading* dimana struktur tidak dapat lagi dibebani lebih dari 18,2 kN. Retak ini menandakan bahwa kegagalan terjadi pada material beton dikarenakan beton lemah terhadap tarik yang terjadi di daerah tersebut akibat pembebanan.

Dapat dianalisa bahwa material perbaikan Sikadur 31 dan Sikadur 752 memiliki kuat tarik yang baik dikarenakan retak yang timbul pada daerah perbaikan hanya merupakan retak halus. Kegagalan lentur pada balok kantilever ini terjadi pada daerah beton lama sejarak 10 cm dari joint serta daerah pertemuan



balok kolom tempat pertemuan beton lama dengan material perbaikan seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.28**. (pola retak terlampir).



**Gambar 4.28** Kegagalan Lentur Pada Sambungan Beton Lama Dengan Material Perbaikan dan Sambungan Balok Kolom M-1

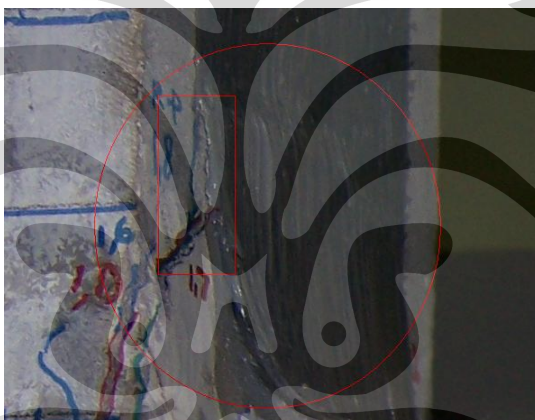
## 2. Benda uji M-2

Retak yang terjadi pada benda uji M-2.1 adalah retak lentur. Retak mulai terjadi saat memasuki beban 8 kN yang terjadi pada daerah kolom tepat pada pertemuan balok kolom. Saat beban terus bertambah, terjadi pelebaran dan perpanjangan retak pada retak eksisting sampai dengan beban 10 kN. Saat memasuki beban 11 kN, retak pada pertemuan balok kolom terus memanjang dan melebar sampai beban 19 kN. Pada beban 17 kN, retak menerus ke perkuatan dan melepas rekatan antara perkuatan dengan permukaan beton pada beban 18 kN yang terjadi pada muka kolom (*interface* vertikal). Lepasnya rekatan perkuatan yang terjadi pada muka kolom dan bagian atas balok di daerah tumpuan ini terjadi karena perilaku khusus dari daerah pertemuan balok kolom dimana bagian muka kolom dan atas balok mengalami gaya tarik yang besar akibat pembebanan.

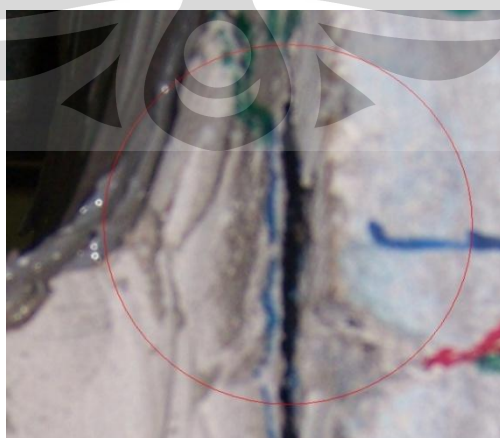
Dikarenakan perkuatan pada benda uji M-2.1 ini tidak diikatkan ke kolom, maka terjadi peristiwa lepasnya rekatan perkuatan pada muka kolom karena gaya tarik yang besar dan tidak ada yang menahan. Karena pada beban 18 kN telah terjadi retak yang melepas rekatan perkuatan pada daerah tumpuan, maka pada beban 19 kN dan 20 kN retak pada pertemuan balok kolom terus melebar dan memanjang yang menandakan terjadinya keruntuhan struktur akibat lentur pada pembebanan nominal sebesar 20 kN.

Selama proses pembebanan sampai dengan beban 20 kN, retak yang terjadi pada balok kebanyakan merupakan pelebaran dan pemanjangan retak eksisting. Retak baru yang muncul di sepanjang badan balok tidak terlalu besar dikarenakan material perkuatan dapat menahan tarik yang terjadi dan meminimalisasi retak pada badan balok.

Pada bagian badan balok yang tidak diberi perkuatan, retak yang terjadi merupakan retak eksisting yang membesar dan menerus mengelilingi bagian atas balok yang mengalami tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada bagian tersebut tidak terdapat material perkuatan sehingga tidak dapat menahan tarik. Namun, secara garis besar struktur mengalami kerusakan akibat lentur yang terjadi tepat pada daerah pertemuan balok kolom dikarenakan lepasnya rekatan perkuatan pada daerah *interface* antara beton dengan *CFRP* seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.29** dan **4.30**. (pola retak terlampir)



**Gambar 4.29** Lepasnya Rekatan Perkuatan M-2.1



**Gambar 4.30** Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-2.1

Pada benda uji M-2.2, retak yang terjadi adalah retak lentur. Retak mulai terjadi pada saat memasuki beban 8 kN dimana terjadi pelebaran dan pemanjangan retak eksisting pada badan balok. Saat memasuki beban 9 kN, mulai terjadi retak di daerah pertemuan balok kolom yang menerus dan melebar hingga beban 20 kN. Pada saat memasuki beban 17 kN, retak yang terjadi pada joint menerus ke daerah perkuatan muka kolom yang menyebabkan lepasnya rekatan antara material perkuatan dengan permukaan beton. Lepasnya rekatan ini terus memanjang hingga beban 21 kN.

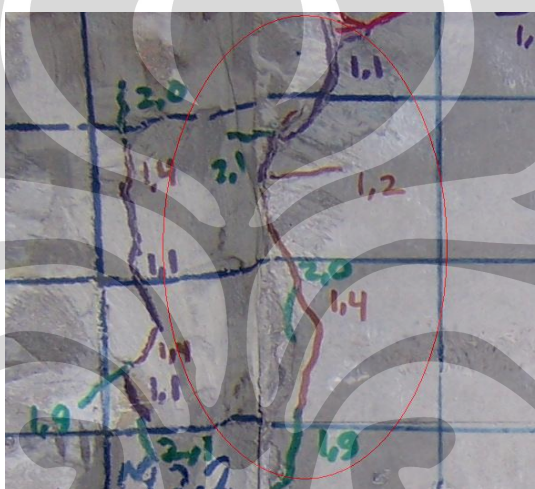
Dikarenakan perkuatan pada benda uji M-2.2 ini tidak diikatkan ke kolom, maka terjadi peristiwa lepasnya rekatan perkuatan pada muka kolom karena gaya tarik yang besar dan tidak ada yang menahan. Karena pada beban 17 kN telah terjadi retak yang melepas rekatan perkuatan pada daerah tumpuan, maka pada beban 18 kN sampai dengan 21 kN retak pada pertemuan balok kolom terus melebar dan memanjang yang menandakan terjadinya keruntuhan struktur akibat lentur pada pembebanan nominal sebesar 21 kN.

Selama proses pembebanan sampai dengan beban 21 kN, retak yang terjadi pada balok kebanyakan merupakan pelebaran dan pemanjangan retak eksisting. Retak baru yang muncul di sepanjang badan balok tidak terlalu besar dikarenakan material perkuatan dapat menahan tarik yang terjadi dan meminimalisasi retak pada badan balok. Retak baru ini muncul pada daerah sambungan antara material perkuatan dengan beton lama pada badan balok di dekat daerah tumpuan.

Pada bagian badan balok yang tidak diberi perkuatan, retak yang terjadi merupakan retak eksisting yang membesar dan menerus mengelilingi bagian atas balok yang mengalami tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada bagian tersebut tidak terdapat material perkuatan sehingga tidak dapat menahan tarik. Namun, secara garis besar struktur mengalami kerusakan akibat lentur yang terjadi tepat pada daerah pertemuan balok kolom dikarenakan lepasnya rekatan perkuatan pada daerah *interface* antara beton dengan *CFRP* seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.31** dan **4.32**. (pola retak terlampir)



**Gambar 4.31** Lepasnya Rekatnya Perkuatan M-2.2

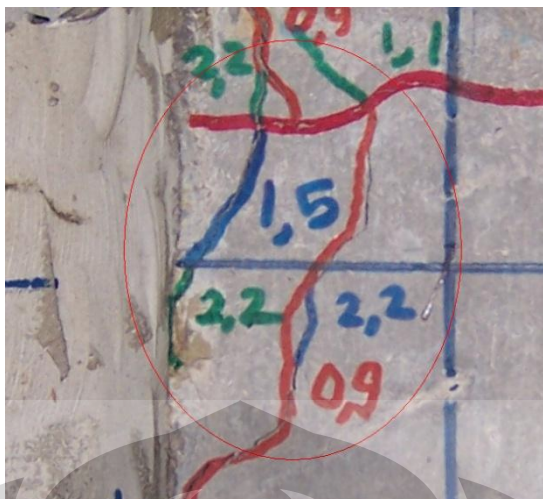


**Gambar 4.32** Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-2.2

### 3. Benda uji M-3

Retak yang terjadi pada benda uji M-3.1 adalah retak lentur. Retak mulai terjadi saat memasuki beban 6 kN yang terjadi pada daerah badan balok di tengah bentang. Saat beban terus bertambah, terjadi pelebaran dan perpanjangan retak pada retak eksisting sampai dengan beban 23,8 kN. Saat memasuki beban 9 kN, timbul retak pada pertemuan balok kolom yang terus memanjang dan melebar sampai beban 23,8 kN. Retak pada beban 9 kN yang terjadi pada kolom ini merupakan retak yang menandakan dimulainya pelepasan lekatan tulangan balok akibat gaya tarik yang besar seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.33**.





**Gambar 4.33** Retak Pada Sambungan Balok Kolom M-3.1

Pada beban 17 kN, retak menerus ke perkuatan yang terjadi pada daerah tekukan pertemuan balok kolom yang menerus sampai beban 23,8 kN seperti pada **Gambar 4.34**.



**Gambar 4.34** Retak Melintang Perkuatan Di Daerah Tekukan Pertemuan Balok Kolom M-3.1

Pada benda uji M-3.1 ini tidak terjadi pelepasan rekatan perkuatan pada muka kolom dikarenakan adanya ikatan perkuatan ke kolom sehingga gaya tarik yang menyebabkan tercabutnya material perkuatan pada muka kolom dapat ditahan dengan baik. Karena pada beban 17 kN telah terjadi retak pada daerah perkuatan di tumpuan yang menandakan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok, maka pada beban 18 kN sampai 23,8 kN retak di daerah perkuatan horizontal terus memanjang dan menyebabkan retak pada daerah pertemuan balok kolom terus membesar dan memanjang yang

menandakan terjadinya keruntuhan struktur akibat lentur pada pembebanan nominal sebesar 23,8 kN. Selama proses pembebanan sampai dengan beban 23,8 kN, retak yang terjadi pada balok kebanyakan merupakan pelebaran dan pemanjangan retak eksisting.

Pada daerah panel pertemuan balok kolom terlihat retak diagonal yang menandakan retak akibat geser joint pada pembebanan sebesar 15 kN sampai 20 kN seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.35**.

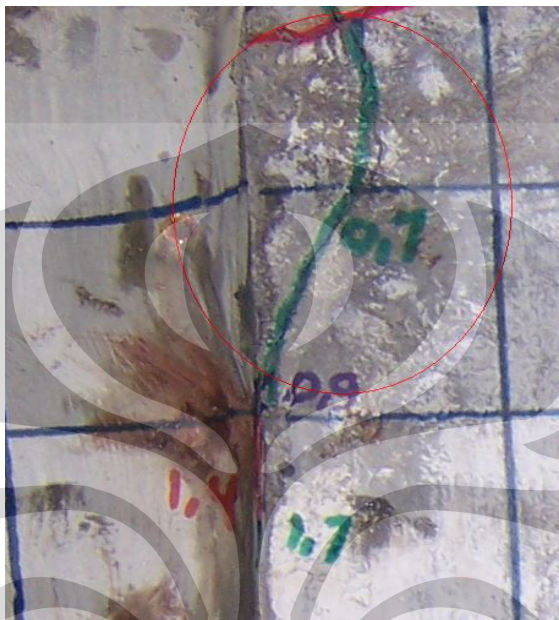


**Gambar 4.35** Retak Diagonal Akibat Geser Pada Panel Pertemuan Balok Kolom M-3.1

Retak baru yang muncul di sepanjang badan balok tidak terlalu besar dikarenakan material perkuatan dapat menahan tarik yang terjadi dan meminimalisasi retak pada badan balok. Pada bagian badan balok yang tidak diberi perkuatan, retak yang terjadi merupakan retak eksisting yang membesar dan menerus mengelilingi bagian atas balok yang mengalami tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada bagian tersebut tidak terdapat material perkuatan sehingga tidak dapat menahan tarik. Namun, secara garis besar struktur mengalami kerusakan akibat lentur yang terjadi tepat pada daerah pertemuan balok kolom dikarenakan retak yang terjadi telah menerus ke daerah perkuatan khususnya daerah tekukan pertemuan balok kolom sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok.(pola retak terlampir)

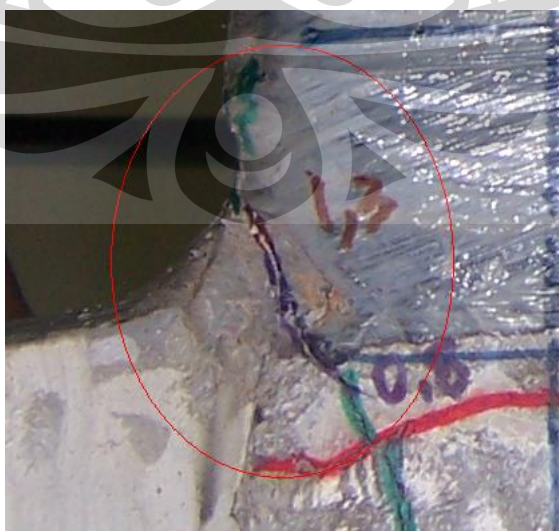
Retak yang terjadi pada benda uji M-3.2 adalah retak lentur. Retak mulai terjadi saat memasuki beban 6 kN yang terjadi pada badan balok. Saat beban terus bertambah, terjadi pelebaran dan perpanjangan retak pada retak eksisting sampai

dengan beban 19,8 kN. Saat memasuki beban 7 kN, timbul retak pada daerah pertemuan balok kolom yang terus memanjang dan melebar sampai beban 19,8 kN. Retak yang terjadi pada daerah ini menandakan dimulainya lepasnya lekatan tulangan longitudinal balok pada daerah joint akibat gaya tarik yang besar seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.36**.



**Gambar 4.36** Retak Pada Sambungan Balok Kolom M-3.2

Pada beban 16 kN, retak menerus ke daerah perkuatan yang terjadi pada daerah tekukan pertemuan balok kolom yang menerus sampai beban 19 kN seperti pada **Gambar 4.37**.



**Gambar 4.37** Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom M-3.2

Pada benda uji M-3.2 ini tidak terjadi pelepasan rekatan perkuatan pada muka kolom dikarenakan adanya ikatan perkuatan ke kolom sehingga gaya tarik yang menyebabkan tercabutnya material perkuatan pada muka kolom dapat ditahan dengan baik. Karena pada beban 16 kN telah terjadi retak pada daerah perkuatan di tumpuan, maka pada beban 17 kN sampai 19,8 kN retak pada daerah perkuatan terus memanjang yang menandakan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok dan menyebabkan retak pada daerah pertemuan balok kolom terus membesar dan memanjang yang menandakan terjadinya keruntuhan struktur akibat lentur pada pembebanan nominal sebesar 19,8 kN.

Selama proses pembebanan sampai dengan beban 19,8 kN, retak yang terjadi pada balok kebanyakan merupakan pelebaran dan pemanjangan retak eksisting. Retak baru yang muncul di sepanjang badan balok tidak terlalu besar dikarenakan material perkuatan dapat menahan tarik yang terjadi dan meminimalisasi retak pada badan balok. Pada bagian badan balok yang tidak diberi perkuatan, retak yang terjadi merupakan retak eksisting yang membesar dan menerus mengelilingi bagian atas balok yang mengalami tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada bagian tersebut tidak terdapat material perkuatan sehingga tidak dapat menahan tarik. Namun, secara garis besar struktur mengalami kerusakan akibat lentur yang terjadi tepat pada daerah pertemuan balok kolom dikarenakan retak yang terjadi telah menerus ke daerah perkuatan khususnya daerah tekukan pertemuan balok kolom yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok. (pola retak terlampir)

#### 4. Benda uji M-4

Retak yang terjadi pada benda uji M-4.1 adalah retak lentur. Retak mulai terjadi saat memasuki beban 6 kN yang terjadi pada daerah pertemuan balok kolom yang merupakan perpanjangan retak eksisting. Saat beban terus bertambah, terjadi pelebaran dan perpanjangan retak pada retak eksisting sampai dengan beban 16,8 kN. Saat memasuki beban 7 kN, retak pada pertemuan balok kolom terus memanjang dan melebar sampai beban 16,8 kN. Pada saat memasuki beban 14 kN, retak menerus ke daerah perkuatan yang terjadi pada daerah tekukan



pertemuan balok kolom yang menerus sampai beban 16,8 kN seperti pada **Gambar 4.38**.

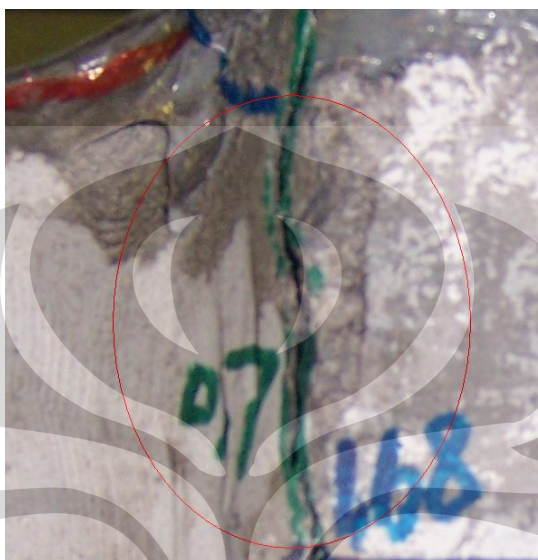


**Gambar 4.38** Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom M-4.1

Pada benda uji M-4.1 ini tidak terjadi pelepasan rekatan perkuatan pada muka kolom dikarenakan adanya ikatan perkuatan ke kolom sehingga gaya tarik yang menyebabkan tercabutnya material perkuatan pada muka kolom dapat ditahan dengan baik. Karena pada beban 14 kN telah terjadi retak pada daerah perkuatan di tumpuan, maka pada beban 15 kN sampai 16,8 kN retak pada daerah perkuatan di tumpuan terus memanjang sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok dan menyebabkan retak pada daerah pertemuan balok kolom terus membesar dan memanjang yang menandakan terjadinya keruntuhan struktur akibat lentur pada pembebanan nominal sebesar 16,8 kN.

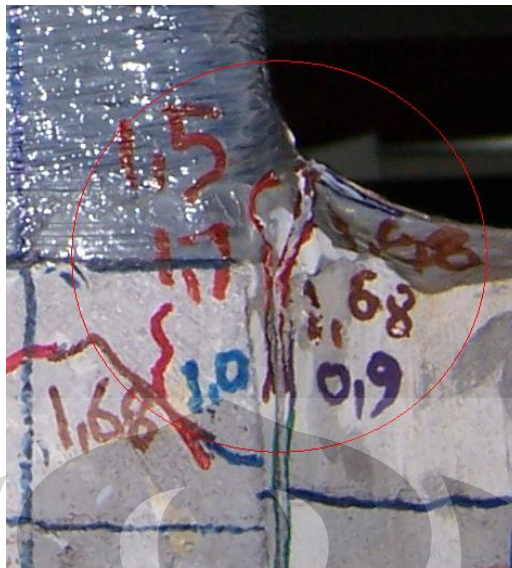
Selama proses pembebanan sampai dengan beban 16,8 kN, retak yang terjadi pada balok kebanyakan merupakan pelebaran dan pemanjangan retak eksisting. Retak baru yang muncul saat mulai memasuki beban 11 kN di sepanjang badan balok tidak terlalu besar dikarenakan material perkuatan dapat menahan tarik yang terjadi dan meminimalisasi retak pada badan balok. Pada bagian yang tidak diberi perkuatan, retak yang terjadi merupakan retak eksisting yang membesar dan menerus mengelilingi bagian atas balok yang mengalami tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada bagian tersebut tidak terdapat material perkuatan sehingga tidak dapat menahan tarik. Namun, secara garis besar struktur mengalami kerusakan akibat lentur yang terjadi tepat pada daerah pertemuan

balok kolom dikarenakan retak yang terjadi telah menerus ke daerah perkuatan di tumpuan yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.39**.(pola retak terlampir)



**Gambar 4.39** Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-4.1

Retak yang terjadi pada benda uji M-4.2 adalah retak lentur. Retak mulai terjadi saat memasuki beban 7 kN yang terjadi pada daerah pertemuan balok kolom. Saat beban terus bertambah, terjadi pelebaran dan perpanjangan retak pada retak eksisting sampai dengan beban 18 kN. Saat memasuki beban 9 kN, retak pada pertemuan balok kolom yang terus memanjang dan melebar sampai beban 18 kN. Pada saat memasuki beban 15 kN, retak menerus ke daerah perkuatan yang terjadi pada daerah tekukan pertemuan balok kolom yang menerus sampai beban 18 kN seperti pada **Gambar 4.40**.



**Gambar 4.40** Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom M-4.2

Pada benda uji M-4.2 ini tidak terjadi pelepasan rekatan perkuatan pada muka kolom dikarenakan adanya ikatan perkuatan ke kolom sehingga gaya tarik yang menyebabkan tercabutnya material perkuatan pada muka kolom dapat ditahan dengan baik. Karena pada beban 15 kN telah terjadi retak pada daerah perkuatan di tumpuan, maka pada beban 16 kN sampai 18 kN retak pada daerah perkuatan di tumpuan terus memanjang yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok dan menyebabkan retak pada daerah pertemuan balok kolom terus membesar dan memanjang yang menandakan terjadinya keruntuhan struktur akibat lentur pada pembebanan nominal sebesar 18 kN.

Selama proses pembebanan sampai dengan beban 18 kN, retak yang terjadi pada balok kebanyakan merupakan pelebaran dan pemanjangan retak eksisting. Retak baru yang muncul saat mulai memasuki beban 10 kN di sepanjang badan balok tidak terlalu besar dikarenakan material perkuatan dapat menahan tarik yang terjadi dan meminimalisasi retak pada badan balok. Pada bagian yang tidak diberi perkuatan, retak yang terjadi merupakan retak eksisting yang membesar dan menerus mengelilingi bagian atas balok yang mengalami tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada bagian tersebut tidak terdapat material perkuatan sehingga tidak dapat menahan tarik. Namun, secara garis besar struktur mengalami kerusakan akibat lentur yang terjadi tepat pada daerah pertemuan balok kolom dikarenakan retak yang terjadi telah menerus ke daerah perkuatan di

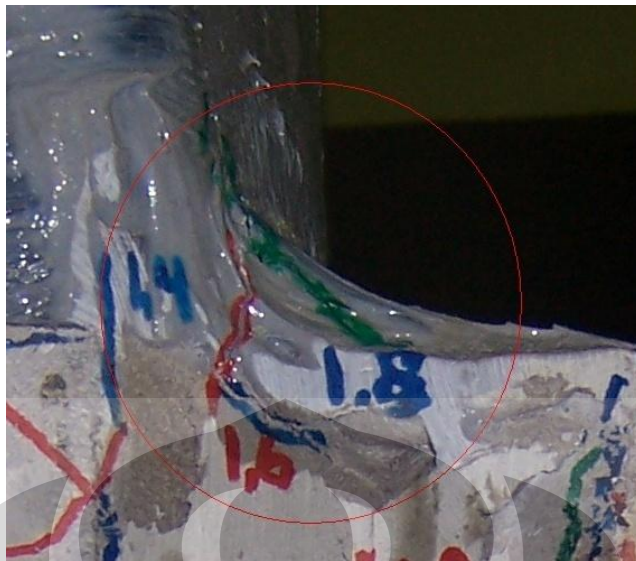
tumpuan yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.41**.(pola retak terlampir)



**Gambar 4.41** Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-4.2

#### 5. Benda uji M-5

Retak yang terjadi pada benda uji M-5.1 adalah retak lentur. Retak mulai terjadi saat memasuki beban 9 kN yang terjadi pada badan balok merupakan perpanjangan retak eksisting. Saat beban terus bertambah, terjadi pelebaran dan perpanjangan retak pada retak eksisting sampai dengan beban 19,20 kN. Saat memasuki beban 10 kN, retak pada pertemuan balok kolom terus memanjang dan melebar sampai beban 19,2 kN. Pada saat memasuki beban 16 kN, retak menerus ke daerah perkuatan yang terjadi pada daerah tekukan pertemuan balok kolom yang menerus sampai beban 19 kN kearah badan balok seperti pada **Gambar 4.42**.

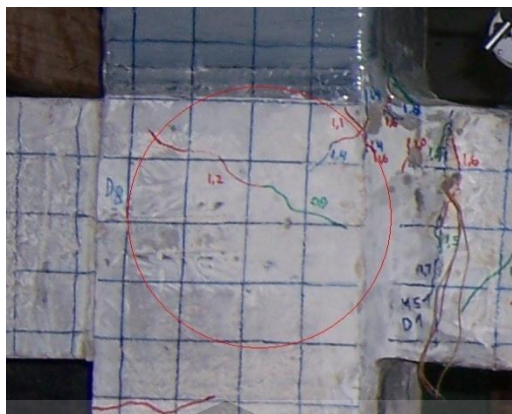


**Gambar 4.42** Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom Dan Menerus Ke Badan Balok M-5.1

Pada benda uji M-5.1 ini tidak terjadi pelepasan rekatan perkuatan pada muka kolom dikarenakan adanya ikatan perkuatan ke kolom sehingga gaya tarik yang menyebabkan tercabutnya material perkuatan pada muka kolom dapat ditahan dengan baik. Karena pada beban 16 kN telah terjadi retak pada daerah perkuatan di tumpuan, maka pada beban 17 kN sampai 19,2 kN retak pada daerah perkuatan di tumpuan terus memanjang yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok dan menyebabkan retak pada daerah pertemuan balok kolom terus membesar dan memanjang yang menandakan terjadinya keruntuhan struktur akibat lentur pada pembebanan nominal sebesar 19,2 kN.

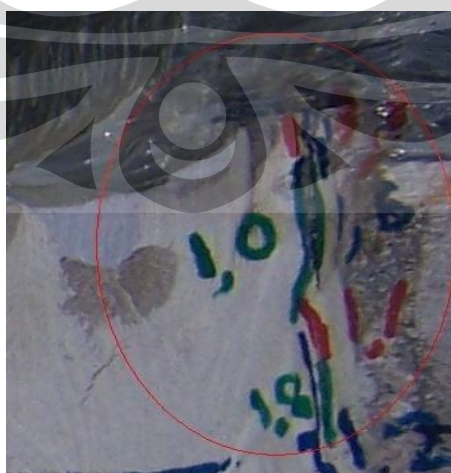
Selama proses pembebanan sampai dengan beban 19,2 kN, retak yang terjadi pada balok kebanyakan merupakan pelebaran dan pemanjangan retak eksisting. Pada daerah panel pertemuan balok kolom terlihat retak diagonal yang menandakan retak akibat geser joint pada pembebanan sebesar 9 kN sampai 12 kN seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.43**.





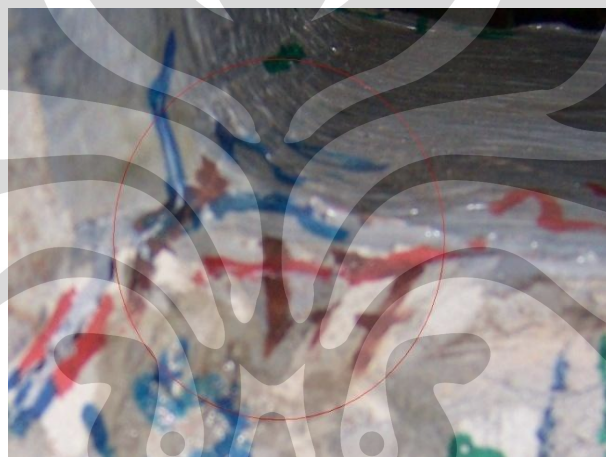
**Gambar 4.43** Retak Diagonal Akibat Geser Pada Panel Pertemuan Balok Kolom M-5.1

Retak baru yang muncul di sepanjang badan balok tidak terlalu besar dikarenakan material perkuatan dapat menahan tarik yang terjadi dan meminimalisasi retak pada badan balok. Pada bagian yang tidak diberi perkuatan, retak yang terjadi merupakan retak eksisting yang membesar dan menerus mengelilingi bagian atas balok yang mengalami tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada bagian tersebut tidak terdapat material perkuatan sehingga tidak dapat menahan tarik. Namun, secara garis besar struktur mengalami kerusakan akibat lentur yang terjadi tepat pada daerah pertemuan balok kolom dikarenakan retak yang terjadi telah menerus ke daerah perkuatan di tumpuan yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.44**. (pola retak terlampir)



**Gambar 4.44** Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom M-5.1

Retak yang terjadi pada benda uji M-5.2 adalah retak lentur. Retak mulai terjadi saat memasuki beban 12 kN yang terjadi pada daerah pertemuan balok kolom dan badan balok. Retak yang terjadi ini menandakan mulai terjadi lepasnya lekatan antara tulangan longitudinal kolom dengan beton. Saat beban terus bertambah, terjadi pelebaran dan perpanjangan retak pada retak eksisting sampai dengan beban 21 kN. Saat memasuki beban 13 kN, retak pada pertemuan balok kolom terus memanjang dan melebar sampai beban 21 kN. Pada saat memasuki beban 17 kN, retak menerus ke daerah perkuatan yang terjadi pada daerah tekukan pertemuan balok kolom yang menerus sampai beban 21 kN seperti pada **Gambar 4.45**.



**Gambar 4.45** Retak Perkuatan Di Daerah Tekukan Balok Kolom M-5.2

Pada benda uji M-5.2 ini tidak terjadi pelepasan rekatan perkuatan pada muka kolom dikarenakan adanya ikatan perkuatan ke kolom sehingga gaya tarik yang menyebabkan tercabutnya material perkuatan pada muka kolom dapat ditahan dengan baik. Karena pada beban 17 kN telah terjadi retak pada daerah perkuatan di tumpuan, maka pada beban 18 kN sampai 21 kN retak pada daerah perkuatan di tumpuan terus memanjang yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok dan menyebabkan retak pada daerah pertemuan balok kolom terus membesar dan memanjang yang menandakan terjadinya keruntuhan struktur akibat lentur pada pembebanan nominal sebesar 21 kN.

Selama proses pembebanan sampai dengan beban 21 kN, retak yang terjadi pada balok kebanyakan merupakan pelebaran dan pemanjangan retak

eksisting. Pada daerah panel pertemuan balok kolom terlihat retak diagonal yang menandakan retak akibat geser joint pada pembebanan sebesar 14 kN sampai 18 kN seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.46**.



**Gambar 4.46** Retak Diagonal Akibat Geser Pada Panel Pertemuan Balok Kolom M-5.2

Retak baru yang muncul saat mulai memasuki beban 12 kN di sepanjang badan balok tidak terlalu besar dikarenakan material perkuatan dapat menahan tarik yang terjadi dan meminimalisasi retak pada badan balok. Pada bagian yang tidak diberi perkuatan, retak yang terjadi merupakan retak eksisting yang membesar dan menerus mengelilingi bagian atas balok yang mengalami tarik. Hal ini terjadi dikarenakan pada bagian tersebut tidak terdapat material perkuatan sehingga tidak dapat menahan tarik. Namun, secara garis besar struktur mengalami kerusakan akibat lentur yang terjadi tepat pada daerah pertemuan balok kolom dikarenakan retak yang terjadi telah menerus ke daerah perkuatan di tumpuan yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada *bonding interface* antara beton dengan *CFRP* balok dan retak lentur juga terjadi pada daerah sambungan antara beton lama dengan material perbaikan seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.47**.(pola retak terlampir)





**Gambar 4.47** Kegagalan Berupa Retak Lentur Pada Daerah Pertemuan Balok Kolom Dan Sambungan Beton Dengan Material Perbaikan M-5.2

Secara keseluruhan, pola retak dan jenis kegagalan benda uji yang terjadi dapat dirangkum dalam **Tabel 4.8 dan 4.9** berikut:

**Tabel 4.8** Pola Retak Benda Uji

Benda Uji	Balok	Kolom	Joint
M-1	Lentur	Lentur	-
M-2.1	Lentur	Lentur	Retak Lentur
M-2.2	Lentur	Lentur	Retak Lentur
M-3.1	Lentur	Lentur	Diagonal Panel
M-3.2	Lentur	Lentur	-
M-4.1	Lentur	Lentur	-
M-4.2	Lentur	Lentur	-
M-5.1	Lentur	Lentur	Diagonal Panel
M-5.2	Lentur	Lentur	Diagonal Panel

**Tabel 4.9** Jenis Kegagalan Benda Uji

Benda Uji	Balok	Kolom	Joint
M-1	-	-	Lentur
M-2.1	-	<i>Bonding Interface</i>	Lentur
M-2.2	-	<i>Bonding Interface</i>	Lentur
M-3.1	<i>Bonding Interface</i>	-	Lentur
M-3.2	<i>Bonding Interface</i>	-	Lentur
M-4.1	<i>Bonding Interface</i>	-	Lentur
M-4.2	<i>Bonding Interface</i>	-	Lentur
M-5.1	<i>Bonding Interface</i>	-	Lentur
M-5.2	<i>Bonding Interface</i>	-	Lentur



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, pengolahan data serta hasil analisa yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbaikan balok dengan injeksi retak dapat mengembalikan kapasitas struktur seperti pada kondisi awal. Hal ini dapat dilihat dari beban nominal yang mampu ditahan oleh struktur setelah diperbaiki.
2. Balok yang diperbaiki dan diperkuat dengan menggunakan lembaran *CFRP* membuat struktur menjadi lebih kaku dari balok beton tanpa perkuatan. Aksi komposit dari beton dengan lembaran *CFRP* sedikit meningkatkan kekakuan struktur. Hal ini dapat dilihat dari grafik beban-lendutan dimana pada lendutan yang sama, beban balok perkuatan lebih besar dari beban balok tanpa perkuatan.
3. Berdasarkan pola retak yang terjadi, tanpa dilakukannya pengikatan lembaran *CFRP* ke kolom, keretakan terjadi pada bonding daerah *interface* vertikal antara beton dengan *CFRP* kolom. Sedangkan, pengikatan lembaran *CFRP* ke kolom menyebabkan keretakan terjadi pada bonding daerah *interface* horizontal antara beton dengan *CFRP* balok.
4. Kondisi ultimit struktur balok ditentukan oleh bonding pada daerah interface antara beton dengan *CFRP*. Hal ini dapat dilihat dari pola keretakan yang ada.
5. Dari keseluruhan percobaan tidak ditemukan adanya kegagalan pada lembaran *CFRP* (*CFRP* tidak mencapai leleh). Dengan demikian, dalam percobaan ini banyaknya jumlah lembaran *CFRP* yang digunakan relatif tidak berpengaruh terhadap kekuatan ultimit dari struktur.
6. Khusus untuk benda uji M-4 menunjukkan peningkatan kapasitas beban yang lebih kecil. Hal ini mungkin dikarenakan kondisi baja tulangan yang telah mengalami korosi yang lebih parah dibanding dengan benda uji lainnya. Perbaikan yang kurang baik mungkin juga menjadi penyebab tidak optimalnya kapasitas kekuatan yang dicapai. Dalam kenyataannya memang terjadi

kebocoran saat dilakukan proses injeksi sehingga material injeksi tidak dapat mengisi celah retak dengan sempurna.

7. Keberhasilan perkuatan struktur sangat ditentukan oleh keberhasilan perbaikan struktur.
8. Lembaran serat karbon dapat dipergunakan untuk perkuatan lentur di daerah tumpuan dengan cara menempelkan serta mengikatkannya ke kolom sebagai pengganti panjang penyaluran.
9. Jenis perkuatan yang optimal dalam percobaan ini adalah tipe 3, yang menggunakan 1 lapis CFRP yang diikat ke kolom, dengan rata-rata peningkatan kapasitas lentur sebesar 62,97%.

## 5.2 Saran

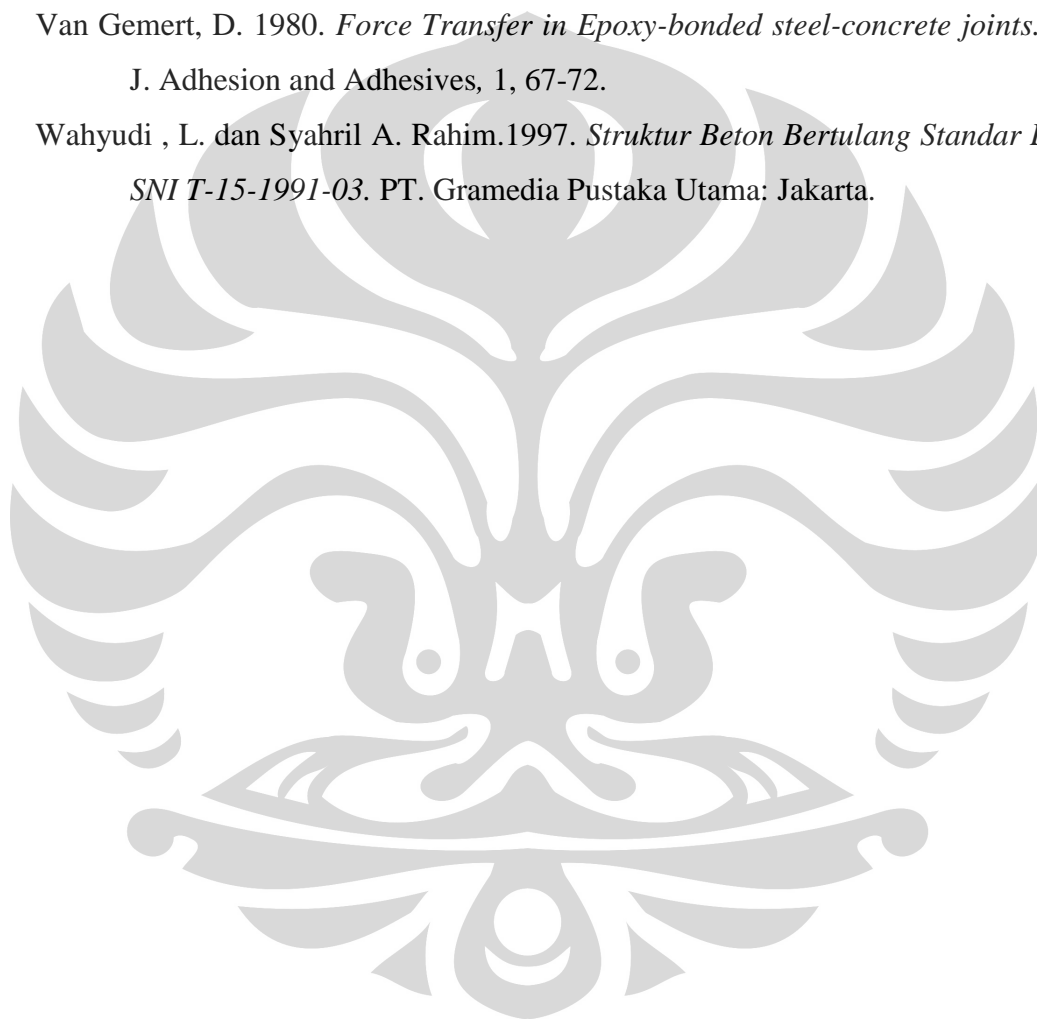
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka untuk penelitian selanjutnya sebaiknya:

1. Pembuatan benda uji dibuat lebih presisi sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat, khususnya perlu dipastikan agar pembebanan yang diberikan tidak menimbulkan efek puntir pada balok.
2. Dalam pengaplikasian material perbaikan serta perkuatan dilakukan proses persiapan dan pelaksanaan eksperimen yang lebih teliti untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, terutama pada proses injeksi dan pemasangan lembaran CFRP ke struktur beton harus dijamin kebersihannya.
3. Perkuatan dilakukan pada daerah *interface* horisontal dengan penambahan pengikatan perkuatan ke sisi tegak balok.
4. Melakukan penelitian lebih lanjut terhadap perkuatan struktur balok T di tumpuan menggunakan lembaran CFRP ini.

## DAFTAR PUSTAKA

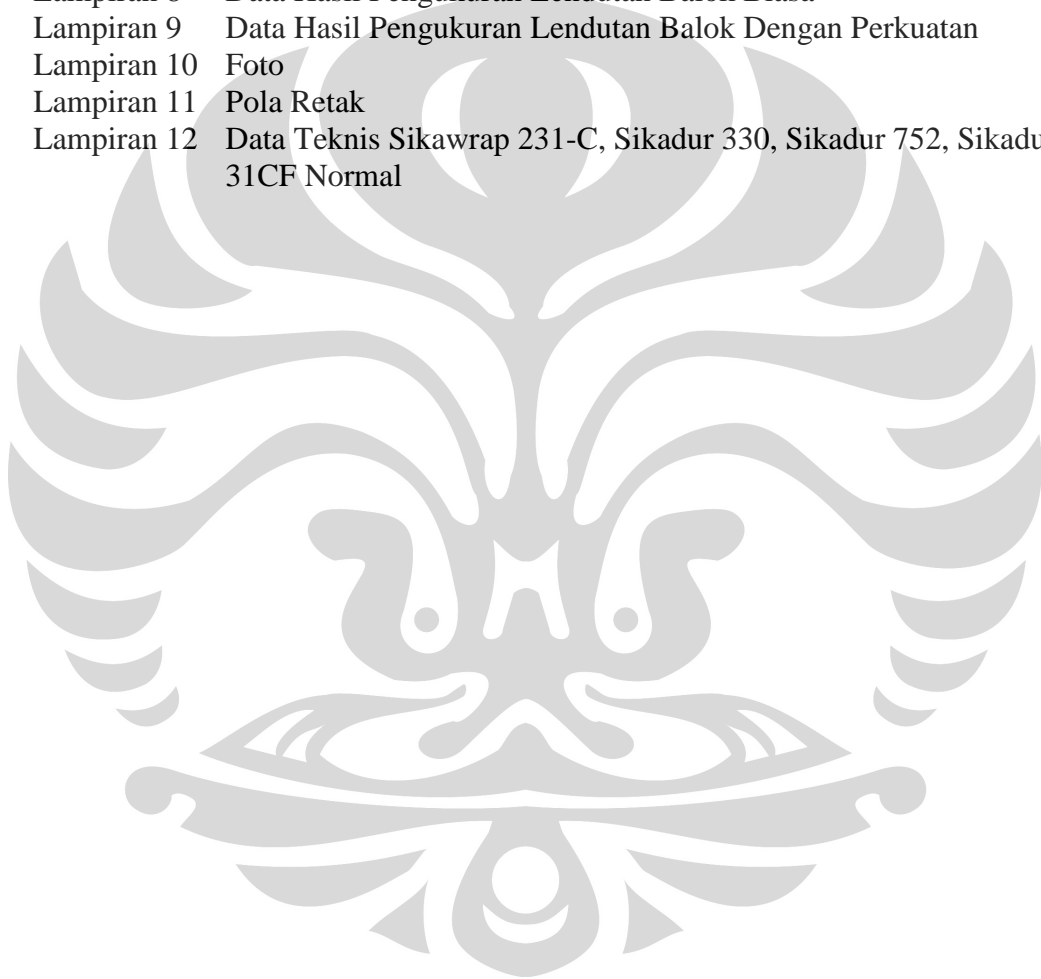
- ACI Committee 440. 2002. *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-02)*. American Concrete Institute.
- Chen, J.F., and Teng, J.G. 2000. *Anchorage Strength Models For FRP and Steel Plates Bonded to Concrete*. Journal of Structural Engineering.
- Chu Kia Wang dan Salmon, Charles.G, 1990. *Reinforced Concrete*.
- Dipohusodo, I. 1996. *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. PT. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta
- E. Tjahjono dan P. Heru. 2004. *Pengaruh Penempatan Penyambungan Pada Perilaku Rangkaian Balok Kolom Beton Pracetak Bagian Sisi Luar*. Makara, Teknologi, vol.8, No.3, Desember 2004: 90-97
- Feldman, D. dan Hartomo, A.J. 1995. *Bahan Polimer Konstruksi Bangunan*, PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, hal.117
- Johanes Januar Sudjati dan A. Triwiyono, April 2003, *Perkuatan Kolom Beton Bertulang Dengan Carbon Fiber Jacket*, Jurnal Teknik Sipil Vol. 3 No.2, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- McCormac, Jack.C. 2000. *Desain Beton Bertulang*. Erlangga: Jakarta.
- Nawy, Edward.G.1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. PT.Eresco: Bandung.
- Nguyen,D.M.,Chan, T.K., dan Cheng, H.K., 2003. *Effects of Plates Length on the Strength of Reinforced Concrete Beams Bonded with CFRP Plates*. <http://www.must.edu.my/tkchan/nguyen1999a.pdf>.
- Pio Ranap Tua Naibaho, 2008. *Panjang Penyaluran Carbon Fibre pada Perkuatan Struktur Balok Beton di Daerah Tumpuan*. Tesis Jurusan Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok.
- Purwanto, Edi, 2001. *Perkuatan Lentur dan Geser Balok Beton Bertulang Pasca bakar dengan Carbon Fiber Strips dan Carbon fiber wrap*, Tesis, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada Yogyakarta.
- Santosa H M, 2000. *Sika Strengthening System*, PT. Sika Nusa Pratama, Semarang.

- SNI, 2002. *Standar Nasional Indonesia*.
- Sudarsana dan Widiarsa (Dosen dan Alumni Universitas Udayana), 2008. *Perilaku Runtuh Balok Beton Bertulang yang diperkuat dengan Lapis GFRP*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol.12, No.1.
- Sukrawa, Pringgana, dan Sudarsana (Universitas Udayana), November 2006, *Perilaku Balok-T Beton Bertulang yang diperkuat dengan Pelat Baja*, Jurnal-HAKI.
- Van Gemert, D. 1980. *Force Transfer in Epoxy-bonded steel-concrete joints*. Int. J. Adhesion and Adhesives, 1, 67-72.
- Wahyudi , L. dan Syahril A. Rahim.1997. *Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03*. PT. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.




## LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Test Tarik Tulangan Lentur
Lampiran 2	Hasil Test Tarik Tulangan Geser
Lampiran 3	Hasil Test Tarik Pelat
Lampiran 4	Hasil Test Tekan
Lampiran 5	Perhitungan Momen <i>Nominal</i> Balok Biasa
Lampiran 6	Perhitungan Momen <i>Nominal</i> Balok Dengan Perkuatan
Lampiran 7	<i>Concrete Mix Design Data</i>
Lampiran 8	Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa
Lampiran 9	Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan
Lampiran 10	Foto
Lampiran 11	Pola Retak
Lampiran 12	Data Teknis Sikawrap 231-C, Sikadur 330, Sikadur 752, Sikadur 31CF Normal



Lampiran 1 Hasil Tes Tarik Tulangan Lentur

		CENTER FOR MATERIAL PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS UNIVERSITAS INDONESIA – DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL <b>LABORATORIUM UJI MATERIAL</b> Kampus Baru UI – Depok 16424 – Indonesia Phone : 021 – 786 49045, 786 3510 Fax : 021 – 787 2350 E-mail : ompfa@metal.ui.ac.id						Lembar Data Pengujian Tarik (Tensile Testing Data Sheet)				
Nama customer	CMPFA	No. Kontrak	636	Tanggal Uji				24 - 6 - 2008				
Mesin Uji	Servopulser Shintadzu Kapasitas 20 ton	Teknisi Penguji	NURDIAN	Paraf Teknisi				<i>[Signature]</i>				
Bahan	BAJA BETON ULIR	Standar/Metode Uji	Z-2201	Tanggal bahan diterima								
Identitas Bahan	ROD $\phi$ 11MM											
No	Kode Sampel	Bentuk Sampel	Dimensi Sampel (mm)	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	Panjang ulir (mm)	Pu (kg)	Py (kg)	$\Delta L$ (mm)	$\sigma_u$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon$ (%)	Ket.
1	BB ULIR $\phi$ 11MM	<input checked="" type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat	11	95,03	88	4525	3300	25,30	47	34	28,75	
2	BB ULIR $\phi$ 11. MM	<input checked="" type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat	11	95,03	88	4600	3400	29,20	48	35	33,18	
3	- 11 -	<input checked="" type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat	11	95,03	88	4525	3300	27,8	47	34	31,59	
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat										
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat										
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat										
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat										

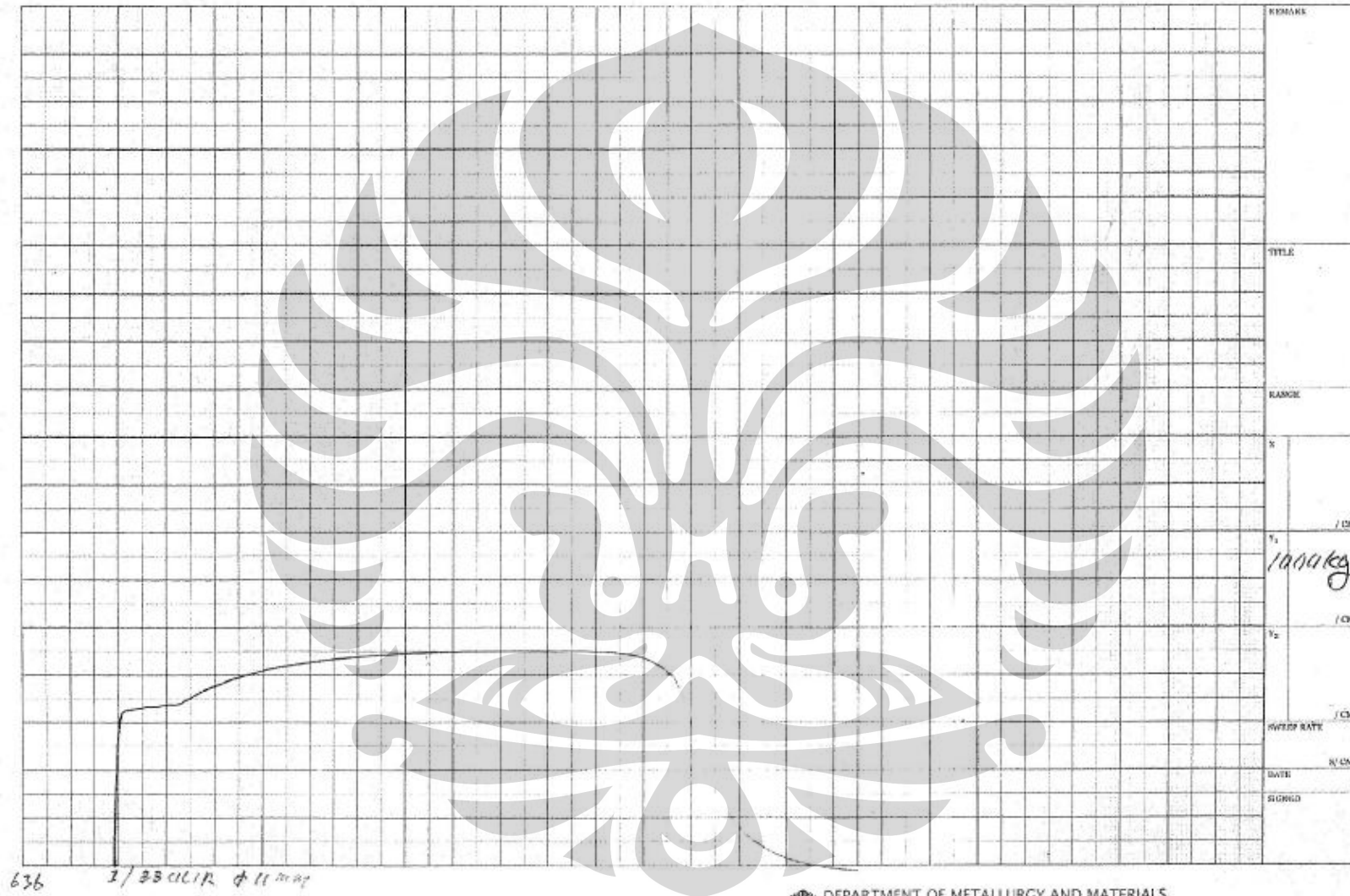
Formulir : FF-32/Met-UI Rev : 0

\* Coret Yang Tidak Perlu

L-1.1

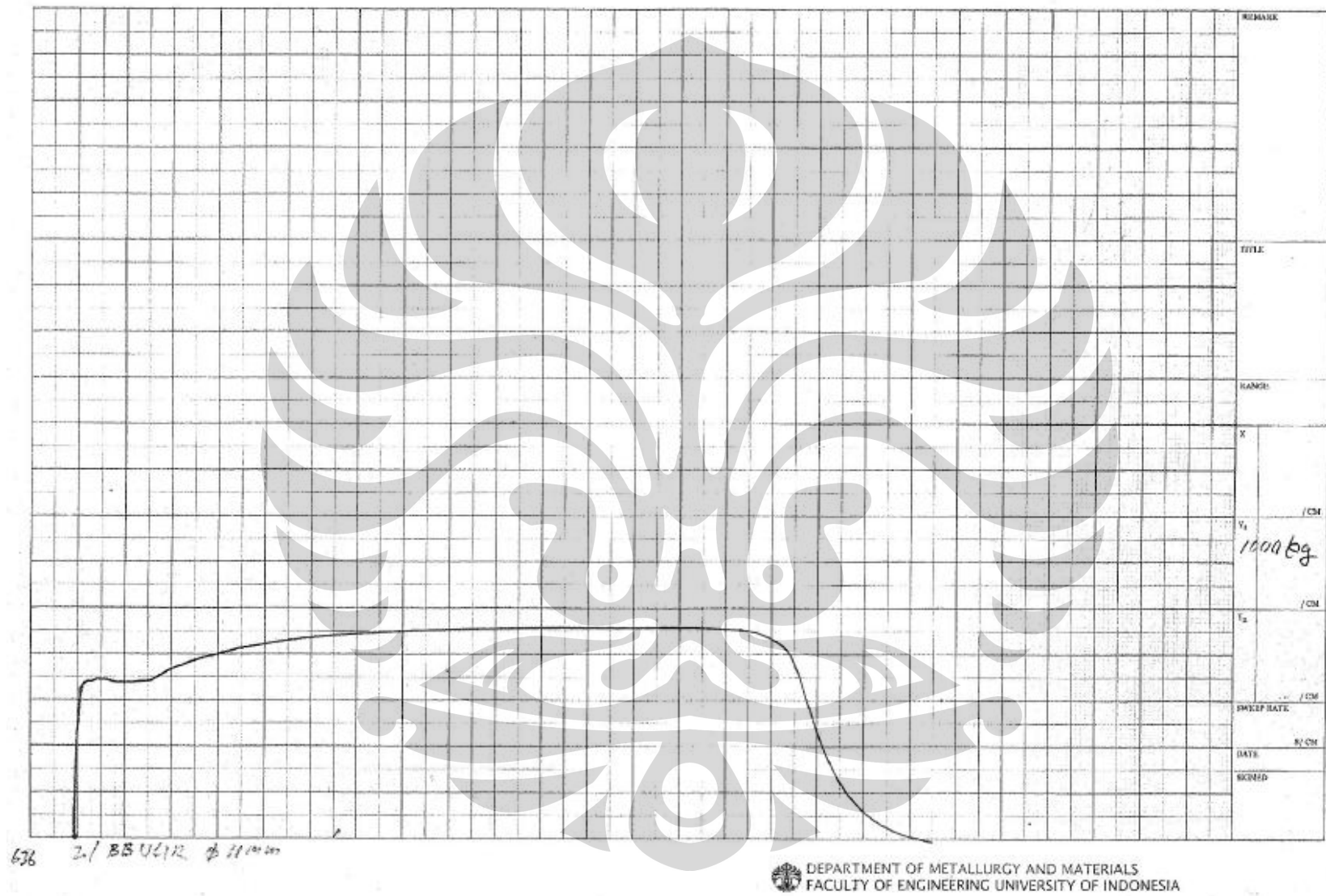


Lampiran 1 Hasil Tes Tarik Tulangan Lentur



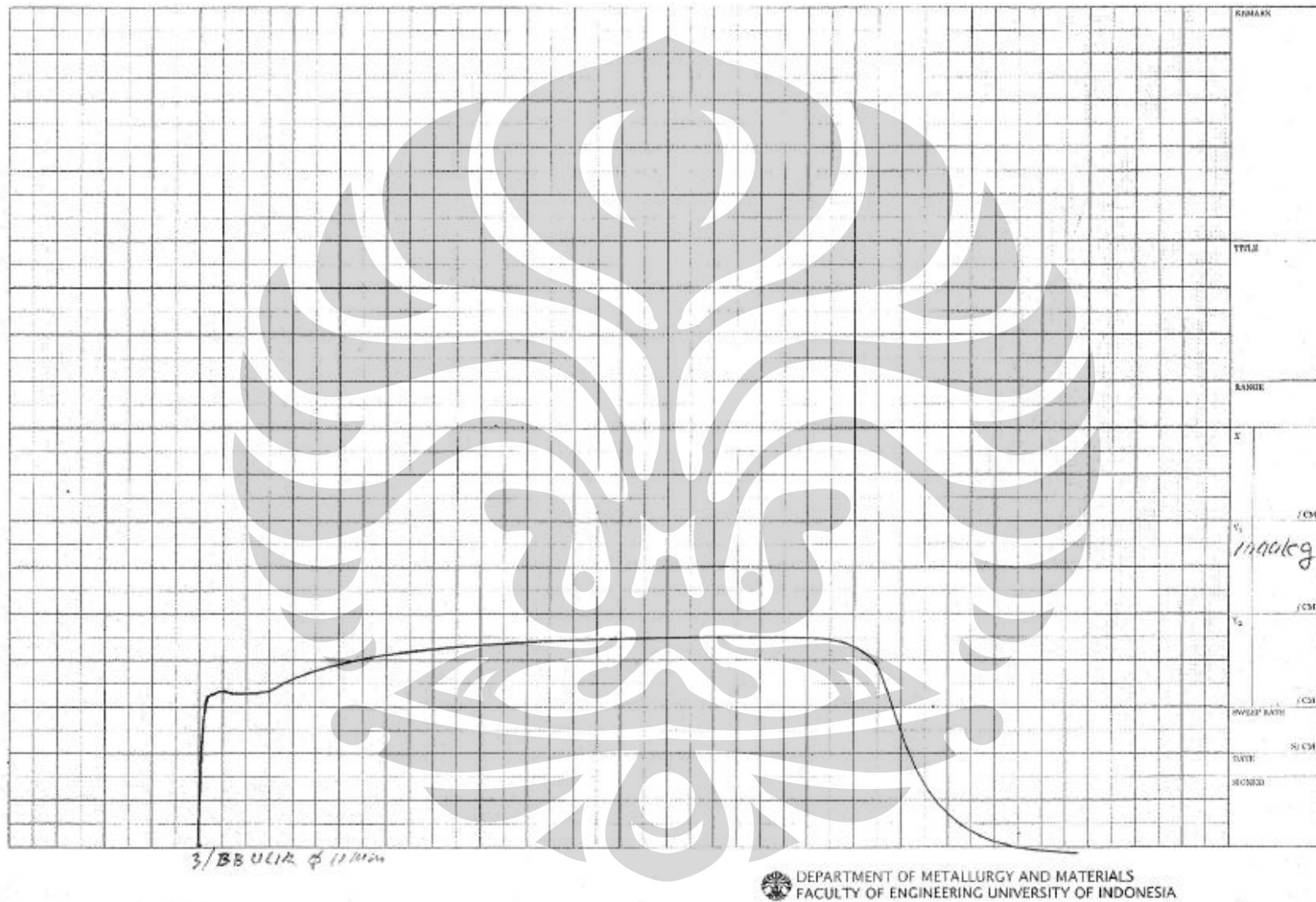
L-1.2

Lampiran 1 Hasil Tes Tarik Tulangan Lentur




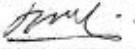
L-1.3

Lampiran 1 Hasil Tes Tarik Tulangan Lentur



L-1.4

Lampiran 2 Hasil Tes Tarik Tulangan Geser

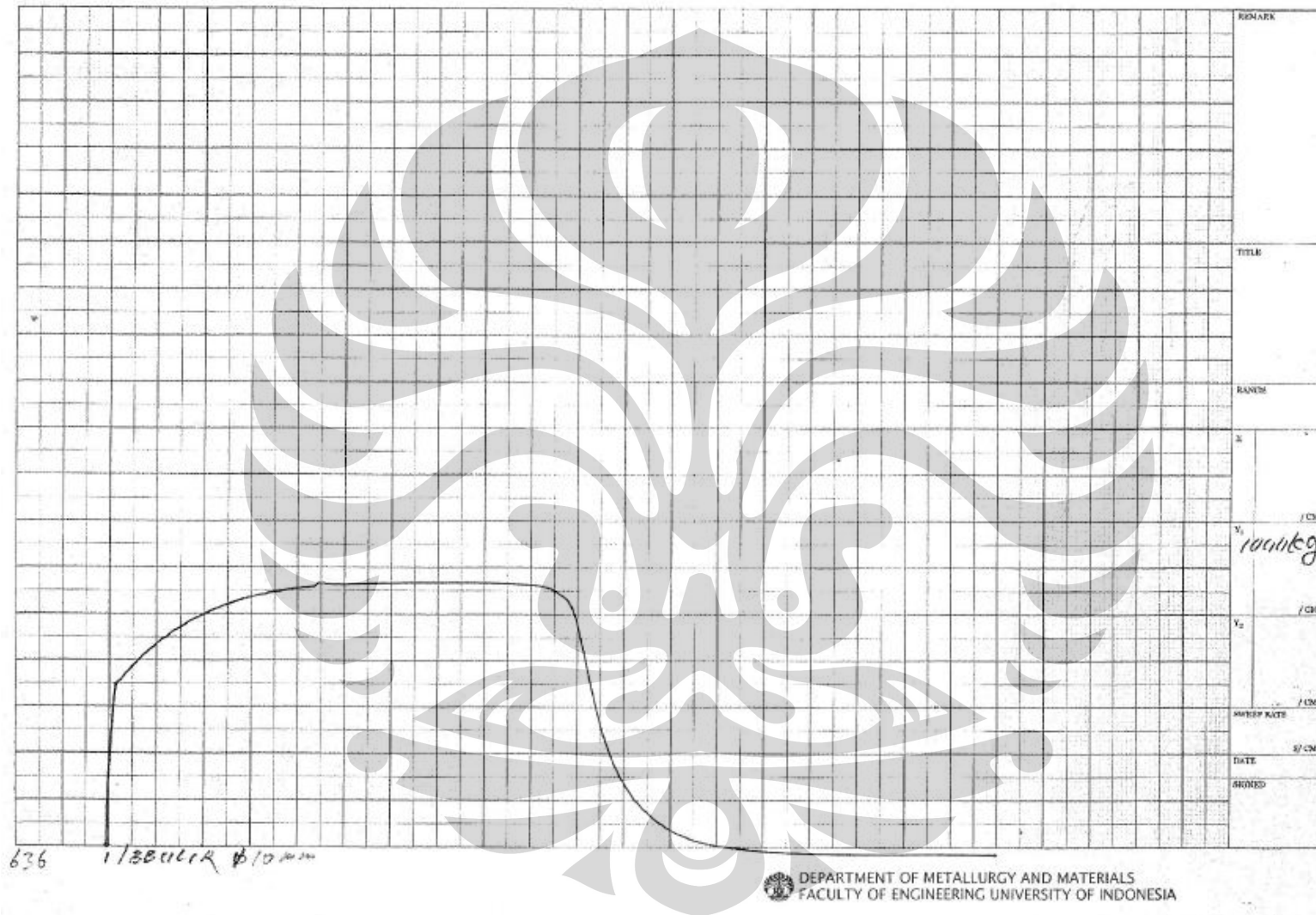
		CENTER FOR MATERIAL PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS UNIVERSITAS INDONESIA - DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL LABORATORIUM UJI MATERIAL Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 787 2350 E-mail : cmpfa@metat.ui.ac.id						Lembar Data Pengujian Tarik (Tensile Testing Data Sheet)				
Nama customer	CMPFA		No. Kontrak	636		Tanggal Uji : 24-6-2008						
Mesin Uji	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 ton		Teknisi Penguji	IKUSIN		Paraf Teknisi : 						
Bahan	BAJA BETON ULIR		Standar/metode Uji	Z.2201		Tanggal bahan diterima :						
Identitas Bahan	Rod $\phi 10$ mm											
No	Kode Sampel	Bentuk Sampel	Dimensi Sampel (mm)	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	Panjang ukur (mm)	Pu (kg)	Py (kg)	AL (mm)	su (kg/mm <sup>2</sup> )	oy (kg/mm <sup>2</sup> )	e (%)	Ket.
	BBULIR $\phi 10$ mm	<input checked="" type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat	10	78,53	80	5700	3550	15,05	72	45	18,81	
	BULIR $\phi 10$ mm	<input checked="" type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat	10	78,53	80	5600	3450	15,10	71	44	18,87	
	BBULIR $\phi 10$ mm	<input checked="" type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat	10	78,53	80	5525	3350	15,10	70	42	18,87	
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat										
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat										
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat										
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input type="checkbox"/> Pelat										

Formulir : FF-32/Met-UI Rev : 0

\* Coret Yang Tidak Perlu

L-2.1

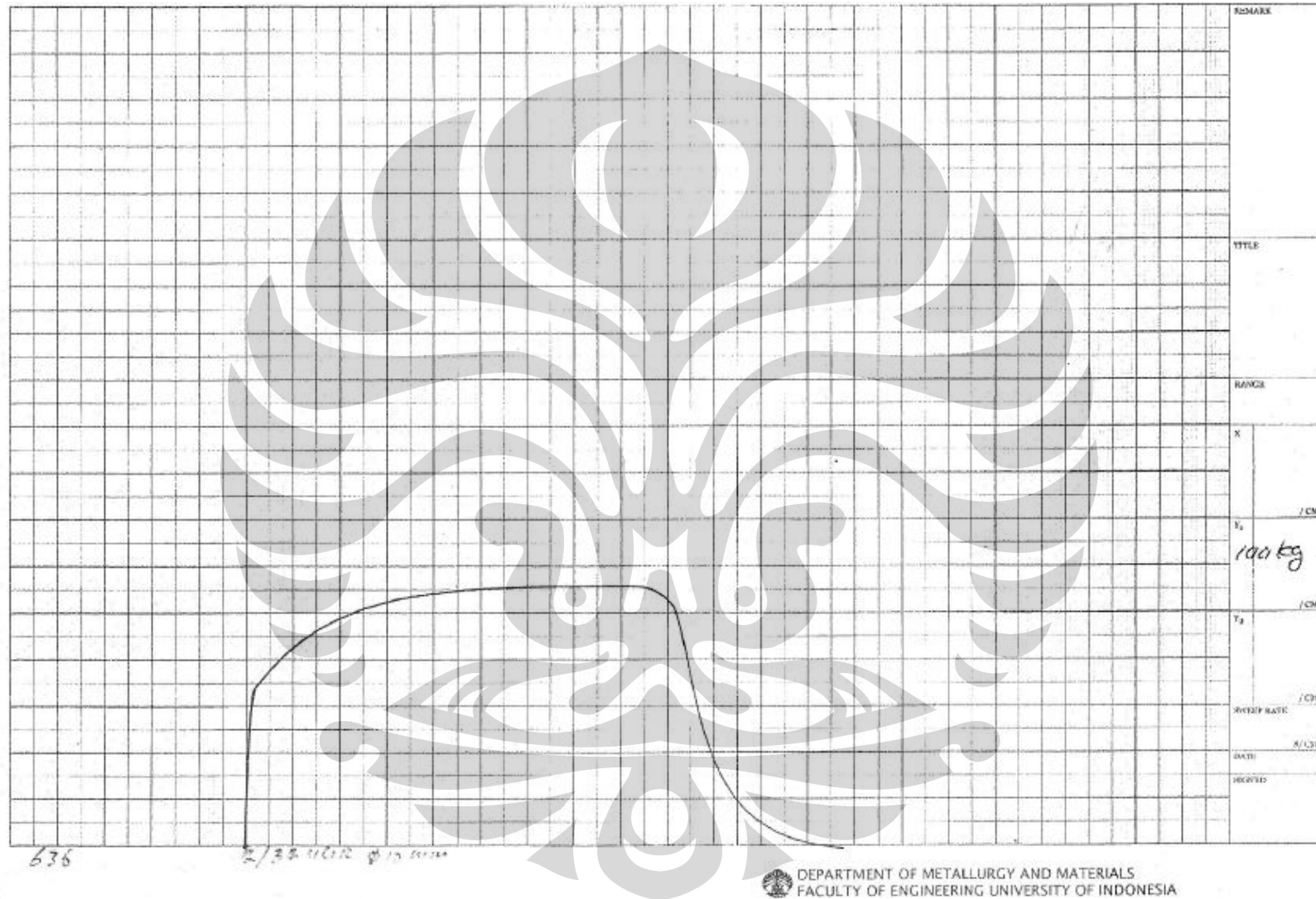
Lampiran 2 Hasil Tes Tarik Tulangan Geser



L-2.2

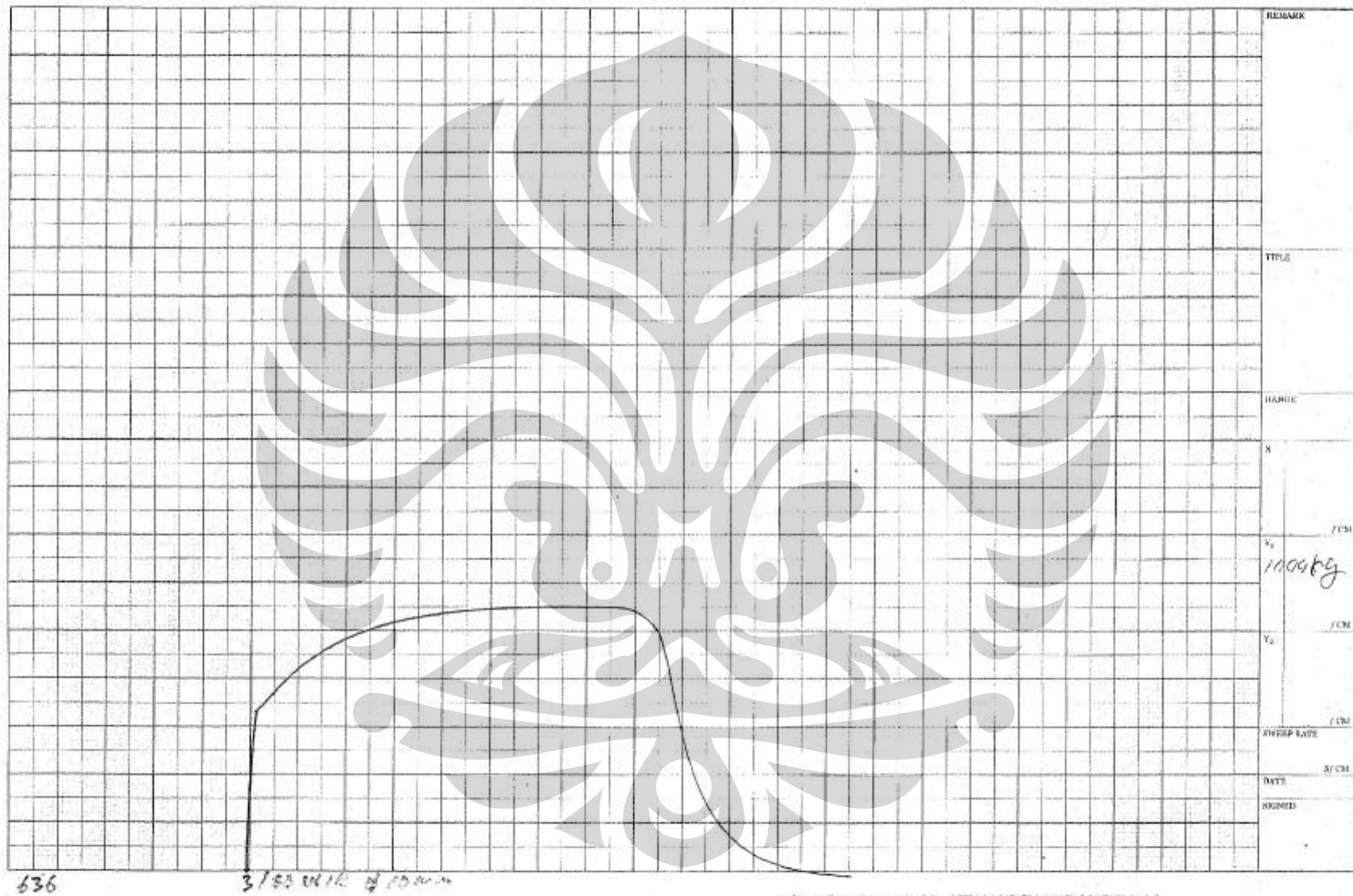


Lampiran 2 Hasil Tes Tarik Tulangan Geser




L-2.3

Lampiran 2 Hasil Tes Tarik Tulangan Geser



DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS  
FACULTY OF ENGINEERING UNIVERSITY OF INDONESIA

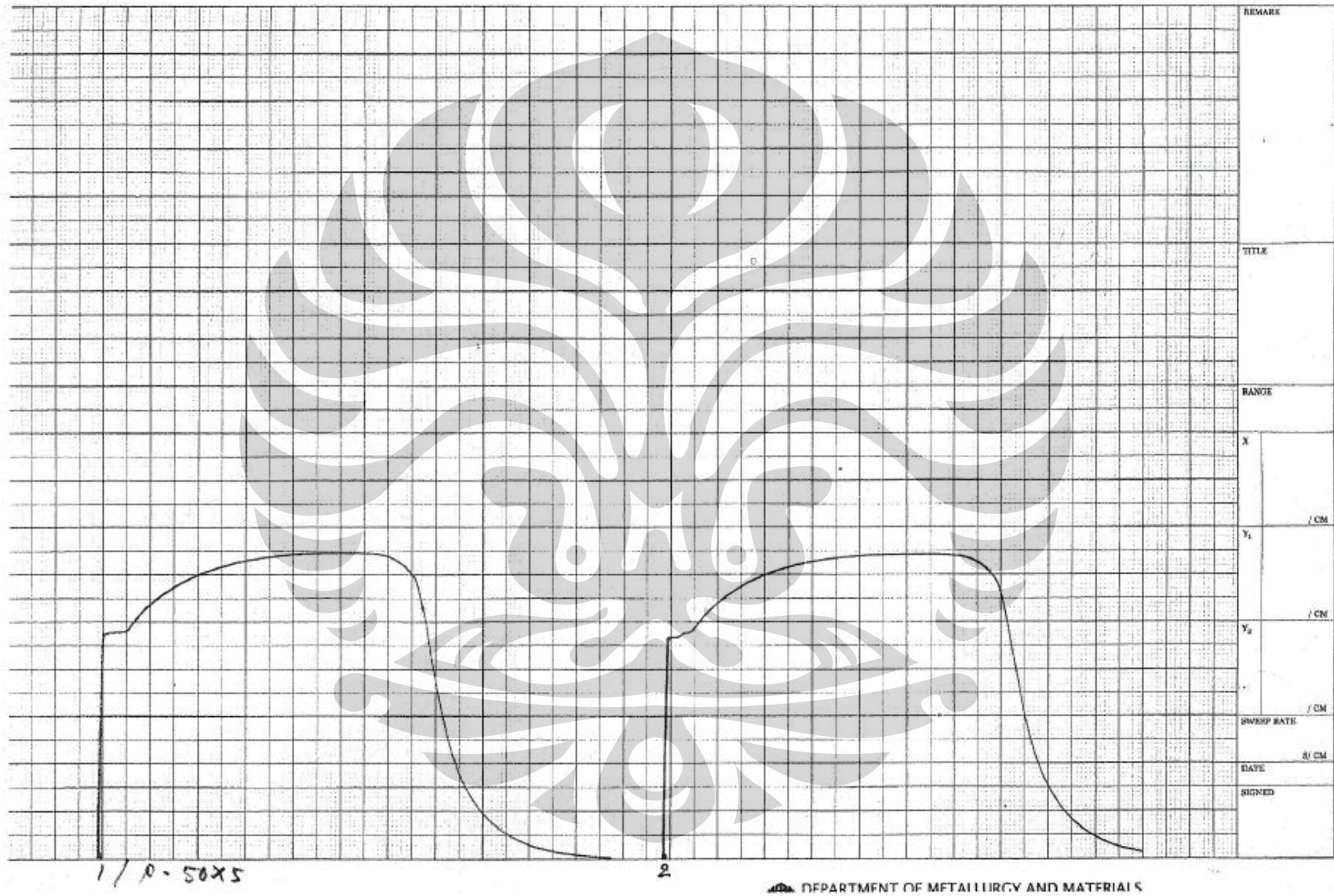
L-2.4

		CENTER FOR MATERIAL PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS UNIVERSITAS INDONESIA – DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL <b>LABORATORIUM UJI MATERIAL</b> Kampus Baru UI – Depok 16424 – Indonesia Phone : 021 – 788 49045, 786 3510 Fax : 021 – 787 2350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id						Lembar Data Pengujian Tarik (Tensile Testing Data Sheet)				
Nama customer	CMPFA	No. Kontrak : 675 LAB BAHAN SIPIL		Tanggal Uji : 8-7-08								
Mesin Uji	Servopulser Shimadzu Kapasitas 20 ton	Teknisi Penguji : NUGGIN		Paraf Teknisi : <i>[Signature]</i>								
Bahan	BAJA	Standar/Metode Uji : Z-2201		Tanggal bahan diterima :								
Identitas Bahan	PLAT P.50X5											
No	Kode Sampel	Bentuk Sampel	Dimensi Sampel (mm)	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	Panjang ulur (mm)	Pu (kg)	Py (kg)	ΔL (mm)	cu (kg/mm <sup>2</sup> )	σy (kg/mm <sup>2</sup> )	ε (%)	Ket.
1	P.50X5	<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input checked="" type="checkbox"/> Pelat	$t=4,90$ $w=12,95$	61,09	50	3250	2400	19,75	53	39	29,50	
2	P.50X5	<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input checked="" type="checkbox"/> Pelat	$t=4,90$ $w=12,95$	61,00	50	3225	2375	19,65	52	38	31,30	
3	P.50X5	<input type="checkbox"/> Rod/Tube <input checked="" type="checkbox"/> Pelat	$t=4,90$ $w=12,50$	61,25	50	3200	2350	12,05	52	38	29,10	
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube										
		<input type="checkbox"/> Pelat										
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube										
		<input type="checkbox"/> Pelat										
		<input type="checkbox"/> Rod/Tube										
		<input type="checkbox"/> Pelat										

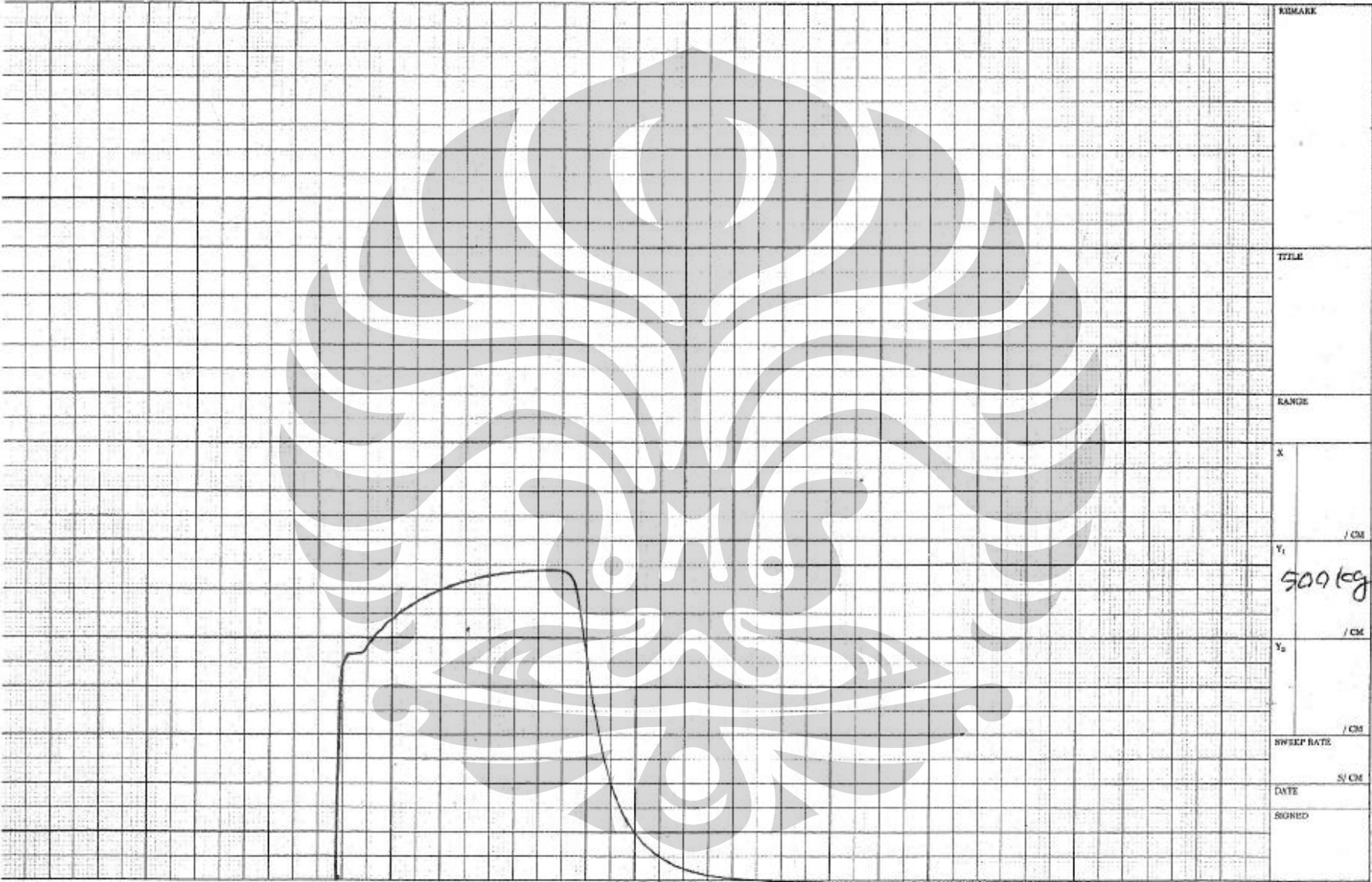
Formulir : FF-32/Met-UI Rev : 0

\* Coret Yang Tidak Perlu





L-3.2



3 / P.50 X 5

DEPARTMENT OF METALLURGY AND MATERIALS

L-3.3

Lampiran 4 Hasil Tes Tekan

NO	TANGGAL		UMUR (hari)	CODE	A (cm <sup>2</sup> )	SLUMP (cm)	BERAT (kg)	w (kg/m <sup>3</sup> )	BEBAN (ton)	TEGANGAN (kg/cm <sup>2</sup> )	fc' (MPa)	KONVERSI S-K	TEGANGAN (kg/cm <sup>2</sup> )	fc' (MPa)	KONVERSI UMUR (PBI)	TEGANGAN (kg/cm <sup>2</sup> )	KONVERSI UMUR (UI)	TEGANGAN (kg/cm <sup>2</sup> )	fc' (MPa)					
	DICOR	DITEST																						
1	11/06/08	21/06/08	10	10-1	176.71	12	12.24	2,295.90	47	265.97		0.83	327.26	33.37	0.749	436.93	0.78	419.56	42.78					
							12.21		49.5	280.11														
							12.17		47.5	268.80														
							12.21			271.62														
							0.04			7.49														
							12.17			264.14	26.93								32.45					
2	22/06/08	11	11-1				12.16	2,292.34	41	232.01			269.31	27.46	0.781	344.82	0.807	333.71	34.03					
							12.19		36	203.72														
							12.16		2294.12	41.5	234.84	23.99												
							12.17				223.52													
							0.02				17.21													
							12.15			206.31	21.04								25.35					
3	08/07/08	27	27-1				12.26	2,291.32	53.5	302.75			382.94	39.05	0.992	366.03	0.994	385.25	39.28					
							12.24		57.5	325.38														
							12.67		57.5	325.38														
							12.39			317.84														
							0.24			13.07														
							12.15			304.77	31.08								37.44					
4	10/07/08	29	29-1				12.28	2,291.70	57.25	323.97			405.66	41.37	1	405.66	1	405.66	41.37					
							12.27		52	294.26														
							12.79		2291.51	69.25	391.87	30.15												
							12.45				336.70													
							0.30				50.04													
							12.15			286.66	29.23								35.22					

L-4.1

**PERHITUNGAN MOMEN NOMINAL BALOK BIASA**

$$b = 175 \text{ mm}$$

$$h = 225 \text{ mm}$$

$$d = 185 \text{ mm}$$

$$d' = 40 \text{ mm}$$

$$f_c' = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 338 \text{ MPa (D 11 - actual)}$$

$$f_y = 418 \text{ MPa (D 10 - actual)}$$

$$q = 0,89 \text{ kN/m}$$

Luas penampang tulangan tekan:

$$A_s' = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 11^2 \cdot 2 = 190,07 \text{ mm}^2$$

Luas penampang tulangan tarik :

$$A_s = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 11^2 \cdot 3 = 285,1 \text{ mm}^2$$

Pemeriksaan rasio tulangan:

$$\rho = \frac{285,1}{225 \times 175} = 0,00724$$

$$\rho' = \frac{190,07}{225 \times 175} = 0,00483$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,00414$$

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = 0,85 \times 0,85 \left( \frac{30}{338} \right) \left( \frac{600}{600 + 338} \right) = 0,041$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b + \rho' = 0,75 \times 0,041 + 0,00483 = 0,03558$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$\Sigma h = 0 \text{ asumsi } f_s' = f_y$$

$$A_s' \cdot f_y + 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y$$

$$190,07 \cdot (338) + 0,85 \cdot (30) \cdot (175) \cdot a = 285,1 \cdot (338)$$

$$a = 7,198 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s' = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} = 0,003 \frac{7,198 - 0,85 \cdot (40)}{7,198} = -0,011$$

## Lampiran 5 Perhitungan Momen *nominal* Balok Biasa

Karena tegangan pada tulangan tekan berharga negatif, maka asumsi diatas bahwa  $f_s' = f_y$  tidak dapat diterapkan. Harga sesungguhnya dari lengan momen harus ditentukan berdasarkan persamaan kuadrat berikut:

$$C_s = A_s' \cdot 600 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot (40)}{a} = 114.042 \cdot \frac{a - 34}{a} = 114.042 - \frac{3.877.428}{a}$$

$$C_s = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot (30) \cdot (a) \cdot (175) = 4462,5a$$

$$114.042 - \frac{3.877.428}{a} = 4462,5a$$

$$4.462,5a^2 - 114.042a + 3.877.428 = 0$$

$$a = 12,77 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} = 0,003 \frac{12,77 - 0,85 \cdot (40)}{12,77} = -0,0049$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s'$$

Karena  $\varepsilon_s'$  negatif, maka  $f_s' < 0$  diambil  $f_s' = 0$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{285,1 \cdot (338)}{0,85 \cdot (30) \cdot (175)} = 21,59 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} = 0,003 \frac{0,85 \cdot (185) - 21,59}{21,59} = 0,01885$$

$$\frac{f_y}{E_s} = \frac{338}{200.000} = 0,00169$$

Maka, tulangan tarik  $f_s = f_y$

$$M_n = A_s \cdot f_y (d - 0,5a) = 285,1 \cdot (338) \cdot (225 - 0,5 \cdot (21,59)) = 20,64 \text{ kNm}$$

$$P_n = \frac{M_n}{L} - 0,5qL = \frac{20,64}{1,5} - 0,5 \cdot (0,89) \cdot (1,5) = 13,1 \text{ kN}$$

**PERHITUNGAN MOMEN NOMINAL BALOK PERKUATAN**

$b = 175 \text{ mm}$

$h = 225 \text{ mm}$

$d = 185 \text{ mm}$

$d' = 40 \text{ mm}$

$f_c' = 30 \text{ MPa}$

$f_y = 338 \text{ MPa (D 11 - actual)}$

$f_y = 418 \text{ MPa (D 10 - actual)}$

$q = 0,89 \text{ kN/m}$

$f_y f = 4900 \text{ N/mm}^2 = 4900 \text{ MPa}$

$t_f = 0,127 \text{ mm}$

$b_f = 150 \text{ mm}$

Luas penampang tulangan tekan:

$A_s' = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 11^2 \cdot 2 = 190,07 \text{ mm}^2$

Luas penampang tulangan tarik :

$A_s = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 11^2 \cdot 3 = 285,1 \text{ mm}^2$

**Perkuatan 1 lapis Sikawrap 231-C**

$A_{sf} = 150 (0,127) = 19,05 \text{ mm}^2$

Total  $A_s = 285,1 + 19,05 = 304,15 \text{ mm}^2$

Pemeriksaan rasio tulangan:

$\rho = \frac{304,15}{225 \times 175} = 0,007724$

$\rho' = \frac{190,07}{225 \times 175} = 0,00483$

$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,00414$

$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$

$\rho_b = 0,85 \times 0,85 \left( \frac{30}{338} \right) \left( \frac{600}{600 + 338} \right) = 0,041$

$\rho_{max} = 0,75 \rho_b + \rho' = 0,75 \times 0,041 + 0,00483 = 0,03558$

$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

## Lampiran 6 Perhitungan Momen *nominal* Balok Dengan Perkuatan

$\Sigma h = 0$  asumsi  $f_s' = f_y$

$$As' \cdot f_y + 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = As \cdot f_y + Asf \cdot f_y f$$

$$190,07 \cdot (338) + 0,85 \cdot (30) \cdot (175) \cdot a = 285,1 \cdot (338) + 19,05 \cdot (4900)$$

$$a = 28,11 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} = 0,003 \frac{28,11 - 0,85 \cdot (40)}{28,11} = -0,00063$$

Karena tegangan pada tulangan tekan berharga negatif, maka asumsi diatas bahwa  $f_s' = f_y$  tidak dapat diterapkan. Harga sesungguhnya dari lengan momen harus ditentukan berdasarkan persamaan kuadrat berikut:

$$Cs = As' \cdot 600 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot (40)}{a} = 114.042 \cdot \frac{a - 34}{a} = 114.042 - \frac{3.877.428}{a}$$

$$Cs = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot (30) \cdot (a) \cdot (175) = 4462,5a$$

$$114.042 - \frac{3.877.428}{a} = 4462,5a$$

$$4.462,5a^2 - 114.042a + 3.877.428 = 0$$

$$a = 12,77 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} = 0,003 \frac{12,77 - 0,85 \cdot (40)}{12,77} = -0,0049$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s'$$

Karena  $\varepsilon_s'$  negatif, maka  $f_s' < 0$  diambil  $f_s' = 0$

$$a = \frac{As \cdot f_y + Asf \cdot f_y f}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{285,1 \cdot (338) + 19,05 \cdot (4900)}{0,85 \cdot (30) \cdot (175)} = 42,52 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} = 0,003 \frac{0,85 \cdot (185) - 42,52}{42,52} = 0,008$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{338}{200.000} = 0,00169, \quad \varepsilon_s > \varepsilon_y$$

Maka, tulangan tarik  $f_s = f_y$

$$M_n = As \cdot f_y \cdot (d - 0,5a) + \psi \cdot Asf \cdot f_y f \cdot (h - 0,5a)$$

$$M_n = 285,1 \cdot (338) \cdot (185 - 0,5 \cdot 42,52) + 0,85 \cdot (19,05) \cdot (4900) \cdot (225 - 0,5 \cdot 42,52)$$

$$M_n = 31,94 \text{ kNm}$$

$$P_n = \frac{M_n}{L} - 0,5qL = \frac{31,94}{1,5} - 0,5 \cdot (0,89) \cdot (1,5) = 20,63 \text{ kN}$$

### Perkuatan 2 lapis Sikawrap 231-C



Lampiran 6 Perhitungan Momen *nominal* Balok Dengan Perkuatan

$$As_f = 150 (0,127)(2) = 38,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{Total } As = 285,1 + 38,1 = 323,2 \text{ mm}^2$$

Pemeriksaan rasio tulangan:

$$\rho = \frac{323,2}{225 \times 175} = 0,0082$$

$$\rho' = \frac{190,07}{225 \times 175} = 0,00483$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,00414$$

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = 0,85 \times 0,85 \left( \frac{30}{338} \right) \left( \frac{600}{600 + 338} \right) = 0,041$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b + \rho' = 0,75 \times 0,041 + 0,00483 = 0,03558$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$\Sigma h = 0 \text{ asumsi } f_s' = f_y$$

$$As' \cdot f_y + 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = As \cdot f_y + As_f \cdot f_y$$

$$190,07 \cdot (338) + 0,85 \cdot (30) \cdot (175) \cdot a = 285,1 \cdot (338) + 38,1 \cdot (4900)$$

$$a = 49,03 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} = 0,003 \frac{49,03 - 0,85 \cdot (40)}{49,03} = 0,00092$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{338}{200.000} = 0,00169, \quad \varepsilon_s' < \varepsilon_y$$

Maka baja tulangan tidak leleh sehingga harga sesungguhnya dari lengan momen harus ditentukan berdasarkan persamaan kuadrat berikut:

$$a = \frac{285,1 \cdot (338) + 38,1 \cdot (4900) - 190,07 \cdot f_s'}{0,85 \cdot (175) \cdot (30)}$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot (40)}{a} \cdot (200.000) = 600 \cdot \left( 1 - \frac{34}{a} \right)$$

$$a = \frac{283.053,8 - 114.042 \left( 1 - \frac{34}{a} \right)}{4.462,5}$$

$$4.462,5a^2 - 169.011,8a - 3.877.428 = 0$$

$$a = 53,97 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \cdot \left( 1 - \frac{34}{a} \right) = 222 \text{ MPa}$$



Lampiran 6 Perhitungan Momen *nominal* Balok Dengan Perkuatan

$$\varepsilon_s = 0,003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} = 0,003 \frac{0,85 \cdot (185) - 53,97}{53,97} = 0,0057$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{338}{200.000} = 0,00169, \quad \varepsilon_s > \varepsilon_y$$

Maka, tulangan tarik  $f_s = f_y$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5a) + \psi \cdot A_s f \cdot f_y f \cdot (h - 0,5a) - A_s' \cdot f_s' \cdot (d' - 0,5a)$$

$$M_n = 285,1 \cdot (338) \cdot (185 - 0,5 \cdot 53,97) + 0,85 \cdot (38,1) \cdot (4900) \cdot (225 - 0,5 \cdot 53,97) - 190,07 \cdot (222) \cdot (40 - 0,5 \cdot (53,97))$$

$$M_n = 46,1 \text{ kNm}$$

$$P_n = \frac{M_n}{L} - 0,5qL = \frac{46,1}{1,5} - 0,5 \cdot (0,89) \cdot (1,5) = 30,06 \text{ kN}$$

**Perkuatan 3 lapis Sikawrap 231-C**

$$A_{sf} = 150 (0,127)(3) = 57,15 \text{ mm}^2$$

$$\text{Total } A_s = 285,1 + 57,15 = 342,25 \text{ mm}^2$$

Pemeriksaan rasio tulangan:

$$\rho = \frac{342,25}{225 \times 175} = 0,0087$$

$$\rho' = \frac{190,07}{225 \times 175} = 0,00483$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,00414$$

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = 0,85 \times 0,85 \left( \frac{30}{338} \right) \left( \frac{600}{600 + 338} \right) = 0,041$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b + \rho' = 0,75 \times 0,041 + 0,00483 = 0,03558$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$\Sigma h = 0 \text{ asumsi } f_s' = f_y$$

$$A_s' \cdot f_y + 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y + A_s f \cdot f_y f$$

$$190,07 \cdot (338) + 0,85 \cdot (30) \cdot (175) \cdot a = 285,1 \cdot (338) + 57,15 \cdot (4900)$$

$$a = 69,95 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} = 0,003 \frac{69,95 - 0,85 \cdot (40)}{69,95} = 0,0015$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{338}{200.000} = 0,00169, \quad \varepsilon_s' < \varepsilon_y$$

Lampiran 6 Perhitungan Momen *nominal* Balok Dengan Perkuatan

Maka baja tulangan tidak leleh sehingga harga sesungguhnya dari lengan momen harus ditentukan berdasarkan persamaan kuadrat berikut:

$$a = \frac{285,1 \cdot (338) + 57,15 \cdot (4900) - 190,07 \cdot f_s'}{0,85 \cdot (175) \cdot (30)}$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot (40)}{a} \cdot (200.000) = 600 \cdot \left(1 - \frac{34}{a}\right)$$

$$a = \frac{376.398,8 - 114.042 \left(1 - \frac{34}{a}\right)}{4.462,5}$$

$$4.462,5a^2 - 262.356,8a - 3.877.428 = 0$$

$$a = 71,03 \text{ mm}$$

$$f_s' = 600 \cdot \left(1 - \frac{34}{a}\right) = 312,8 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} = 0,003 \frac{0,85 \cdot (185) - 71,03}{71,03} = 0,0036$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{338}{200.000} = 0,00169, \quad \varepsilon_s > \varepsilon_y$$

Maka, tulangan tarik  $f_s = f_y$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5a) + \psi \cdot A_s f \cdot f_y f \cdot (h - 0,5a) - A_s' \cdot f_s' \cdot (d' - 0,5a)$$

$$M_n = 285,1 \cdot (338) \cdot (185 - 0,5 \cdot 71,03) + 0,85 \cdot (57,15) \cdot (4900) \cdot (225 - 0,5 \cdot 71,03) - 190,07 \cdot (312,8) \cdot (40 - 0,5 \cdot 71,03)$$

$$M_n = 59,24 \text{ kNm}$$

$$P_n = \frac{M_n}{L} - 0,5qL = \frac{59,24}{1,5} - 0,5 \cdot (0,89) \cdot (1,5) = 38,8 \text{ kN}$$

Lampiran 7 Concrete Mix Design Data



CONCRETE MIX DESIGN DATA			
No: 0095 - CD301 / LAB / 06 / 08			
PROJECT :	PENELITIAN		
CONTRACTOR :	Bp. PIO		
SPECIFICATION :	CLASS OF CONCRETE : Fc 30 Minimum compressive strength 30 Mpa when tested at the age of 28 days using 15 x 30 cm cylinder samples. Slump on site : 12 ± 2 cm , Maximum size of coarse aggregate 25 mm.		
<b>MATERIAL</b>			
FINE AGGREGATE	Natural sand ex Bangka Crushed dust ex Rumpin	SP.GRAVITY SSD	2.58 2.56
COARSE AGGREGATE	Crushed stone ex Rumpin	SSD	2.60
CEMENT FLYASH	Tigaroda Brand ex PT Indocement Ordinary Portland Cement Type I PT. Wahana Pozzolanik		3.15 2.10
WATER	Potable		1.00
ADDITIVES	Pozzolith 100 Ri	1.13 Ltr / m <sup>3</sup>	1.06
<b>DESIGN CALCULATION</b>			
Water cement ratio	0.47		
Free water required	196	kg/m <sup>3</sup>	196 dm <sup>3</sup>
Cement	378	kg/m <sup>3</sup>	120 dm <sup>3</sup>
Fly ash	42	kg/m <sup>3</sup>	20 dm <sup>3</sup>
Additives	1.13	kg/m <sup>3</sup>	1.07 dm <sup>3</sup>
PASTE VOLUME			337 dm <sup>3</sup>
AGGREGATE VOLUME			663 dm <sup>3</sup>
Fine aggregate 1 (SSD)	0.29	663 x	2.58
Fine aggregate 2 (SSD)	0.13	663 x	2.56
Coarse aggregate (SSD)	0.58	663 x	2.60
			503 kg 214 kg 1,000 kg
Prepared by : 	Jakarta 11 Juni 2008 Approved by :  Plant Manager / Supervisor		

PT. ADHIMIX PRECAST INDONESIA

Graha Arugerah Lt. 3, J. Raya Pasar Minggu No 17A Pancoran, Jakarta 12760 Tel. (021) 7210086, Fax. (021) 7288659 Web site : www.adhimir.co.id, E-mail : info@adhimir.co.id

**DATA HASIL PENGUKURAN LENDUTAN BALOK BIASA**

<b>MODEL-1</b>											
<b>PEMBACAAN DIAL</b>						<b>DATA LENDUTAN</b>					
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)
0	23.00	12.00	13.00	7.00	18.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	22.44	11.67	12.95	6.93	18.18	2	0.56	0.33	0.05	0.07	-0.18
3	21.55	11.20	12.85	6.84	18.19	3	1.45	0.80	0.15	0.16	-0.19
4	20.65	10.65	12.74	6.75	18.27	4	2.35	1.35	0.26	0.25	-0.27
5	19.16	9.85	12.60	6.63	18.34	5	3.84	2.15	0.40	0.37	-0.34
6	17.80	9.10	12.50	6.54	18.42	6	5.20	2.90	0.50	0.46	-0.42
7	16.50	8.35	12.40	6.44	18.50	7	6.50	3.65	0.60	0.56	-0.50
8	14.90	7.55	12.29	6.34	18.58	8	8.10	4.45	0.71	0.66	-0.58
9	13.35	6.72	12.15	6.25	18.72	9	9.65	5.28	0.85	0.75	-0.72
10	11.60	5.80	12.02	6.12	18.85	10	11.40	6.20	0.98	0.88	-0.85
11	9.70	4.83	11.85	6.01	18.97	11	13.30	7.17	1.15	0.99	-0.97
12	8.15	3.90	11.70	5.89	19.08	12	14.85	8.10	1.30	1.11	-1.08
13	6.20	2.15	11.55	5.75	19.19	13	16.80	9.85	1.45	1.25	-1.19
14	4.30	1.10	11.40	5.64	19.30	14	18.70	10.90	1.60	1.36	-1.30
15	2.20	0.01	11.20	5.55	19.45	15	20.80	11.99	1.80	1.45	-1.45

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-1</b>									
<b>FAKTOR KOREKSI</b>				<b>LENDUTAN TERKOREKSI</b>				<b>MODEL-1</b>	
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>MOMEN</b> (kNm)	<b>ROTASI</b> (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
2	0.55	0.33	0.08	2	0.01	0.00	-0.03	3.00	4.32E-05
3	0.77	0.47	0.12	3	0.68	0.33	0.03	4.50	4.57E-04
4	1.14	0.70	0.17	4	1.21	0.65	0.09	6.00	8.71E-04
5	1.55	0.95	0.23	5	2.29	1.20	0.17	7.50	1.59E-03
6	1.93	1.18	0.29	6	3.27	1.72	0.21	9.00	2.33E-03
7	2.32	1.42	0.35	7	4.18	2.23	0.25	10.50	3.05E-03
8	2.72	1.66	0.41	8	5.38	2.79	0.30	12.00	3.83E-03
9	3.22	1.97	0.48	9	6.43	3.31	0.37	13.50	4.54E-03
10	3.79	2.31	0.57	10	7.61	3.89	0.41	15.00	5.35E-03
11	4.29	2.62	0.65	11	9.01	4.55	0.50	16.50	6.22E-03
12	4.80	2.93	0.72	12	10.05	5.17	0.58	18.00	7.07E-03
13	5.34	3.26	0.80	13	11.46	6.59	0.65	19.50	9.14E-03
14	5.83	3.56	0.88	14	12.87	7.34	0.72	21.00	1.02E-02
15	6.35	3.88	0.96	15	14.45	8.11	0.84	22.50	1.12E-02

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-2.1</b>											
<b>PEMBACAAN DIAL</b>						<b>DATA LENDUTAN</b>					
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)
0	23.00	14.00	9.00	25.00	9.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	22.60	13.81	8.98	24.97	9.02	2	0.40	0.19	0.02	0.03	-0.02
3	21.92	13.45	8.94	24.90	9.05	3	1.08	0.55	0.06	0.10	-0.05
4	20.91	12.85	8.86	24.83	9.06	4	2.09	1.15	0.14	0.17	-0.06
5	19.25	11.90	8.77	24.75	9.07	5	3.75	2.10	0.23	0.25	-0.07
6	17.00	10.84	8.68	24.68	9.08	6	6.00	3.16	0.32	0.32	-0.08
7	15.35	9.96	8.60	24.57	9.08	7	7.65	4.04	0.40	0.43	-0.08
8	14.10	9.20	8.55	24.49	9.08	8	8.90	4.80	0.45	0.51	-0.08
9	12.30	8.20	8.45	24.39	9.08	9	10.70	5.80	0.55	0.61	-0.08
10	10.45	7.40	8.35	24.29	9.08	10	12.55	6.60	0.65	0.71	-0.08
11	8.25	6.30	8.22	24.15	9.08	11	14.75	7.70	0.78	0.85	-0.08
12	0.00	5.10	8.10	24.11	9.08	12	23.00	8.90	0.90	0.89	-0.08

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-2.1</b>									
<b>FAKTOR KOREKSI</b>				<b>LENDUTAN TERKOREKSI</b>				<b>MODEL-2.1</b>	
<b>BEBAN (kN)</b>	<b>DIAL 1 (mm)</b>	<b>DIAL 2 (mm)</b>	<b>DIAL 3 (mm)</b>	<b>BEBAN (kN)</b>	<b>DIAL 1 (mm)</b>	<b>DIAL 2 (mm)</b>	<b>DIAL 3 (mm)</b>	<b>MOMEN (kNm)</b>	<b>ROTASI (rad)</b>
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
2	0.11	0.07	0.02	2	0.29	0.12	0.00	3.00	1.84E-04
3	0.33	0.20	0.05	3	0.75	0.35	0.01	4.50	5.21E-04
4	0.50	0.31	0.08	4	1.59	0.84	0.06	6.00	1.20E-03
5	0.70	0.43	0.11	5	3.05	1.67	0.12	7.50	2.38E-03
6	0.88	0.53	0.13	6	5.12	2.63	0.19	9.00	3.75E-03
7	1.12	0.68	0.17	7	6.53	3.36	0.23	10.50	4.81E-03
8	1.29	0.79	0.19	8	7.61	4.01	0.26	12.00	5.78E-03
9	1.51	0.92	0.23	9	9.19	4.88	0.32	13.50	7.01E-03
10	1.73	1.06	0.26	10	10.82	5.54	0.39	15.00	7.93E-03
11	2.04	1.24	0.31	11	12.71	6.46	0.47	16.50	9.20E-03
12	2.12	1.30	0.32	12	20.88	7.60	0.58	18.00	1.08E-02

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

MODEL-2.2											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	24.00	14.00	18.10	23.00	5.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	23.79	13.86	18.02	23.00	5.04	2	0.21	0.14	0.08	0.00	-0.04
3	23.21	13.56	17.96	22.98	5.09	3	0.79	0.44	0.14	0.02	-0.09
4	22.56	13.25	17.90	22.92	5.15	4	1.44	0.75	0.20	0.08	-0.15
5	21.50	12.65	17.81	22.81	5.21	5	2.50	1.35	0.29	0.19	-0.21
6	19.70	11.80	17.69	22.71	5.29	6	4.30	2.20	0.41	0.29	-0.29
7	18.25	10.86	17.59	22.62	5.36	7	5.75	3.14	0.51	0.38	-0.36
8	16.70	9.98	17.48	22.53	5.45	8	7.30	4.02	0.62	0.47	-0.45
9	15.40	9.25	17.38	22.46	5.55	9	8.60	4.75	0.72	0.54	-0.55
10	13.60	8.30	17.27	22.40	5.69	10	10.40	5.70	0.83	0.60	-0.69
11	12.40	7.28	17.13	22.32	5.82	11	11.60	6.72	0.97	0.68	-0.82
12	10.30	5.60	17.05	22.25	6.07	12	13.70	8.40	1.05	0.75	-1.07
13	8.40	4.70	16.93	22.17	6.12	13	15.60	9.30	1.17	0.83	-1.12
14	5.80	3.25	16.74	22.10	6.16	14	18.20	10.75	1.36	0.90	-1.16



Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-2.2</b>									
<b>FAKTOR KOREKSI</b>				<b>LENDUTAN TERKOREKSI</b>				<b>MODEL-2.2</b>	
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>MOMEN</b> (kNm)	<b>ROTASI</b> (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
2	0.09	0.05	0.01	2	0.12	0.09	0.07	3.00	3.03E-05
3	0.24	0.15	0.04	3	0.55	0.29	0.10	4.50	2.91E-04
4	0.50	0.31	0.08	4	0.94	0.44	0.12	6.00	4.90E-04
5	0.88	0.53	0.13	5	1.62	0.82	0.16	7.50	1.01E-03
6	1.27	0.78	0.19	6	3.03	1.42	0.22	9.00	1.85E-03
7	1.62	0.99	0.24	7	4.13	2.15	0.27	10.50	2.90E-03
8	2.01	1.23	0.30	8	5.29	2.79	0.32	12.00	3.80E-03
9	2.39	1.46	0.36	9	6.21	3.29	0.36	13.50	4.51E-03
10	2.83	1.73	0.43	10	7.58	3.98	0.41	15.00	5.49E-03
11	3.28	2.01	0.49	11	8.32	4.71	0.48	16.50	6.52E-03
12	3.99	2.43	0.60	12	9.71	5.97	0.45	18.00	8.49E-03
13	4.27	2.61	0.64	13	11.33	6.69	0.53	19.50	9.48E-03
14	4.51	2.75	0.68	14	13.69	8.00	0.68	21.00	1.13E-02

## Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-3.1</b>											
<b>PEMBACAAN DIAL</b>						<b>DATA LENDUTAN</b>					
<b>BEBAN (kN)</b>	<b>DIAL 1 (mm)</b>	<b>DIAL 2 (mm)</b>	<b>DIAL 3 (mm)</b>	<b>DIAL 4 (mm)</b>	<b>DIAL 5 (mm)</b>	<b>BEBAN (kN)</b>	<b>DIAL 1 (mm)</b>	<b>DIAL 2 (mm)</b>	<b>DIAL 3 (mm)</b>	<b>DIAL 4 (mm)</b>	<b>DIAL 5 (mm)</b>
0	24.00	25.00	20.00	25.00	5.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	23.30	24.80	19.94	24.98	5.11	1	0.70	0.20	0.06	0.02	-0.11
3	22.75	24.25	19.90	24.94	5.21	2	1.25	0.75	0.10	0.06	-0.21
4	21.99	24.00	19.83	24.90	5.31	3	2.01	1.00	0.17	0.10	-0.31
5	20.91	23.45	19.74	24.82	5.42	4	3.09	1.55	0.26	0.18	-0.42
6	19.50	21.65	19.64	24.75	5.55	5	4.50	3.35	0.36	0.25	-0.55
7	17.90	20.72	19.50	24.65	5.69	6	6.10	4.28	0.50	0.35	-0.69
8	16.29	19.80	19.36	24.58	5.82	7	7.71	5.20	0.64	0.42	-0.82
9	14.99	19.01	19.25	24.50	5.95	8	9.01	5.99	0.75	0.50	-0.95
10	13.25	18.10	19.09	24.42	6.17	9	10.75	6.90	0.91	0.58	-1.17
11	11.30	17.00	18.90	24.36	6.37	10	12.70	8.00	1.10	0.64	-1.37
12	9.00	16.01	18.74	24.29	6.58	11	15.00	8.99	1.26	0.71	-1.58
13	7.30	15.01	18.55	24.24	6.80	12	16.70	9.99	1.45	0.76	-1.80
14	5.45	14.00	18.33	24.18	7.07	13	18.55	11.00	1.67	0.82	-2.07

## Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-3.1</b>									
<b>FAKTOR KOREKSI</b>				<b>LENDUTAN TERKOREKSI</b>				<b>MODEL-3.1</b>	
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>MOMEN</b> (kNm)	<b>ROTASI</b> (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.28	0.17	0.04	1	0.42	0.03	0.02	1.50	1.38E-05
2	0.59	0.36	0.09	2	0.66	0.39	0.01	3.00	5.81E-04
3	0.90	0.55	0.14	3	1.11	0.45	0.03	4.50	6.41E-04
4	1.31	0.80	0.20	4	1.78	0.75	0.06	6.00	1.05E-03
5	1.75	1.07	0.26	5	2.75	2.28	0.10	7.50	3.36E-03
6	2.28	1.39	0.34	6	3.82	2.89	0.16	9.00	4.20E-03
7	2.72	1.66	0.41	7	4.99	3.54	0.23	10.50	5.09E-03
8	3.18	1.94	0.48	8	5.83	4.05	0.27	12.00	5.81E-03
9	3.83	2.34	0.58	9	6.92	4.56	0.33	13.50	6.50E-03
10	4.40	2.69	0.66	10	8.30	5.31	0.44	15.00	7.50E-03
11	5.01	3.06	0.75	11	9.99	5.93	0.51	16.50	8.34E-03
12	5.61	3.42	0.84	12	11.09	6.57	0.61	18.00	9.17E-03
13	6.33	3.86	0.95	13	12.22	7.14	0.72	19.50	9.87E-03

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-3.2</b>											
<b>PEMBACAAN DIAL</b>						<b>DATA LENDUTAN</b>					
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)
0	24.00	21.00	19.00	5.00	25.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	23.52	20.75	18.98	4.94	25.06	2	0.48	0.25	0.02	0.06	-0.06
3	22.85	20.40	18.94	4.92	25.14	3	1.15	0.60	0.06	0.08	-0.14
4	21.10	19.95	18.86	4.88	25.21	4	2.90	1.05	0.14	0.12	-0.21
5	20.75	19.10	18.79	4.80	25.30	5	3.25	1.90	0.21	0.20	-0.30
6	18.02	18.20	18.66	4.72	25.40	6	5.98	2.80	0.34	0.28	-0.40
7	17.35	17.30	18.55	4.63	25.50	7	6.65	3.70	0.45	0.37	-0.50
8	15.60	16.40	18.42	4.55	25.59	8	8.40	4.60	0.58	0.45	-0.59
9	14.20	15.81	18.30	4.48	25.69	9	9.80	5.19	0.70	0.52	-0.69
10	12.56	14.88	18.17	4.40	25.80	10	11.44	6.12	0.83	0.60	-0.80
11	11.00	13.98	17.64	4.33	25.92	11	13.00	7.02	1.36	0.67	-0.92
12	9.20	13.05	16.92	4.27	26.05	12	14.80	7.95	2.08	0.73	-1.05
13	7.40	12.00	16.76	4.20	26.18	13	16.60	9.00	2.24	0.80	-1.18
14	5.00	10.00	16.45	4.15	26.30	14	19.00	11.00	2.55	0.85	-1.30

## Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-3.2</b>									
<b>FAKTOR KOREKSI</b>				<b>LENDUTAN TERKOREKSI</b>				<b>MODEL-3.2</b>	
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>MOMEN</b> (kNm)	<b>ROTASI</b> (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
2	0.26	0.16	0.04	2	0.22	0.09	-0.02	3.00	1.68E-04
3	0.48	0.29	0.07	3	0.67	0.31	-0.01	4.50	4.90E-04
4	0.72	0.44	0.11	4	2.18	0.61	0.03	6.00	8.88E-04
5	1.09	0.67	0.16	5	2.16	1.23	0.05	7.50	1.82E-03
6	1.49	0.91	0.22	6	4.49	1.89	0.12	9.00	2.73E-03
7	1.91	1.16	0.29	7	4.74	2.54	0.16	10.50	3.65E-03
8	2.28	1.39	0.34	8	6.12	3.21	0.24	12.00	4.57E-03
9	2.65	1.62	0.40	9	7.15	3.57	0.30	13.50	5.03E-03
10	3.07	1.87	0.46	10	8.37	4.25	0.37	15.00	5.97E-03
11	3.48	2.13	0.52	11	9.52	4.89	0.84	16.50	6.24E-03
12	3.90	2.38	0.59	12	10.90	5.57	1.49	18.00	6.27E-03
13	4.34	2.65	0.65	13	12.26	6.35	1.59	19.50	7.33E-03
14	4.71	2.88	0.71	14	14.29	8.13	1.84	21.00	9.67E-03

L-8.10

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-4.1</b>											
<b>PEMBACAAN DIAL</b>						<b>DATA LENDUTAN</b>					
<b>BEBAN (kN)</b>	<b>DIAL 1 (mm)</b>	<b>DIAL 2 (mm)</b>	<b>DIAL 3 (mm)</b>	<b>DIAL 4 (mm)</b>	<b>DIAL 5 (mm)</b>	<b>BEBAN (kN)</b>	<b>DIAL 1 (mm)</b>	<b>DIAL 2 (mm)</b>	<b>DIAL 3 (mm)</b>	<b>DIAL 4 (mm)</b>	<b>DIAL 5 (mm)</b>
0	24.00	16.00	17.00	30.00	8.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	23.56	15.81	16.98	29.92	8.00	1	0.44	0.19	0.02	0.08	0.00
3	22.93	14.45	16.95	29.82	8.01	2	1.07	1.55	0.05	0.18	-0.01
4	22.10	14.03	16.88	29.72	8.02	3	1.90	1.97	0.12	0.28	-0.02
5	20.89	13.03	16.81	29.63	8.03	4	3.11	2.97	0.19	0.37	-0.03
6	20.20	12.56	16.74	29.56	8.05	5	3.80	3.44	0.26	0.44	-0.05
7	18.20	11.96	16.68	29.50	8.06	6	5.80	4.04	0.32	0.50	-0.06
8	16.80	11.26	16.61	29.42	8.08	7	7.20	4.74	0.39	0.58	-0.08
9	15.70	10.70	16.53	29.34	8.09	8	8.30	5.30	0.47	0.66	-0.09
10	14.50	9.90	16.46	29.24	8.10	9	9.50	6.10	0.54	0.76	-0.10
11	12.80	8.95	16.35	29.13	8.11	10	11.20	7.05	0.65	0.87	-0.11
12	11.10	8.10	16.27	28.99	8.11	11	12.90	7.90	0.73	1.01	-0.11
13	9.20	7.40	16.14	28.89	8.11	12	14.80	8.60	0.86	1.11	-0.11

L-8.11

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-4.1</b>									
<b>FAKTOR KOREKSI</b>				<b>LENDUTAN TERKOREKSI</b>				<b>MODEL-4.1</b>	
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>MOMEN</b> (kNm)	<b>ROTASI</b> (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.18	0.11	0.03	1	0.26	0.08	-0.01	1.50	1.38E-04
2	0.42	0.25	0.06	2	0.65	1.30	-0.01	3.00	2.01E-03
3	0.66	0.40	0.10	3	1.24	1.57	0.02	4.50	2.38E-03
4	0.88	0.53	0.13	4	2.23	2.44	0.06	6.00	3.66E-03
5	1.07	0.66	0.16	5	2.73	2.78	0.10	7.50	4.13E-03
6	1.23	0.75	0.18	6	4.57	3.29	0.14	9.00	4.85E-03
7	1.45	0.88	0.22	7	5.75	3.86	0.17	10.50	5.67E-03
8	1.64	1.00	0.25	8	6.66	4.30	0.22	12.00	6.27E-03
9	1.88	1.15	0.28	9	7.62	4.95	0.26	13.50	7.22E-03
10	2.15	1.31	0.32	10	9.05	5.74	0.33	15.00	8.33E-03
11	2.45	1.50	0.37	11	10.45	6.40	0.36	16.50	9.29E-03
12	2.67	1.63	0.40	12	12.13	6.97	0.46	18.00	1.00E-02

L-8.12

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-4.2</b>											
<b>PEMBACAAN DIAL</b>						<b>DATA LENDUTAN</b>					
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)
0	24.00	19.00	17.00	10.00	15.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	23.48	18.65	16.95	9.91	15.06	2	0.52	0.35	0.05	0.09	-0.06
3	22.58	18.05	16.87	9.81	15.15	3	1.42	0.95	0.13	0.19	-0.15
4	21.90	17.79	16.80	9.76	15.20	4	2.10	1.21	0.20	0.24	-0.20
5	20.10	16.71	16.64	9.65	15.28	5	3.90	2.29	0.36	0.35	-0.28
6	17.60	15.40	16.45	9.51	15.40	6	6.40	3.60	0.55	0.49	-0.40
7	15.20	14.70	16.28	9.39	15.56	7	8.80	4.30	0.72	0.61	-0.56
8	13.60	13.30	16.15	9.32	15.69	8	10.40	5.70	0.85	0.68	-0.69
9	12.40	12.65	16.05	9.28	15.79	9	11.60	6.35	0.95	0.72	-0.79
10	10.45	11.66	15.90	9.20	15.94	10	13.55	7.34	1.10	0.80	-0.94
11	8.50	10.60	15.75	9.11	15.96	11	15.50	8.40	1.25	0.89	-0.96
12	6.30	8.48	15.56	9.02	15.97	12	17.70	10.52	1.44	0.98	-0.97
13	4.82	6.80	15.32	9.01	15.98	13	19.18	12.20	1.68	0.99	-0.98

L-8.13



Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-4.2</b>									
<b>FAKTOR KOREKSI</b>				<b>LENDUTAN TERKOREKSI</b>				<b>MODEL-4.2</b>	
<b>BEBAN (kN)</b>	<b>DIAL 1 (mm)</b>	<b>DIAL 2 (mm)</b>	<b>DIAL 3 (mm)</b>	<b>BEBAN (kN)</b>	<b>DIAL 1 (mm)</b>	<b>DIAL 2 (mm)</b>	<b>DIAL 3 (mm)</b>	<b>MOMEN (kNm)</b>	<b>ROTASI (rad)</b>
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
2	0.33	0.20	0.05	2	0.19	0.15	0.00	3.00	2.29E-04
3	0.74	0.45	0.11	3	0.68	0.50	0.02	4.50	7.34E-04
4	0.96	0.59	0.14	4	1.14	0.62	0.06	6.00	8.72E-04
5	1.38	0.84	0.21	5	2.52	1.45	0.15	7.50	1.99E-03
6	1.95	1.19	0.29	6	4.45	2.41	0.26	9.00	3.31E-03
7	2.56	1.56	0.39	7	6.24	2.74	0.33	10.50	3.69E-03
8	3.00	1.83	0.45	8	7.40	3.87	0.40	12.00	5.34E-03
9	3.31	2.02	0.50	9	8.29	4.33	0.45	13.50	5.97E-03
10	3.81	2.33	0.57	10	9.74	5.01	0.53	15.00	6.90E-03
11	4.05	2.47	0.61	11	11.45	5.93	0.64	16.50	8.13E-03
12	4.27	2.61	0.64	12	13.43	7.91	0.80	18.00	1.09E-02
13	4.31	2.63	0.65	13	14.87	9.57	1.03	19.50	1.31E-02

<b>MODEL-5.1</b>											
<b>PEMBACAAN DIAL</b>						<b>DATA LENDUTAN</b>					
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)
0	22.00	19.00	10.00	3.00	10.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	21.43	18.69	9.89	2.86	10.03	2	0.57	0.31	0.11	0.14	-0.03
3	20.45	17.68	9.78	2.48	10.05	3	1.55	1.32	0.22	0.52	-0.05
4	19.10	17.19	9.57	2.47	10.11	4	2.90	1.81	0.43	0.53	-0.11
5	17.80	16.59	9.41	2.42	10.20	5	4.20	2.41	0.59	0.58	-0.20
6	16.40	15.80	9.31	2.39	10.31	6	5.60	3.20	0.69	0.61	-0.31
7	15.01	15.10	9.20	2.35	10.40	7	6.99	3.90	0.80	0.65	-0.40
8	13.80	13.30	9.16	2.32	10.45	8	8.20	5.70	0.84	0.68	-0.45
9	12.20	12.60	9.06	2.25	10.55	9	9.80	6.40	0.94	0.75	-0.55
10	10.60	11.30	8.98	2.20	10.65	10	11.40	7.70	1.02	0.80	-0.65
11	8.91	10.90	8.82	2.16	10.82	11	13.09	8.10	1.18	0.84	-0.82
12	7.30	10.05	8.73	2.10	10.94	12	14.70	8.95	1.27	0.90	-0.94
13	5.50	9.92	8.58	2.08	11.08	13	16.50	9.08	1.42	0.92	-1.08

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

<b>MODEL-5.1</b>									
<b>FAKTOR KOREKSI</b>				<b>LENDUTAN TERKOREKSI</b>				<b>MODEL-5.1</b>	
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>MOMEN</b> (kNm)	<b>ROTASI</b> (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
2	0.37	0.23	0.06	2	0.20	0.08	0.05	3.00	4.41E-05
3	1.25	0.76	0.19	3	0.30	0.56	0.03	4.50	8.09E-04
4	1.40	0.86	0.21	4	1.50	0.95	0.22	6.00	1.13E-03
5	1.71	1.04	0.26	5	2.49	1.37	0.33	7.50	1.59E-03
6	2.01	1.23	0.30	6	3.59	1.97	0.39	9.00	2.44E-03
7	2.30	1.40	0.35	7	4.69	2.50	0.45	10.50	3.14E-03
8	2.47	1.51	0.37	8	5.73	4.19	0.47	12.00	5.72E-03
9	2.85	1.74	0.43	9	6.95	4.66	0.51	13.50	6.38E-03
10	3.18	1.94	0.48	10	8.22	5.76	0.54	15.00	8.03E-03
11	3.64	2.22	0.55	11	9.45	5.88	0.63	16.50	8.07E-03
12	4.03	2.46	0.61	12	10.67	6.49	0.66	18.00	8.96E-03
13	4.38	2.67	0.66	13	12.12	6.41	0.76	19.50	8.68E-03

L-8.16

Lampiran 8 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Biasa

MODEL-5.2											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	19.00	22.00	12.00	13.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	18.50	21.78	11.97	12.87	0.05	2	0.50	0.22	0.03	0.13	-0.05
4	16.55	20.63	11.79	12.72	0.12	4	2.45	1.37	0.21	0.28	-0.12
6	13.32	19.94	10.55	12.53	0.26	6	5.68	2.06	1.45	0.47	-0.26
8	10.00	17.08	10.30	12.31	0.39	8	9.00	4.92	1.70	0.69	-0.39
10	5.50	15.78	10.25	12.10	0.61	10	13.50	6.22	1.75	0.90	-0.61
12	0.00	12.00	9.44	11.90	0.81	12	19.00	10.00	2.56	1.10	-0.81

MODEL-5.2									
FAKTOR KOREKSI				LENDUTAN TERKOREKSI				MODEL-5.2	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
2	0.39	0.24	0.06	2	0.11	-0.02	-0.03	3.00	1.32E-05
4	0.88	0.53	0.13	4	1.57	0.84	0.08	6.00	1.16E-03
6	1.60	0.98	0.24	6	4.08	1.08	1.21	9.00	1.93E-04
8	2.37	1.44	0.36	8	6.63	3.48	1.34	12.00	3.28E-03
10	3.31	2.02	0.50	10	10.19	4.20	1.25	15.00	4.54E-03
12	4.18	2.55	0.63	12	14.82	7.45	1.93	18.00	8.48E-03

**DATA HASIL PENGUKURAN LENDUTAN BALOK DENGAN PERKUATAN**

<b>MODEL-1</b>											
<b>PEMBACAAN DIAL</b>						<b>DATA LENDUTAN</b>					
<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)	<b>BEBAN</b> (kN)	<b>DIAL 1</b> (mm)	<b>DIAL 2</b> (mm)	<b>DIAL 3</b> (mm)	<b>DIAL 4</b> (mm)	<b>DIAL 5</b> (mm)
0	27.00	23.00	21.00	15.00	14.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	26.70	22.99	21.00	14.99	14.00	1	0.30	0.01	0.00	0.01	0.00
2	25.85	22.98	20.99	14.91	14.01	2	1.15	0.02	0.01	0.09	-0.01
3	24.91	22.95	20.98	14.83	14.03	3	2.09	0.05	0.02	0.17	-0.03
4	24.40	22.57	20.96	14.76	14.06	4	2.60	0.43	0.04	0.24	-0.06
5	23.73	21.09	20.95	14.68	14.12	5	3.27	1.91	0.05	0.32	-0.12
6	23.08	20.50	20.94	14.61	14.20	6	3.92	2.50	0.06	0.39	-0.20
7	22.11	20.05	20.92	14.56	14.25	7	4.89	2.95	0.08	0.44	-0.25
8	21.03	19.50	20.90	14.50	14.30	8	5.97	3.50	0.10	0.50	-0.30
9	19.93	19.13	20.88	14.44	14.38	9	7.07	3.87	0.12	0.56	-0.38
10	18.77	18.97	20.84	14.39	14.42	10	8.23	4.03	0.16	0.61	-0.42
11	17.74	18.91	20.73	14.35	14.47	11	9.26	4.09	0.27	0.65	-0.47
12	16.53	17.89	20.68	14.32	14.55	12	10.47	5.11	0.32	0.68	-0.55
13	15.08	16.37	20.52	14.25	14.58	13	11.92	6.63	0.48	0.75	-0.58
14	13.49	15.53	20.41	14.20	14.64	14	13.51	7.47	0.59	0.80	-0.64
15	12.10	14.72	20.32	14.16	14.69	15	14.90	8.28	0.68	0.84	-0.69
16	10.57	12.50	20.12	14.12	14.76	16	16.43	10.50	0.88	0.88	-0.76
17	8.30	11.95	19.96	14.11	14.78	17	18.70	11.05	1.04	0.89	-0.78
18	3.83	8.35	19.73	14.07	14.81	18	23.17	14.65	1.27	0.93	-0.81

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lentutan Balok Dengan Perkuatan

18.2	-2.00	6.05	19.53	14.06	14.81	18.2	29.00	16.95	1.47	0.94	-0.81
------	-------	------	-------	-------	-------	------	-------	-------	------	------	-------

MODEL-1									
FAKTOR KOREKSI				PEMBACAAN DIAL				MODEL-1	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.02	0.01	0.00	1	0.28	0.00	0.00	1.50	1.19E-07
2	0.22	0.13	0.03	2	0.93	-0.11	-0.02	3.00	1.40E-04
3	0.44	0.27	0.07	3	1.65	-0.22	-0.05	4.50	2.64E-04
4	0.66	0.40	0.10	4	1.94	0.03	-0.06	6.00	1.35E-04
5	0.96	0.59	0.14	5	2.31	1.32	-0.09	7.50	2.18E-03
6	1.29	0.79	0.19	6	2.63	1.71	-0.13	9.00	2.84E-03
7	1.51	0.92	0.23	7	3.38	2.03	-0.15	10.50	3.35E-03
8	1.75	1.07	0.26	8	4.22	2.43	-0.16	12.00	3.99E-03
9	2.06	1.26	0.31	9	5.01	2.61	-0.19	13.50	4.31E-03
10	2.26	1.38	0.34	10	5.97	2.65	-0.18	15.00	4.36E-03
11	2.45	1.50	0.37	11	6.81	2.59	-0.10	16.50	4.14E-03
12	2.69	1.64	0.41	12	7.78	3.47	-0.09	18.00	5.46E-03
13	2.91	1.78	0.44	13	9.01	4.85	0.04	19.50	7.40E-03
14	3.15	1.93	0.47	14	10.36	5.54	0.12	21.00	8.35E-03
15	3.35	2.05	0.50	15	11.55	6.23	0.18	22.50	9.32E-03
16	3.59	2.19	0.54	16	12.84	8.31	0.34	24.00	1.23E-02
17	3.66	2.23	0.55	17	15.04	8.82	0.49	25.50	1.28E-02

L-9.2

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

18	3.81	2.33	0.57	18	19.36	12.32	0.70	27.00	1.79E-02		
18.2	3.83	2.34	0.58	18.2	25.17	14.61	0.89	27.30	2.11E-02		
MODEL-2.1											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	27.00	25.00	25.00	18.00	15.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	26.89	24.99	24.98	17.94	15.00	1	0.11	0.01	0.02	0.06	0.00
2	26.14	24.60	24.92	17.84	15.03	2	0.86	0.40	0.08	0.16	-0.03
3	25.12	24.06	24.83	17.70	15.05	3	1.88	0.94	0.17	0.30	-0.05
4	24.50	23.85	24.79	17.61	15.07	4	2.50	1.15	0.21	0.39	-0.07
5	23.51	23.26	24.72	17.48	15.09	5	3.49	1.74	0.28	0.52	-0.09
6	22.38	22.79	24.65	17.32	15.10	6	4.62	2.21	0.35	0.68	-0.10
7	21.24	22.11	24.57	17.18	15.10	7	5.76	2.89	0.43	0.82	-0.10
8	19.23	21.04	24.44	17.07	15.10	8	7.77	3.96	0.56	0.93	-0.10
9	17.71	20.26	24.35	16.91	15.11	9	9.29	4.74	0.65	1.09	-0.11
10	16.08	19.42	24.26	16.72	15.12	10	10.92	5.58	0.74	1.28	-0.12
11	14.76	18.76	24.19	16.60	15.13	11	12.24	6.24	0.81	1.40	-0.13
12	13.54	18.14	24.11	16.46	15.13	12	13.46	6.86	0.89	1.54	-0.13
13	12.32	17.46	24.01	16.13	15.15	13	14.68	7.54	0.99	1.87	-0.15
14	10.85	16.74	23.95	15.99	15.15	14	16.15	8.26	1.05	2.01	-0.15
15	9.51	16.05	23.87	15.88	15.18	15	17.49	8.95	1.13	2.12	-0.18
16	7.77	15.09	23.78	15.75	15.23	16	19.23	9.91	1.22	2.25	-0.23
17	6.48	14.51	23.71	15.72	15.26	17	20.52	10.49	1.29	2.28	-0.26
18	4.53	13.43	23.61	15.71	15.26	18	22.47	11.57	1.39	2.29	-0.26

L-9.3

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

19	0.00	10.50	23.39	15.61	15.32	19	27.00	14.50	1.61	2.39	-0.32
20	-	6.57	22.79	15.55	15.34	20	-	18.43	2.21	2.45	-0.34

MODEL-2.1									
FAKTOR KOREKSI				PEMBACAAN DIAL				MODEL-2.1	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.13	0.08	0.02	1	-0.02	-0.07	0.00	1.50	1.08E-04
2	0.42	0.25	0.06	2	0.44	0.15	0.02	3.00	1.98E-04
3	0.77	0.47	0.12	3	1.11	0.47	0.05	4.50	6.42E-04
4	1.01	0.62	0.15	4	1.49	0.53	0.06	6.00	7.33E-04
5	1.34	0.82	0.20	5	2.15	0.92	0.08	7.50	1.30E-03
6	1.71	1.04	0.26	6	2.91	1.17	0.09	9.00	1.65E-03
7	2.01	1.23	0.30	7	3.75	1.66	0.13	10.50	2.36E-03
8	2.26	1.38	0.34	8	5.51	2.58	0.22	12.00	3.63E-03
9	2.63	1.60	0.40	9	6.66	3.14	0.25	13.50	4.43E-03
10	3.07	1.87	0.46	10	7.85	3.71	0.28	15.00	5.28E-03
11	3.35	2.05	0.50	11	8.89	4.19	0.31	16.50	5.98E-03
12	3.66	2.23	0.55	12	9.80	4.63	0.34	18.00	6.60E-03
13	4.42	2.70	0.67	13	10.26	4.84	0.32	19.50	6.95E-03
14	4.73	2.89	0.71	14	11.42	5.37	0.34	21.00	7.74E-03
15	5.04	3.08	0.76	15	12.45	5.87	0.37	22.50	8.46E-03
16	5.43	3.32	0.82	16	13.80	6.59	0.40	24.00	9.52E-03

L-9.4



Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

17	5.56	3.40	0.84	17	14.96	7.09	0.45	25.50	1.02E-02
18	5.58	3.41	0.84	18	16.89	8.16	0.55	27.00	1.17E-02
19	5.93	3.62	0.89	19	21.07	10.88	0.72	28.50	1.56E-02
20	6.11	3.73	0.92	20	-	14.70	1.29	30.00	2.06E-02

MODEL-2.2											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	27.00	25.00	25.00	6.00	19.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	26.95	24.98	24.99	5.99	19.05	1	0.05	0.02	0.01	0.01	-0.05
2	26.80	24.96	24.98	5.93	19.09	2	0.20	0.04	0.02	0.07	-0.09
3	26.28	24.68	24.97	5.86	19.12	3	0.72	0.32	0.03	0.14	-0.12
4	25.80	24.25	24.96	5.77	19.18	4	1.20	0.75	0.04	0.23	-0.18
5	25.43	23.72	24.94	5.66	19.24	5	1.57	1.28	0.06	0.34	-0.24
6	24.36	23.16	24.92	5.55	19.29	6	2.64	1.84	0.08	0.45	-0.29
7	22.28	22.60	24.89	5.44	19.32	7	4.72	2.40	0.11	0.56	-0.32
8	21.34	22.09	24.83	5.36	19.33	8	5.66	2.91	0.17	0.64	-0.33
9	19.82	21.21	24.70	5.24	19.34	9	7.18	3.79	0.30	0.76	-0.34
10	18.24	20.38	24.59	5.11	19.36	10	8.76	4.62	0.41	0.89	-0.36
11	16.89	19.65	24.49	5.00	19.39	11	10.11	5.35	0.51	1.00	-0.39
12	15.25	18.78	24.38	4.84	19.42	12	11.75	6.22	0.62	1.16	-0.42
13	13.83	18.02	24.24	4.70	19.44	13	13.17	6.98	0.76	1.30	-0.44
14	12.18	17.10	24.14	4.54	19.48	14	14.82	7.90	0.86	1.46	-0.48

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

15	10.84	16.42	24.04	4.41	19.50	15	16.16	8.58	0.96	1.59	-0.50
16	9.35	15.63	23.94	4.26	19.54	16	17.65	9.37	1.06	1.74	-0.54
17	7.80	14.81	23.83	4.10	19.57	17	19.20	10.19	1.17	1.90	-0.57
18	6.57	14.15	23.74	3.98	19.59	18	20.43	10.85	1.26	2.02	-0.59
19	4.91	13.24	23.64	3.87	19.60	19	22.09	11.76	1.36	2.13	-0.60
20	1.00	11.97	22.41	3.78	19.62	20	26.00	13.03	2.59	2.22	-0.62
21	-5.98	7.46	21.05	3.72	19.64	21	32.98	17.54	3.95	2.28	-0.64

MODEL-2.2									
FAKTOR KOREKSI				PEMBACAAN DIAL				MODEL-2.2	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.13	0.08	0.02	1	-0.08	-0.06	-0.01	1.50	7.76E-05
2	0.35	0.21	0.05	2	-0.15	-0.17	-0.03	3.00	2.17E-04
3	0.57	0.35	0.09	3	0.15	-0.03	-0.06	4.50	4.31E-05
4	0.90	0.55	0.14	4	0.30	0.20	-0.10	6.00	4.57E-04
5	1.27	0.78	0.19	5	0.30	0.50	-0.13	7.50	9.78E-04
6	1.62	0.99	0.24	6	1.02	0.85	-0.16	9.00	1.56E-03
7	1.93	1.18	0.29	7	2.79	1.22	-0.18	10.50	2.16E-03
8	2.12	1.30	0.32	8	3.54	1.61	-0.15	12.00	2.71E-03
9	2.41	1.47	0.36	9	4.77	2.32	-0.06	13.50	3.66E-03
10	2.74	1.67	0.41	10	6.02	2.95	0.00	15.00	4.54E-03
11	3.04	1.86	0.46	11	7.07	3.49	0.05	16.50	5.29E-03

L-9.6

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

12	3.46	2.11	0.52	12	8.29	4.11	0.10	18.00	6.17E-03
13	3.81	2.33	0.57	13	9.36	4.65	0.19	19.50	6.87E-03
14	4.25	2.59	0.64	14	10.57	5.31	0.22	21.00	7.82E-03
15	4.58	2.79	0.69	15	11.58	5.79	0.27	22.50	8.48E-03
16	4.99	3.05	0.75	16	12.66	6.32	0.31	24.00	9.25E-03
17	5.41	3.30	0.81	17	13.79	6.89	0.36	25.50	1.00E-02
18	5.72	3.49	0.86	18	14.71	7.36	0.40	27.00	1.07E-02
19	5.98	3.65	0.90	19	16.11	8.11	0.46	28.50	1.18E-02
20	6.22	3.80	0.94	20	19.78	9.23	1.65	30.00	1.17E-02
21	6.39	3.90	0.96	21	26.59	13.64	2.99	31.50	1.64E-02

MODEL-3.1											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	27.00	26.00	22.00	17.00	8.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	27.00	25.95	21.99	16.99	8.06	1	0.00	0.05	0.01	0.01	-0.06
2	26.53	25.86	21.97	16.97	8.15	2	0.47	0.14	0.03	0.03	-0.15
3	25.66	25.39	21.96	16.84	8.22	3	1.34	0.61	0.04	0.16	-0.22
4	24.63	24.82	21.94	16.62	8.24	4	2.37	1.18	0.06	0.38	-0.24
5	23.48	24.25	21.90	16.52	8.32	5	3.52	1.75	0.10	0.48	-0.32
6	22.78	23.81	21.85	16.45	8.39	6	4.22	2.19	0.15	0.55	-0.39
7	21.65	23.32	21.79	16.36	8.45	7	5.35	2.68	0.21	0.64	-0.45
8	20.65	22.78	21.73	16.27	8.50	8	6.35	3.22	0.27	0.73	-0.50

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

9	19.30	22.08	21.65	16.19	8.58	9	7.70	3.92	0.35	0.81	-0.58
10	17.59	21.22	21.55	16.10	8.67	10	9.41	4.78	0.45	0.90	-0.67
11	16.10	20.47	21.48	16.04	8.74	11	10.90	5.53	0.52	0.96	-0.74
12	15.76	19.77	21.40	15.97	8.83	12	11.24	6.23	0.60	1.03	-0.83
13	13.37	19.07	21.34	15.90	8.93	13	13.63	6.93	0.66	1.10	-0.93
14	12.10	18.42	21.27	15.85	9.02	14	14.90	7.58	0.73	1.15	-1.02
15	11.93	17.80	21.21	15.80	9.10	15	15.07	8.20	0.79	1.20	-1.10
16	10.71	17.55	21.15	15.75	9.18	16	16.29	8.45	0.85	1.25	-1.18
17	8.43	17.21	21.09	15.70	9.26	17	18.57	8.79	0.91	1.30	-1.26
18	7.12	16.90	21.02	15.64	9.33	18	19.88	9.10	0.98	1.36	-1.33
19	6.21	15.42	20.98	15.60	9.37	19	20.79	10.58	1.02	1.40	-1.37
20	4.12	14.29	20.92	15.57	9.42	20	22.88	11.71	1.08	1.43	-1.42
21	1.93	13.13	20.86	15.54	9.54	21	25.07	12.87	1.14	1.46	-1.54
22	-0.82	12.60	20.77	15.50	9.55	22	27.82	13.40	1.23	1.50	-1.55
23	-4.95	9.38	20.67	15.46	9.55	23	31.95	16.62	1.33	1.54	-1.55
23.8	-7.23	8.57	20.56	15.46	9.56	23.8	34.23	17.43	1.44	1.54	-1.56

MODEL-3.1									
FAKTOR KOREKSI				PEMBACAAN DIAL				MODEL-3.1	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.15	0.09	0.02	1	-0.15	-0.04	-0.01	1.50	4.70E-05
2	0.39	0.24	0.06	2	0.08	-0.10	-0.03	3.00	1.10E-04

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

3	0.83	0.51	0.13	3	0.51	0.10	-0.09	4.50	2.88E-04
4	1.36	0.83	0.20	4	1.01	0.35	-0.14	6.00	7.62E-04
5	1.75	1.07	0.26	5	1.77	0.68	-0.16	7.50	1.30E-03
6	2.06	1.26	0.31	6	2.16	0.93	-0.16	9.00	1.68E-03
7	2.39	1.46	0.36	7	2.96	1.22	-0.15	10.50	2.11E-03
8	2.69	1.64	0.41	8	3.66	1.58	-0.14	12.00	2.63E-03
9	3.04	1.86	0.46	9	4.66	2.06	-0.11	13.50	3.34E-03
10	3.44	2.10	0.52	10	5.97	2.68	-0.07	15.00	4.23E-03
11	3.72	2.27	0.56	11	7.18	3.26	-0.04	16.50	5.07E-03
12	4.07	2.49	0.61	12	7.17	3.74	-0.01	18.00	5.78E-03
13	4.45	2.71	0.67	13	9.18	4.22	-0.01	19.50	6.50E-03
14	4.75	2.90	0.71	14	10.15	4.68	0.02	21.00	7.17E-03
15	5.04	3.08	0.76	15	10.03	5.12	0.03	22.50	7.83E-03
16	5.32	3.25	0.80	16	10.97	5.20	0.05	24.00	7.92E-03
17	5.61	3.42	0.84	17	12.96	5.37	0.07	25.50	8.15E-03
18	5.89	3.60	0.89	18	13.99	5.50	0.09	27.00	8.32E-03
19	6.07	3.70	0.91	19	14.72	6.88	0.11	28.50	1.04E-02
20	6.24	3.81	0.94	20	16.64	7.90	0.14	30.00	1.19E-02
21	6.57	4.01	0.99	21	18.50	8.86	0.15	31.50	1.34E-02
22	6.68	4.08	1.00	22	21.14	9.32	0.23	33.00	1.40E-02
23	6.77	4.13	1.02	23	25.18	12.49	0.31	34.50	1.87E-02
23.8	6.79	4.15	1.02	23.8	27.44	13.28	0.42	35.70	1.98E-02

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

MODEL-3.2											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	27.00	25.00	25.00	7.00	23.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	26.98	24.99	25.00	6.99	23.01	1	0.02	0.01	0.00	0.01	-0.01
2	26.95	24.97	24.99	6.98	23.10	2	0.05	0.03	0.01	0.02	-0.10
3	26.15	24.65	24.97	6.96	23.20	3	0.85	0.35	0.03	0.04	-0.20
4	25.22	24.16	24.95	6.93	23.31	4	1.78	0.84	0.05	0.07	-0.31
5	24.15	23.59	24.93	6.88	23.43	5	2.85	1.41	0.07	0.12	-0.43
6	23.23	23.11	24.90	6.84	23.50	6	3.77	1.89	0.10	0.16	-0.50
7	21.17	22.99	24.80	6.76	23.60	7	5.83	2.01	0.20	0.24	-0.60
8	20.03	21.38	24.72	6.70	23.66	8	6.97	3.62	0.28	0.30	-0.66
9	18.68	20.68	24.63	6.66	23.73	9	8.32	4.32	0.37	0.34	-0.73
10	17.34	19.98	24.55	6.55	23.84	10	9.66	5.02	0.45	0.45	-0.84
11	16.42	19.56	24.48	6.50	23.90	11	10.58	5.44	0.52	0.50	-0.90
12	15.03	18.77	24.39	6.42	23.99	12	11.97	6.23	0.61	0.58	-0.99
13	14.87	18.17	24.32	6.35	24.05	13	12.13	6.83	0.68	0.65	-1.05
14	13.52	17.48	24.24	6.26	24.12	14	13.48	7.52	0.76	0.74	-1.12
15	11.27	16.82	24.16	6.17	24.18	15	15.73	8.18	0.84	0.83	-1.18
16	10.89	16.10	24.08	6.08	24.25	16	16.11	8.90	0.92	0.92	-1.25
17	8.68	15.45	24.01	6.02	24.29	17	18.32	9.55	0.99	0.98	-1.29
18	6.91	14.46	23.91	5.99	24.32	18	20.09	10.54	1.09	1.01	-1.32

L-9.10

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

19	4.50	13.13	23.78	5.95	24.34	19	22.50	11.87	1.22	1.05	-1.34
19.8	-	11.31	23.33	5.88	24.36	19.8	-	13.69	1.67	1.12	-1.36

MODEL-3.2									
FAKTOR KOREKSI				PEMBACAAN DIAL				MODEL-3.2	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.04	0.03	0.01	1	-0.02	-0.02	-0.01	1.50	1.56E-05
2	0.26	0.16	0.04	2	-0.21	-0.13	-0.03	3.00	1.55E-04
3	0.53	0.32	0.08	3	0.32	0.03	-0.05	4.50	1.20E-04
4	0.83	0.51	0.13	4	0.95	0.33	-0.08	6.00	6.26E-04
5	1.20	0.74	0.18	5	1.65	0.67	-0.11	7.50	1.21E-03
6	1.45	0.88	0.22	6	2.32	1.01	-0.12	9.00	1.73E-03
7	1.84	1.12	0.28	7	3.99	0.89	-0.08	10.50	1.48E-03
8	2.10	1.28	0.32	8	4.87	2.34	-0.04	12.00	3.65E-03
9	2.34	1.43	0.35	9	5.98	2.89	0.02	13.50	4.42E-03
10	2.83	1.73	0.43	10	6.84	3.30	0.02	15.00	5.03E-03
11	3.07	1.87	0.46	11	7.51	3.57	0.06	16.50	5.40E-03
12	3.44	2.10	0.52	12	8.53	4.13	0.09	18.00	6.21E-03
13	3.72	2.27	0.56	13	8.41	4.56	0.12	19.50	6.83E-03
14	4.07	2.49	0.61	14	9.41	5.03	0.15	21.00	7.52E-03
15	4.40	2.69	0.66	15	11.33	5.49	0.18	22.50	8.18E-03
16	4.75	2.90	0.71	16	11.36	6.00	0.21	24.00	8.91E-03

L-9.11

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

17	4.97	3.04	0.75	17	13.35	6.51	0.24	25.50	9.65E-03
18	5.10	3.12	0.77	18	14.99	7.42	0.32	27.00	1.09E-02
19	5.23	3.20	0.79	19	17.27	8.67	0.43	28.50	1.27E-02
20	5.43	3.32	0.82	20	-	10.37	0.85	30.00	1.46E-02

MODEL-4.1											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	27.00	26.00	25.00	22.00	10.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	26.99	26.00	25.00	21.97	10.01	1	0.01	0.00	0.00	0.03	-0.01
2	26.98	25.99	24.99	21.95	10.05	2	0.02	0.01	0.01	0.05	-0.05
3	26.92	25.95	24.98	21.91	10.09	3	0.08	0.05	0.02	0.09	-0.09
4	26.22	25.76	24.97	21.85	10.12	4	0.78	0.24	0.03	0.15	-0.12
5	25.53	25.39	24.95	21.79	10.16	5	1.47	0.61	0.05	0.21	-0.16
6	24.25	24.70	24.92	21.73	10.20	6	2.75	1.30	0.08	0.27	-0.20
7	20.70	23.30	24.90	21.65	10.23	7	6.30	2.70	0.10	0.35	-0.23
8	20.10	22.50	24.88	21.59	10.27	8	6.90	3.50	0.12	0.41	-0.27
9	18.43	21.63	24.78	21.52	10.32	9	8.57	4.37	0.22	0.48	-0.32
10	17.87	20.81	24.69	21.46	10.38	10	9.13	5.19	0.31	0.54	-0.38
11	15.40	20.04	24.61	21.41	10.44	11	11.60	5.96	0.39	0.59	-0.44
12	14.96	19.32	24.53	21.37	10.50	12	12.04	6.68	0.47	0.63	-0.50
13	13.65	18.65	24.44	21.33	10.55	13	13.35	7.35	0.56	0.67	-0.55
14	11.08	17.78	24.37	21.28	10.63	14	15.92	8.22	0.63	0.72	-0.63

L-9.12



Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

15	10.78	17.17	24.19	21.25	10.67	15	16.22	8.83	0.81	0.75	-0.67
16	7.90	15.59	23.88	21.23	10.74	16	19.10	10.41	1.12	0.77	-0.74
16.8	2.12	13.87	23.41	21.22	10.75	16.8	24.88	12.13	1.59	0.78	-0.75

MODEL-4.1									
FAKTOR KOREKSI				PEMBACAAN DIAL				MODEL-4.1	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.09	0.05	0.01	1	-0.08	-0.05	-0.01	1.50	6.20E-05
2	0.22	0.13	0.03	2	-0.20	-0.12	-0.02	3.00	1.55E-04
3	0.39	0.24	0.06	3	-0.31	-0.19	-0.04	4.50	2.33E-04
4	0.59	0.36	0.09	4	0.19	-0.12	-0.06	6.00	9.55E-05
5	0.81	0.49	0.12	5	0.66	0.12	-0.07	7.50	2.88E-04
6	1.03	0.63	0.15	6	1.72	0.67	-0.07	9.00	1.15E-03
7	1.27	0.78	0.19	7	5.03	1.92	-0.09	10.50	3.10E-03
8	1.49	0.91	0.22	8	5.41	2.59	-0.10	12.00	4.15E-03
9	1.75	1.07	0.26	9	6.82	3.30	-0.04	13.50	5.14E-03
10	2.01	1.23	0.30	10	7.12	3.96	0.01	15.00	6.08E-03
11	2.26	1.38	0.34	11	9.34	4.58	0.05	16.50	6.97E-03
12	2.47	1.51	0.37	12	9.57	5.17	0.10	18.00	7.80E-03
13	2.67	1.63	0.40	13	10.68	5.72	0.16	19.50	8.55E-03
14	2.96	1.81	0.44	14	12.96	6.41	0.19	21.00	9.58E-03
15	3.11	1.90	0.47	15	13.11	6.93	0.34	22.50	1.01E-02

L-9.13

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

16	3.31	2.02	0.50	16	15.79	8.39	0.62	24.00	1.20E-02
16.8	3.35	2.05	0.50	16.8	21.53	10.08	1.09	25.20	1.38E-02

MODEL-4.2											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	27.00	25.00	25.00	13.00	16.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	26.97	24.98	24.99	12.99	16.01	1	0.03	0.02	0.01	0.01	-0.01
2	26.91	24.95	24.98	12.96	16.02	2	0.09	0.05	0.02	0.04	-0.02
3	26.23	24.67	24.96	12.91	16.09	3	0.77	0.33	0.04	0.09	-0.09
4	25.25	24.13	24.94	12.87	16.16	4	1.75	0.87	0.06	0.13	-0.16
5	23.53	23.21	24.92	12.79	16.24	5	3.47	1.79	0.08	0.21	-0.24
6	21.75	22.27	24.80	12.71	16.32	6	5.25	2.73	0.20	0.29	-0.32
7	20.35	21.53	24.70	12.65	16.40	7	6.65	3.47	0.30	0.35	-0.40
8	19.38	21.03	24.63	12.59	16.46	8	7.62	3.97	0.37	0.41	-0.46
9	18.95	20.28	24.53	12.52	16.55	9	8.05	4.72	0.47	0.48	-0.55
10	16.89	19.22	24.38	12.42	16.68	10	10.11	5.78	0.62	0.58	-0.68
11	15.15	18.84	24.33	12.39	16.71	11	11.85	6.16	0.67	0.61	-0.71
12	14.84	18.17	24.24	12.33	16.80	12	12.16	6.83	0.76	0.67	-0.80
13	13.75	17.61	24.17	12.28	16.85	13	13.25	7.39	0.83	0.72	-0.85
14	11.20	16.80	24.07	12.22	16.94	14	15.80	8.20	0.93	0.78	-0.94
15	9.70	16.04	23.98	12.16	17.02	15	17.30	8.96	1.02	0.84	-1.02
16	8.30	15.28	23.90	12.13	17.06	16	18.70	9.72	1.10	0.87	-1.06

L-9.14

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

16.8	4.10	13.90	23.64	12.10	17.09	16.8	22.90	11.10	1.36	0.90	-1.09
17	-2.00	8.38	22.90	11.95	17.14	17	29.00	16.62	2.10	1.05	-1.14
18	-	5.85	22.70	11.92	17.15	18	-	19.15	2.30	1.08	-1.15

MODEL-4.2									
FAKTOR KOREKSI				PEMBACAAN DIAL				MODEL-4.2	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.04	0.03	0.01	1	-0.01	-0.01	0.00	1.50	1.56E-05
2	0.13	0.08	0.02	2	-0.04	-0.03	0.00	3.00	4.69E-05
3	0.39	0.24	0.06	3	0.38	0.09	-0.02	4.50	1.67E-04
4	0.64	0.39	0.10	4	1.11	0.48	-0.04	6.00	7.97E-04
5	0.99	0.60	0.15	5	2.48	1.19	-0.07	7.50	1.93E-03
6	1.34	0.82	0.20	6	3.91	1.91	0.00	9.00	2.95E-03
7	1.64	1.00	0.25	7	5.01	2.47	0.05	10.50	3.71E-03
8	1.91	1.16	0.29	8	5.71	2.81	0.08	12.00	4.19E-03
9	2.26	1.38	0.34	9	5.79	3.34	0.13	13.50	4.94E-03
10	2.76	1.68	0.42	10	7.35	4.10	0.20	15.00	5.98E-03
11	2.89	1.77	0.43	11	8.96	4.39	0.24	16.50	6.40E-03
12	3.22	1.97	0.48	12	8.94	4.86	0.28	18.00	7.06E-03
13	3.44	2.10	0.52	13	9.81	5.29	0.31	19.50	7.66E-03
14	3.77	2.30	0.57	14	12.03	5.90	0.36	21.00	8.52E-03
15	4.07	2.49	0.61	15	13.23	6.47	0.41	22.50	9.33E-03

L-9.15

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

16	4.23	2.58	0.64	16	14.47	7.14	0.46	24.00	1.03E-02
17	4.36	2.66	0.66	17	18.54	8.44	0.70	25.50	1.19E-02
18	4.80	2.93	0.72	18	24.20	13.69	1.38	27.00	1.89E-02
19	4.88	2.98	0.73	19	-	16.17	1.57	28.50	2.25E-02

MODEL-5.1											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	27.00	23.00	21.00	15.00	14.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	26.98	22.99	21.00	14.99	14.00	1	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00
2	26.97	22.98	20.99	14.91	14.01	2	0.03	0.02	0.01	0.09	-0.01
3	26.54	22.95	20.98	14.83	14.03	3	0.46	0.05	0.02	0.17	-0.03
4	25.80	22.57	20.96	14.76	14.06	4	1.20	0.43	0.04	0.24	-0.06
5	24.88	21.09	20.95	14.68	14.12	5	2.12	1.91	0.05	0.32	-0.12
6	23.76	20.50	20.94	14.61	14.20	6	3.24	2.50	0.06	0.39	-0.20
7	22.92	20.05	20.92	14.56	14.25	7	4.08	2.95	0.08	0.44	-0.25
8	21.90	19.50	20.90	14.50	14.30	8	5.10	3.50	0.10	0.50	-0.30
9	19.45	19.13	20.88	14.44	14.38	9	7.55	3.87	0.12	0.56	-0.38
10	18.98	18.97	20.84	14.39	14.42	10	8.02	4.03	0.16	0.61	-0.42
11	17.47	18.91	20.73	14.35	14.47	11	9.53	4.09	0.27	0.65	-0.47
12	16.28	17.89	20.68	14.32	14.55	12	10.72	5.11	0.32	0.68	-0.55
13	14.32	16.37	20.52	14.25	14.58	13	12.68	6.63	0.48	0.75	-0.58
14	13.72	15.53	20.41	14.20	14.64	14	13.28	7.47	0.59	0.80	-0.64

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

15	11.25	14.72	20.32	14.16	14.69	15	15.75	8.28	0.68	0.84	-0.69
16	7.55	12.50	20.12	14.12	14.76	16	19.45	10.50	0.88	0.88	-0.76
17	4.45	11.95	19.96	14.11	14.78	17	22.55	11.05	1.04	0.89	-0.78
18	0.00	8.35	19.73	14.07	14.81	18	27.00	14.65	1.27	0.93	-0.81
19.2	-3.69	6.05	19.53	14.06	14.81	19.2	30.69	16.95	1.47	0.94	-0.81

MODEL-5.1									
FAKTOR KOREKSI				PEMBACAAN DIAL				MODEL-5.1	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.02	0.01	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1.50	1.19E-07
2	0.22	0.13	0.03	2	-0.19	-0.11	-0.02	3.00	1.40E-04
3	0.44	0.27	0.07	3	0.02	-0.22	-0.05	4.50	2.64E-04
4	0.66	0.40	0.10	4	0.54	0.03	-0.06	6.00	1.35E-04
5	0.96	0.59	0.14	5	1.16	1.32	-0.09	7.50	2.18E-03
6	1.29	0.79	0.19	6	1.95	1.71	-0.13	9.00	2.84E-03
7	1.51	0.92	0.23	7	2.57	2.03	-0.15	10.50	3.35E-03
8	1.75	1.07	0.26	8	3.35	2.43	-0.16	12.00	3.99E-03
9	2.06	1.26	0.31	9	5.49	2.61	-0.19	13.50	4.31E-03
10	2.26	1.38	0.34	10	5.76	2.65	-0.18	15.00	4.36E-03
11	2.45	1.50	0.37	11	7.08	2.59	-0.10	16.50	4.14E-03
12	2.69	1.64	0.41	12	8.03	3.47	-0.09	18.00	5.46E-03
13	2.91	1.78	0.44	13	9.77	4.85	0.04	19.50	7.40E-03

L-9.17

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

14	3.15	1.93	0.47	14	10.13	5.54	0.12	21.00	8.35E-03
15	3.35	2.05	0.50	15	12.40	6.23	0.18	22.50	9.32E-03
16	3.59	2.19	0.54	16	15.86	8.31	0.34	24.00	1.23E-02
17	3.66	2.23	0.55	17	18.89	8.82	0.49	25.50	1.28E-02
18	3.81	2.33	0.57	18	23.19	12.32	0.70	27.00	1.79E-02
19.2	3.83	2.34	0.58	19.2	26.86	14.61	0.89	28.80	2.11E-02

MODEL-5.2											
PEMBACAAN DIAL						DATA LENDUTAN					
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	DIAL 4 (mm)	DIAL 5 (mm)
0	27.00	25.00	25.00	11.00	17.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	26.78	24.91	24.98	10.98	17.01	1	0.22	0.09	0.02	0.02	-0.01
2	26.11	24.55	24.96	10.93	17.10	2	0.89	0.45	0.04	0.07	-0.10
3	25.40	24.19	24.90	10.87	17.17	3	1.60	0.81	0.10	0.13	-0.17
4	24.71	23.83	24.85	10.80	17.21	4	2.29	1.17	0.15	0.20	-0.21
5	23.99	23.45	24.80	10.72	17.25	5	3.01	1.55	0.20	0.28	-0.25
6	23.25	23.09	24.75	10.65	17.29	6	3.75	1.91	0.25	0.35	-0.29
7	22.55	22.71	24.70	10.57	17.32	7	4.45	2.29	0.30	0.43	-0.32
8	21.78	22.33	24.65	10.49	17.35	8	5.22	2.67	0.35	0.51	-0.35
9	20.85	21.90	24.59	10.40	17.38	9	6.15	3.10	0.41	0.60	-0.38
10	20.00	21.40	24.53	10.31	17.43	10	7.00	3.60	0.47	0.69	-0.43
11	18.30	20.55	24.40	10.20	17.50	11	8.70	4.45	0.60	0.80	-0.50
12	16.08	19.33	24.23	10.10	17.54	12	10.92	5.67	0.77	0.90	-0.54

L-9.18

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

13	14.00	18.22	24.09	9.99	17.58	13	13.00	6.78	0.91	1.01	-0.58
14	12.54	17.38	24.00	9.91	17.63	14	14.46	7.62	1.00	1.09	-0.63
15	11.63	16.40	23.87	9.84	17.70	15	15.37	8.60	1.13	1.16	-0.70
16	8.80	15.40	23.74	9.76	17.81	16	18.20	9.60	1.26	1.24	-0.81
17	6.88	14.45	23.59	9.73	17.94	17	20.12	10.55	1.41	1.27	-0.94
18	3.67	13.63	23.38	9.66	18.00	18	23.33	11.37	1.62	1.34	-1.00
19	-1.15	9.30	23.05	9.58	18.06	19	28.15	15.70	1.95	1.42	-1.06
20	-5.37	6.07	22.60	8.51	18.09	20	32.37	18.93	2.40	2.49	-1.09
20.8	-9.33	3.80	22.35	8.49	18.11	20.8	36.33	21.20	2.65	2.51	-1.11
21	-12.64	1.90	22.14	8.42	18.12	21	39.64	23.10	2.86	2.58	-1.12

MODEL-5.2									
FAKTOR KOREKSI				PEMBACAAN DIAL				MODEL-5.2	
BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	BEBAN (kN)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)	MOMEN (kNm)	ROTASI (rad)
0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
1	0.07	0.04	0.01	1	0.15	0.05	0.01	1.50	6.12E-05
2	0.37	0.23	0.06	2	0.52	0.22	-0.02	3.00	3.67E-04
3	0.66	0.40	0.10	3	0.94	0.41	0.00	4.50	6.27E-04
4	0.90	0.55	0.14	4	1.39	0.62	0.01	6.00	9.34E-04
5	1.16	0.71	0.17	5	1.85	0.84	0.03	7.50	1.26E-03
6	1.40	0.86	0.21	6	2.35	1.05	0.04	9.00	1.56E-03
7	1.64	1.00	0.25	7	2.81	1.29	0.05	10.50	1.90E-03
8	1.88	1.15	0.28	8	3.34	1.52	0.07	12.00	2.24E-03

L-9.19

Lampiran 9 Data Hasil Pengukuran Lendutan Balok Dengan Perkuatan

9	2.15	1.31	0.32	9	4.00	1.79	0.09	13.50	2.62E-03
10	2.45	1.50	0.37	10	4.55	2.10	0.10	15.00	3.08E-03
11	2.85	1.74	0.43	11	5.85	2.71	0.17	16.50	3.91E-03
12	3.15	1.93	0.47	12	7.77	3.74	0.30	18.00	5.31E-03
13	3.48	2.13	0.52	13	9.52	4.65	0.39	19.50	6.57E-03
14	3.77	2.30	0.57	14	10.69	5.32	0.43	21.00	7.52E-03
15	4.07	2.49	0.61	15	11.30	6.11	0.52	22.50	8.61E-03
16	4.49	2.74	0.68	16	13.71	6.86	0.58	24.00	9.65E-03
17	4.84	2.96	0.73	17	15.28	7.59	0.68	25.50	1.06E-02
18	5.12	3.13	0.77	18	18.21	8.24	0.85	27.00	1.14E-02
19	5.43	3.32	0.82	19	22.72	12.38	1.13	28.50	1.73E-02
20	7.84	4.79	1.18	20	24.53	14.14	1.22	30.00	1.99E-02
21	7.93	4.84	1.19	21	28.40	16.36	1.46	31.50	2.29E-02
22	8.10	4.95	1.22	22	31.54	18.15	1.64	33.00	2.54E-02

L-9.20



**FOTO BENDA UJI EKSISTING**



L-10.1

**FOTO PERSIAPAN BENDA UJI**





**FOTO PERBAIKAN BENDA UJI**

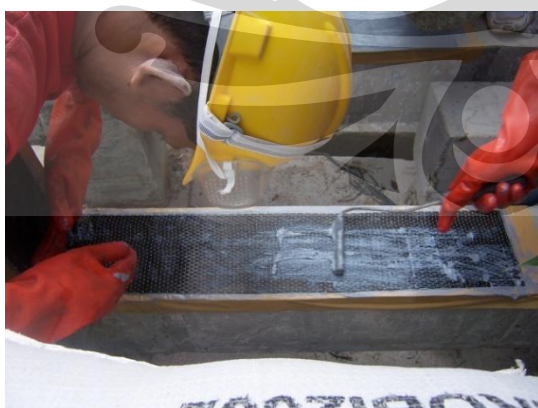


**FOTO PERBAIKAN BENDA UJI**





**FOTO PERKUATAN BENDA UJI**

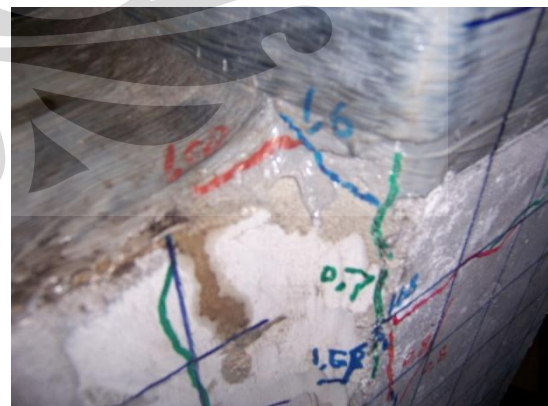
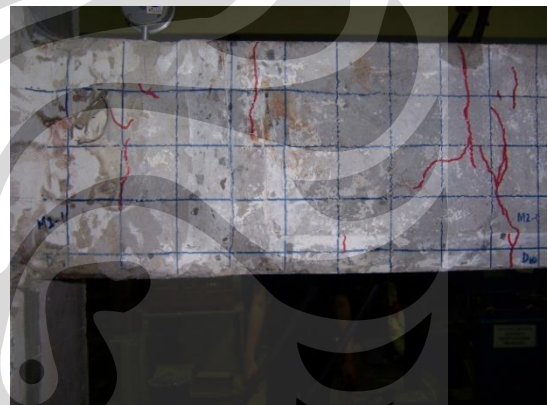
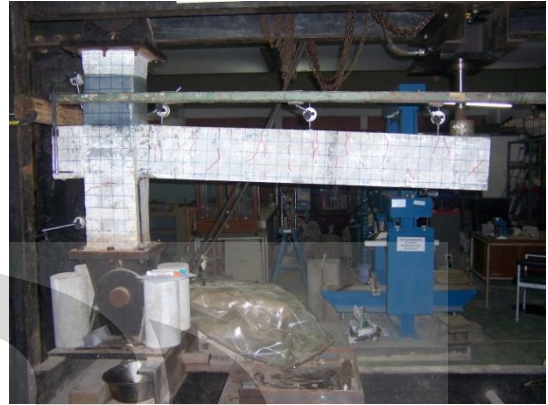


**FOTO PERSIAPAN PENGUJIAN BENDA UJI**

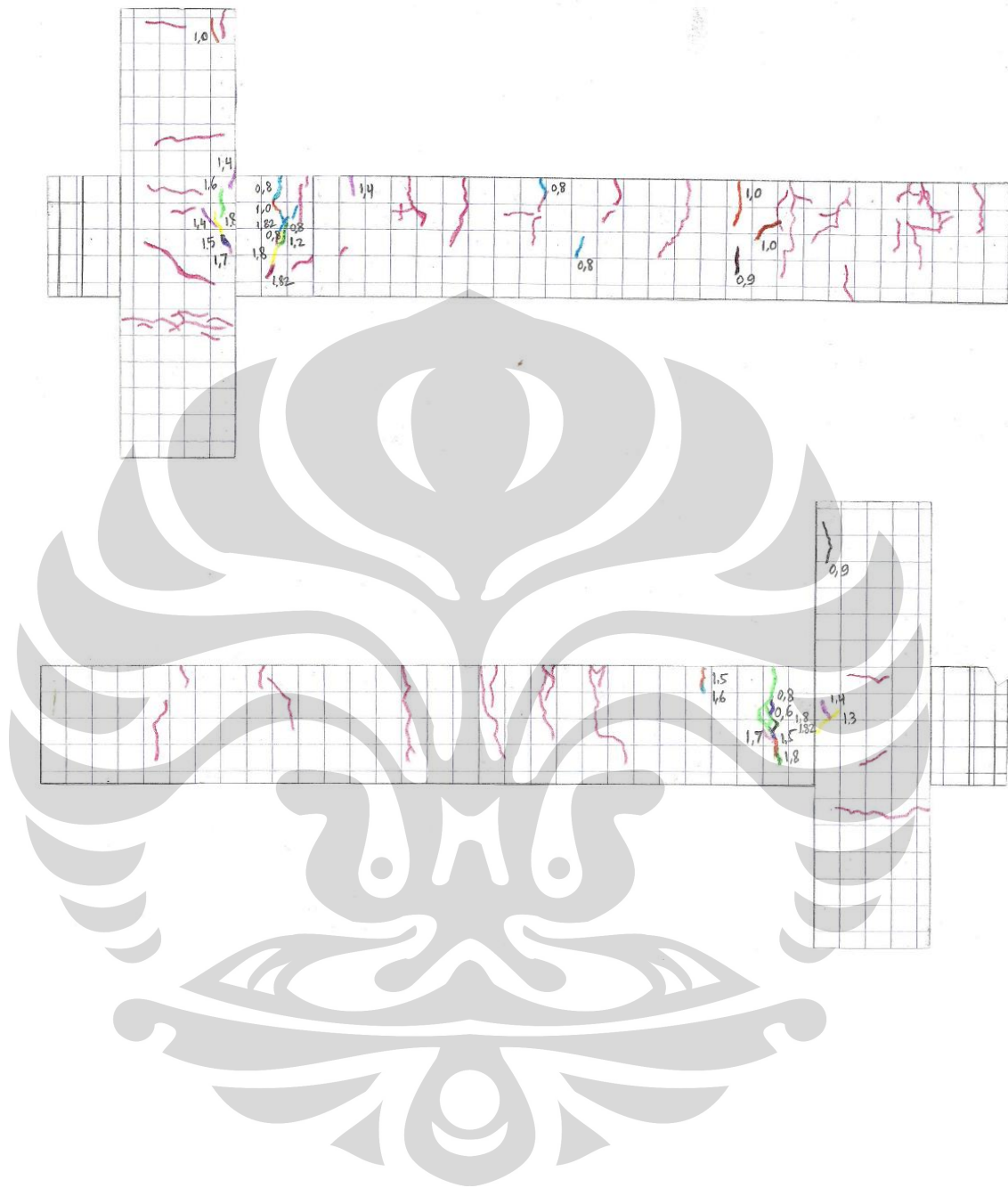




**FOTO PENGUJIAN BENDA UJI**



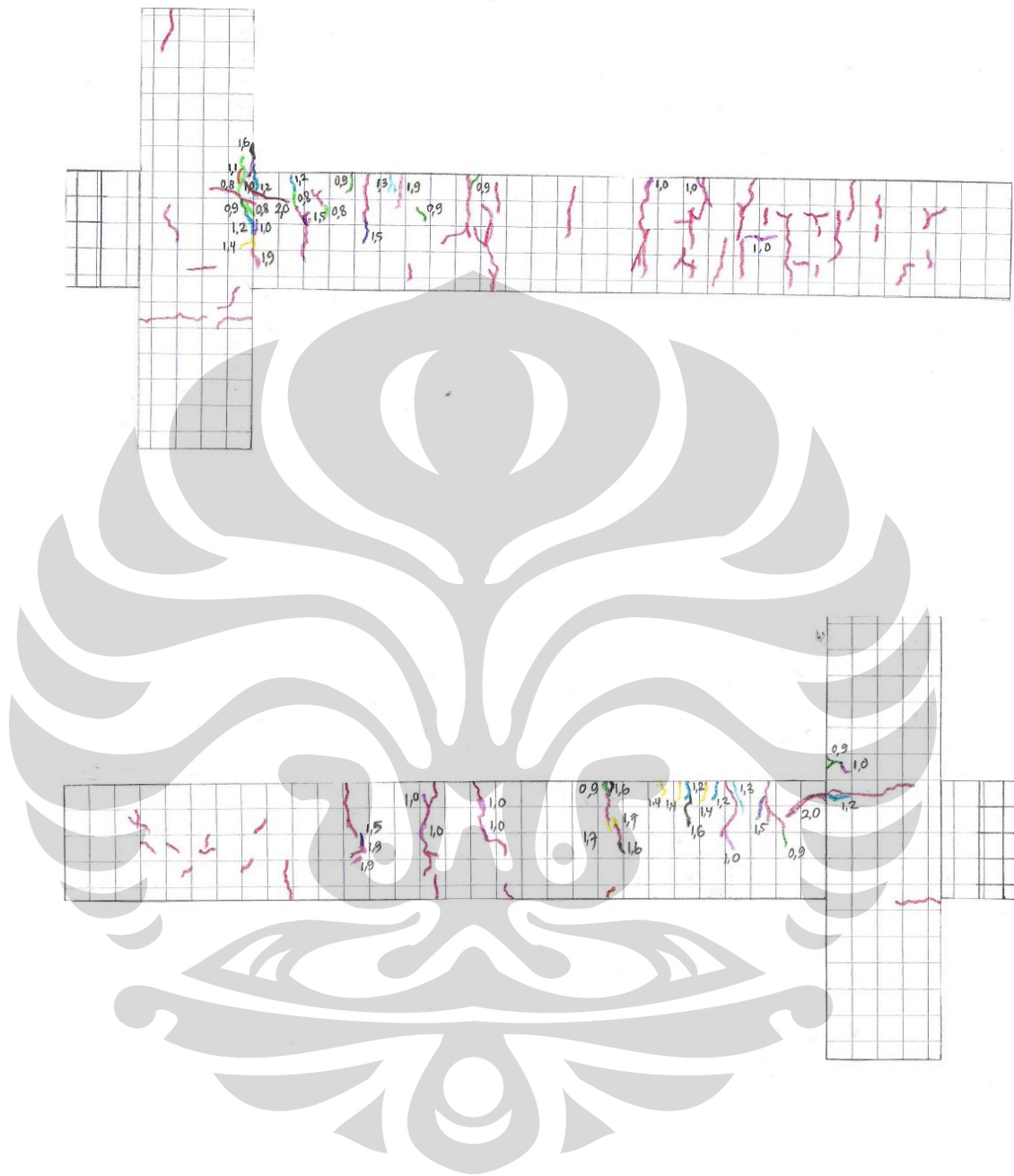
**POLA RETAK M-1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



L-11.1



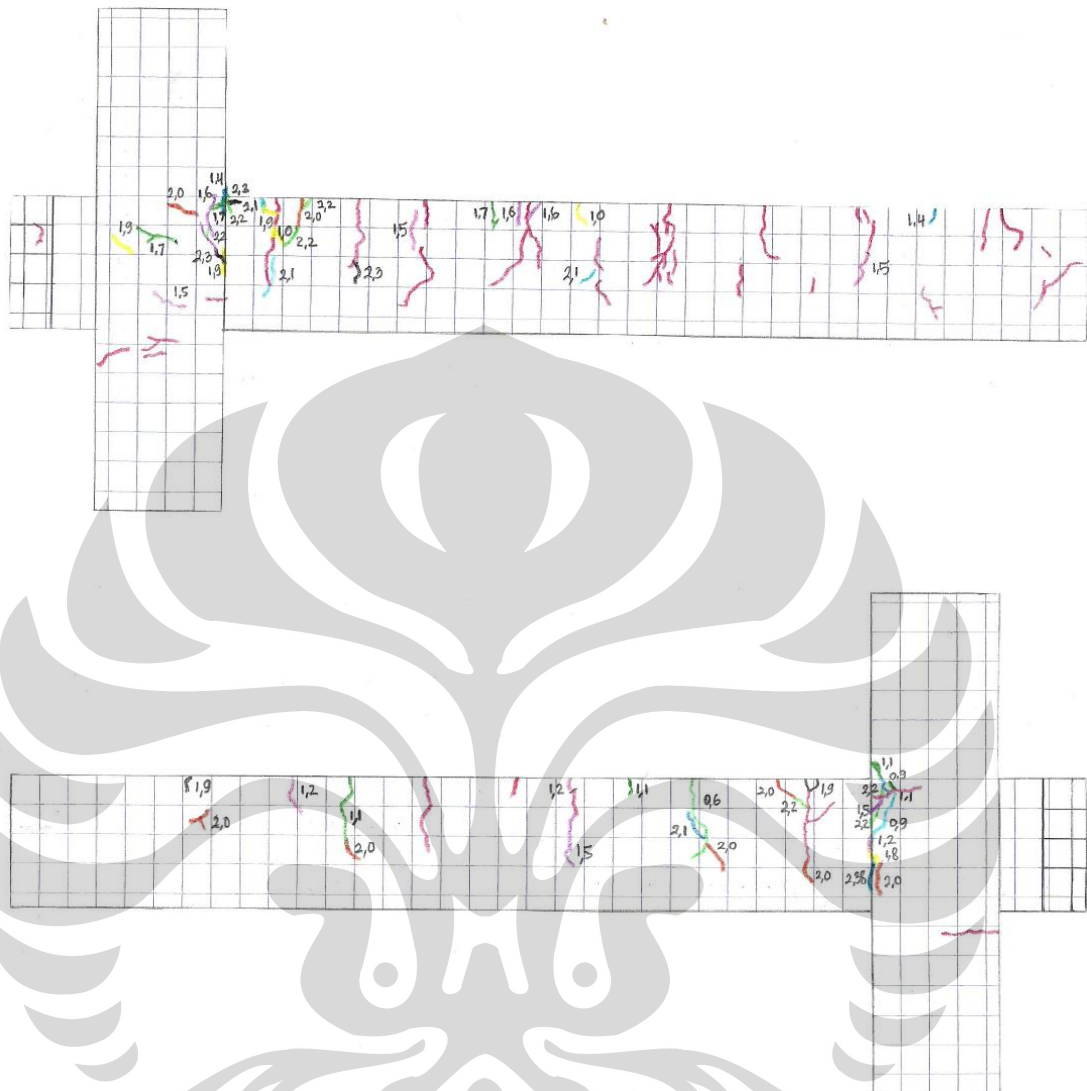
**POLA RETAK M-2.1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



**POLA RETAK M-2.2 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**

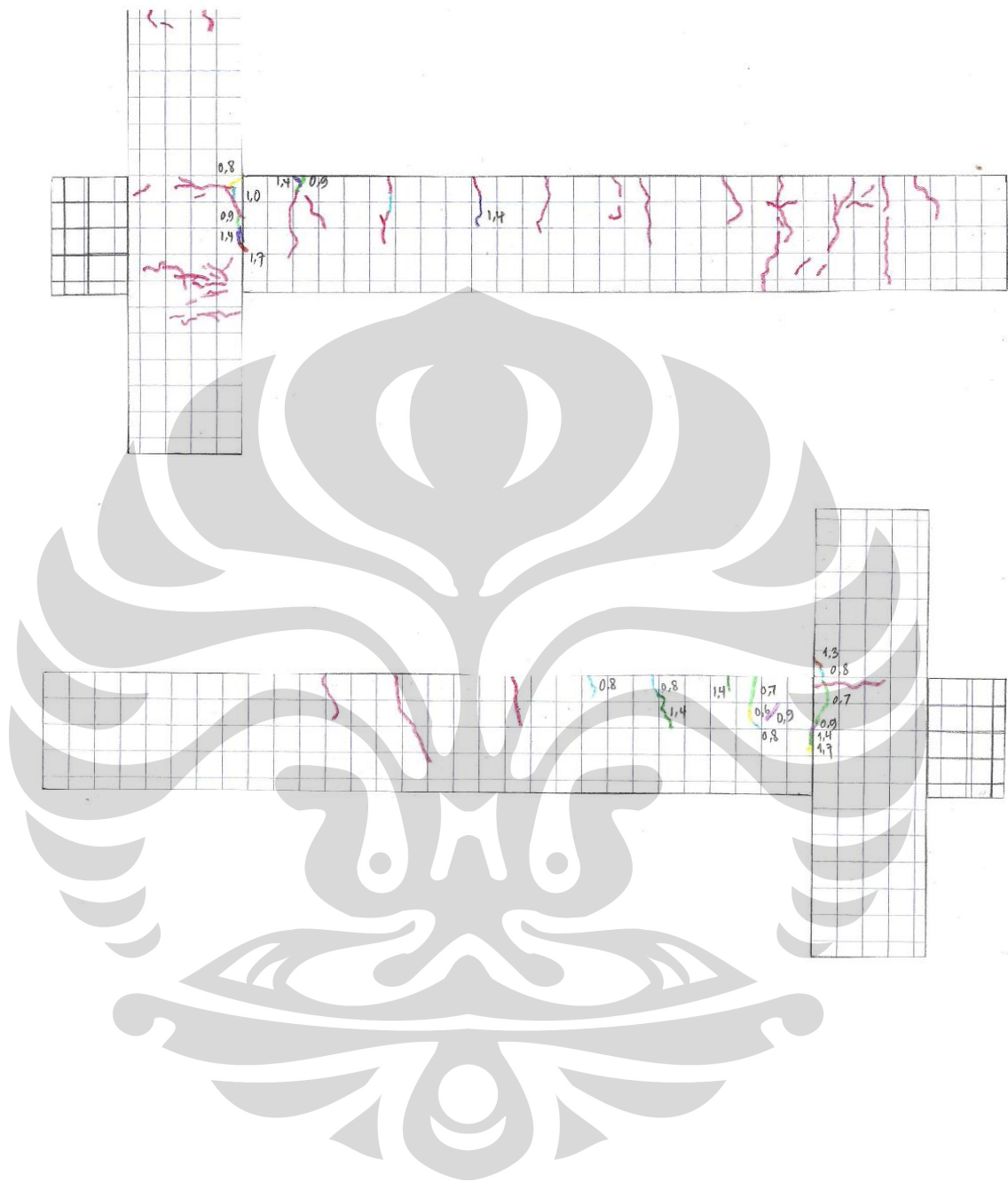


**POLA RETAK M-3.1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**

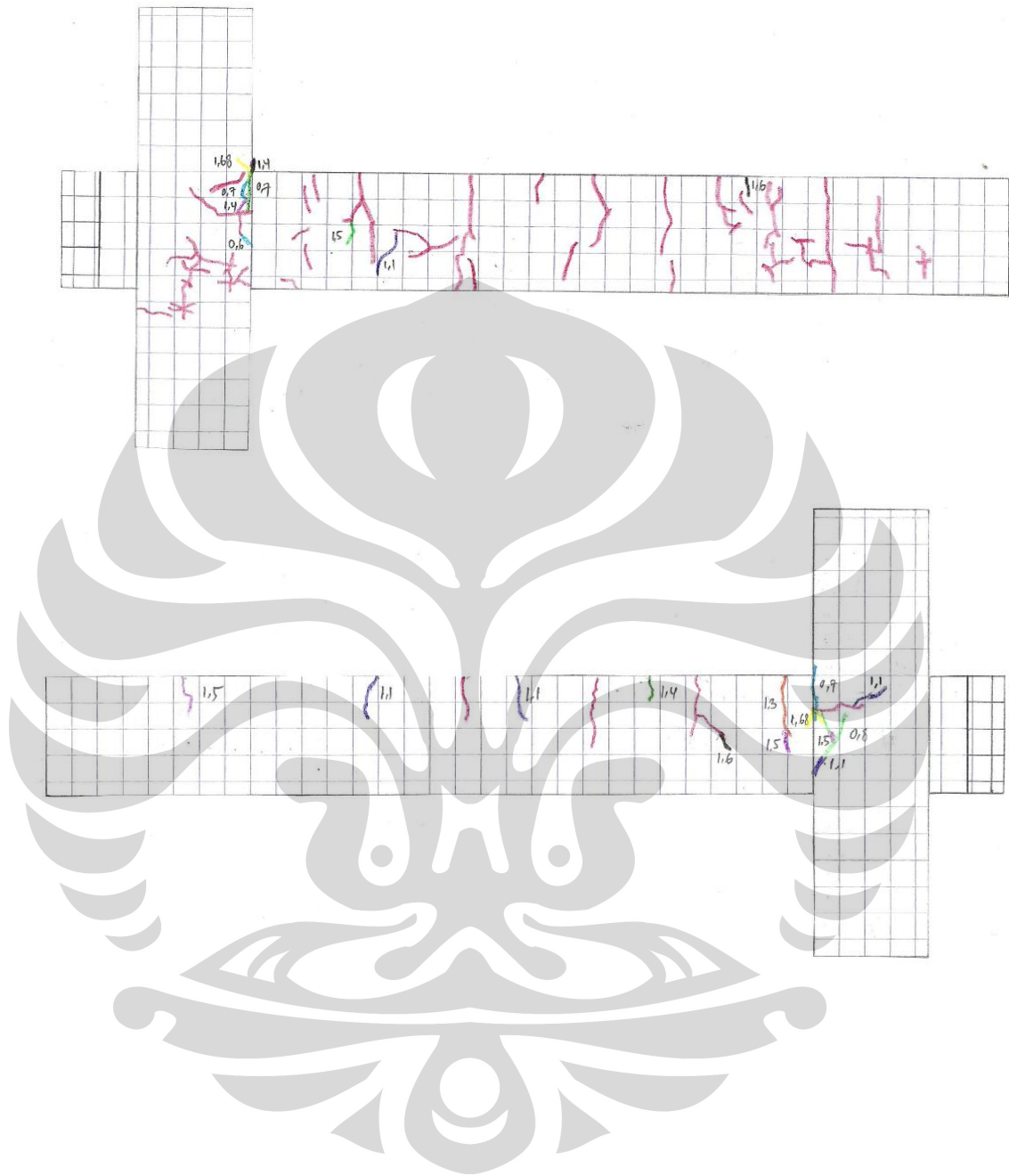


L-11.4

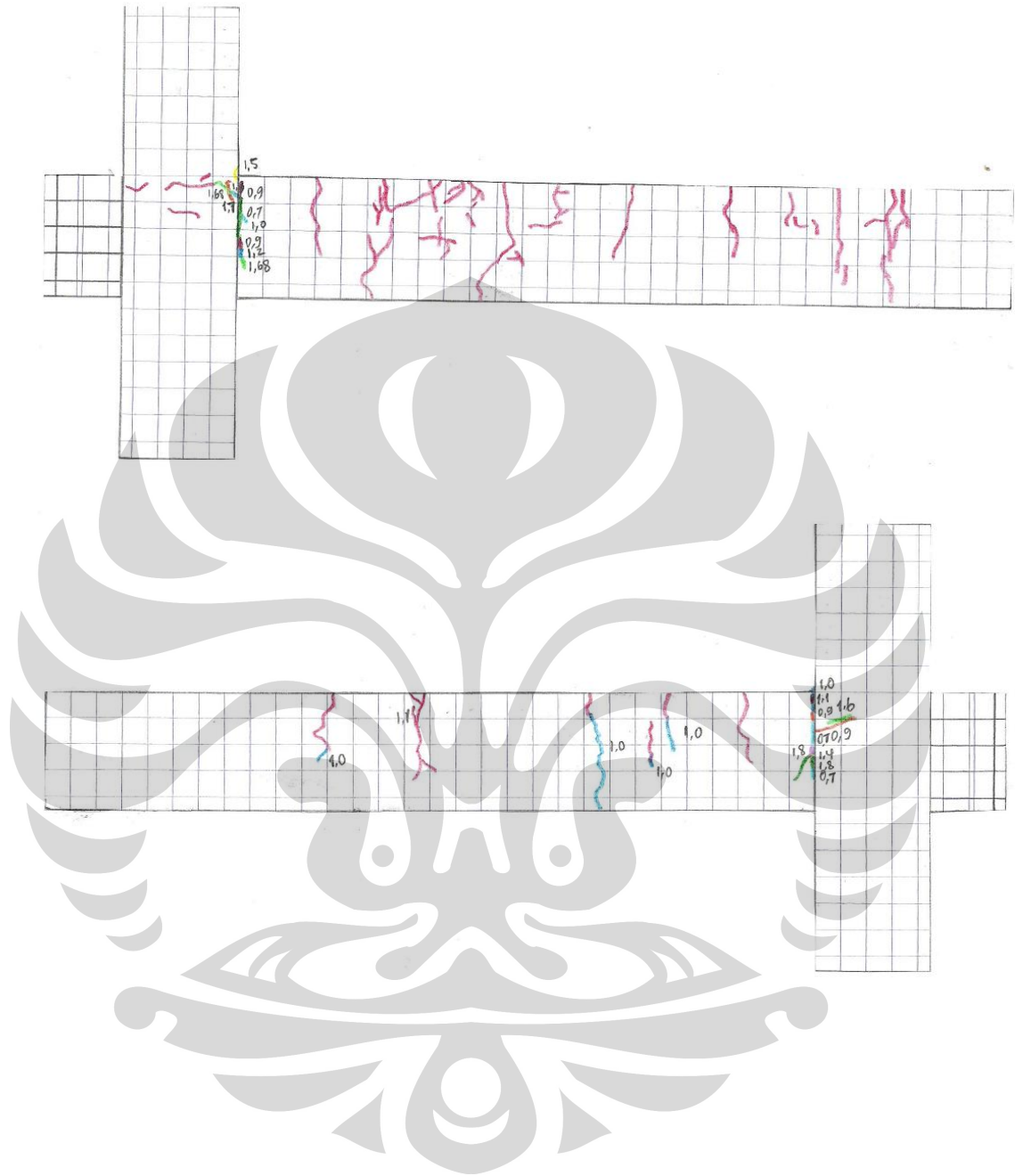
**POLA RETAK M-3.2 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



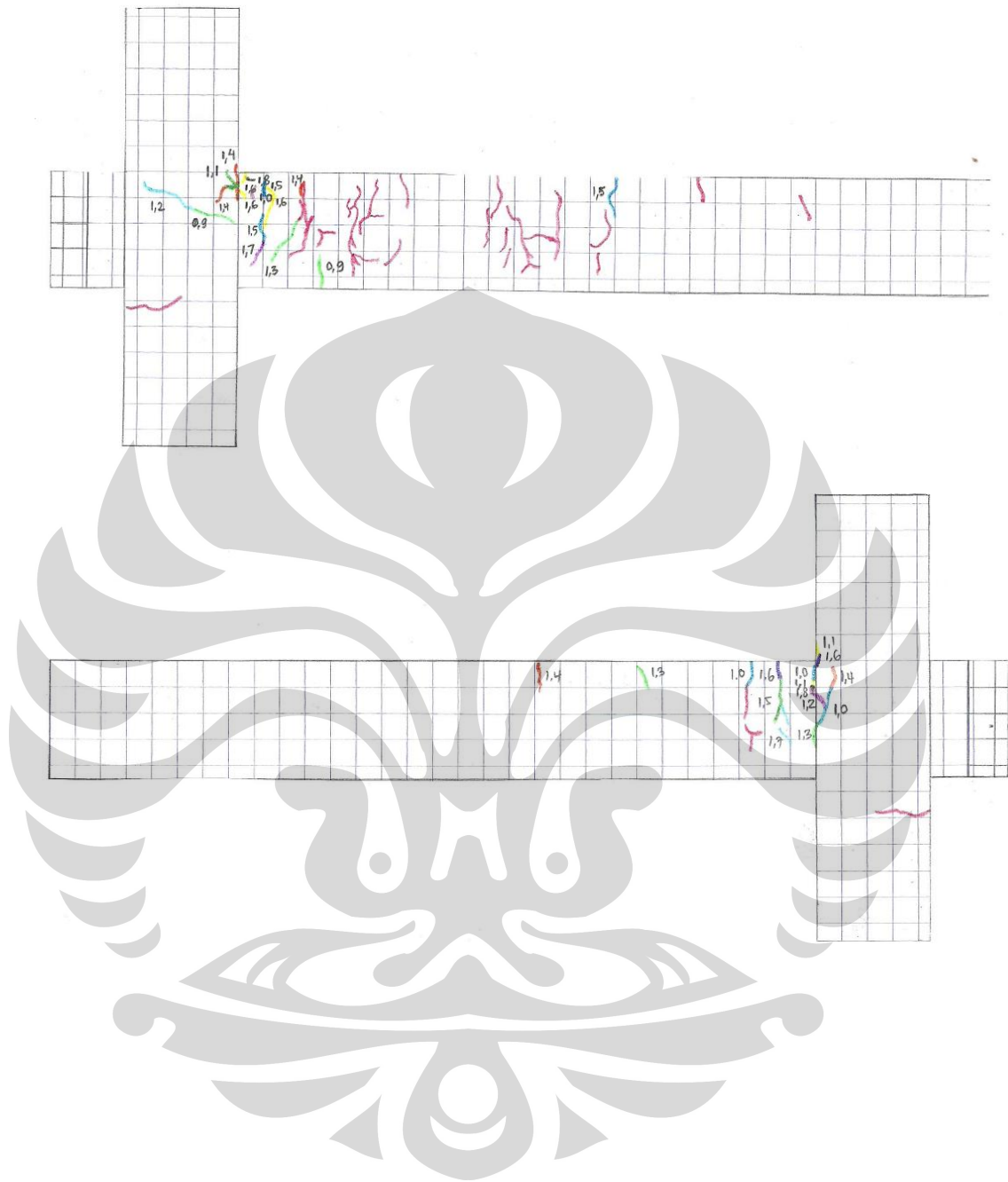
**POLA RETAK M-4.1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



**POLA RETAK M-4.2 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**

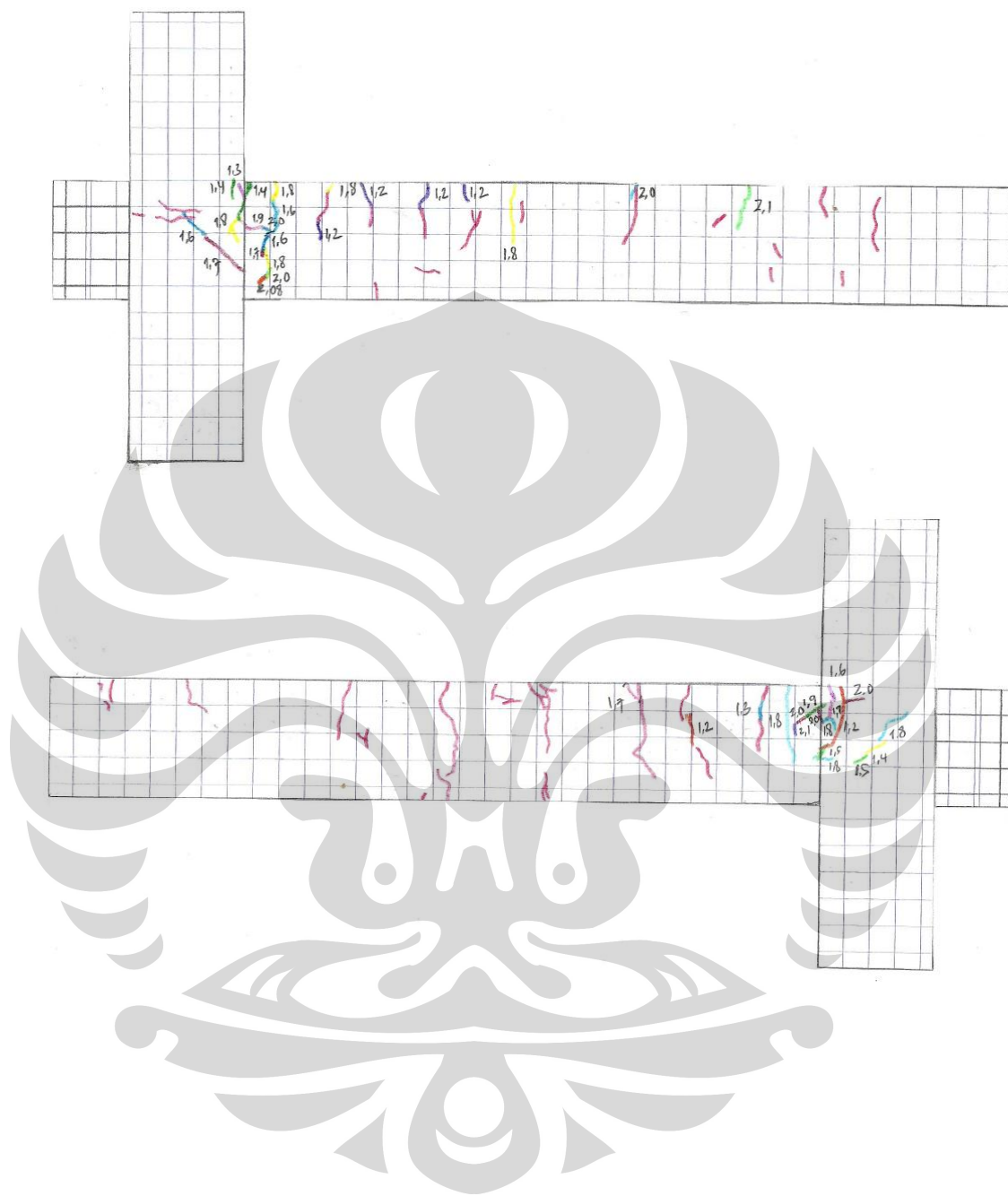


**POLA RETAK M-5.1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



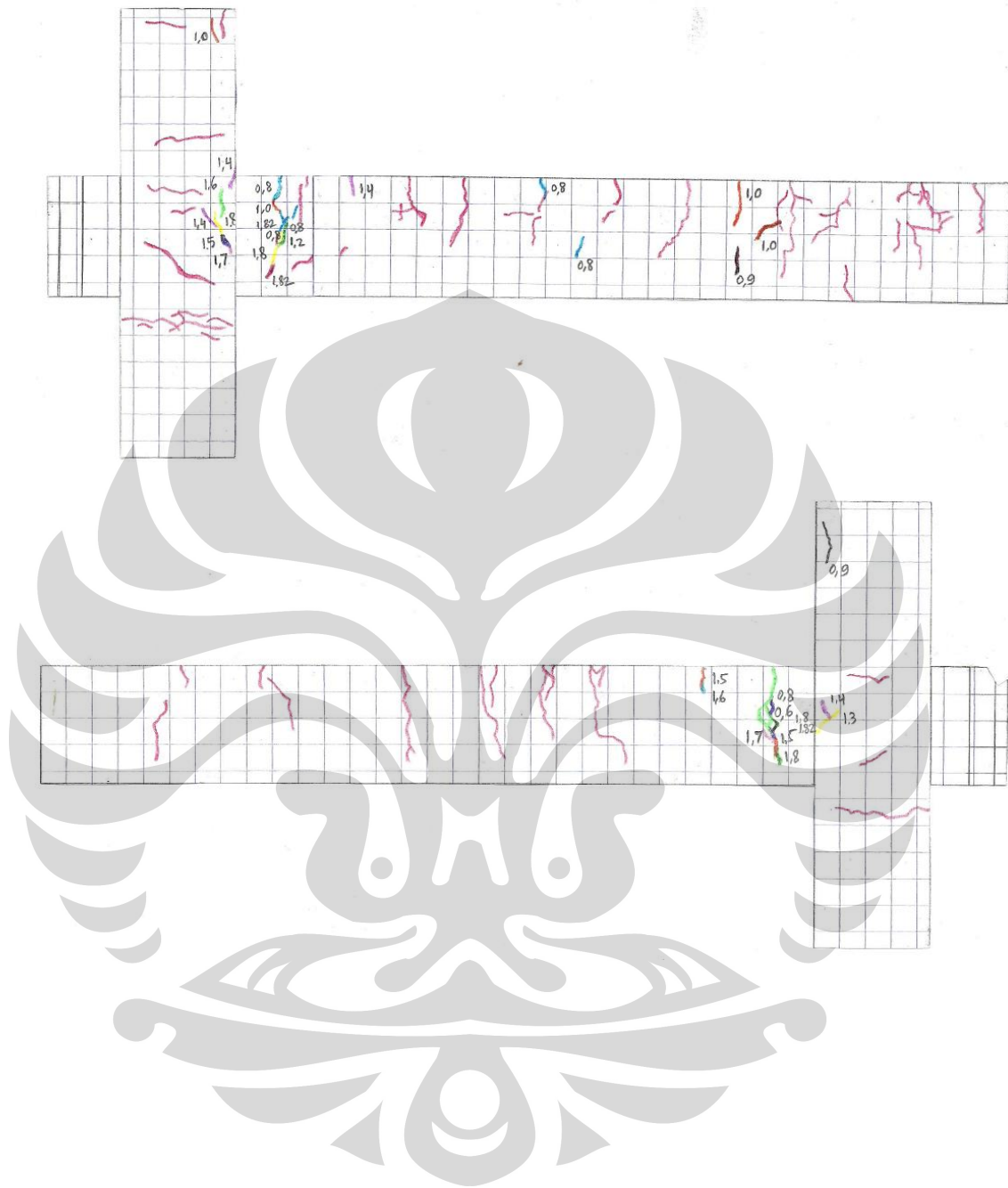


**POLA RETAK M-5.2 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



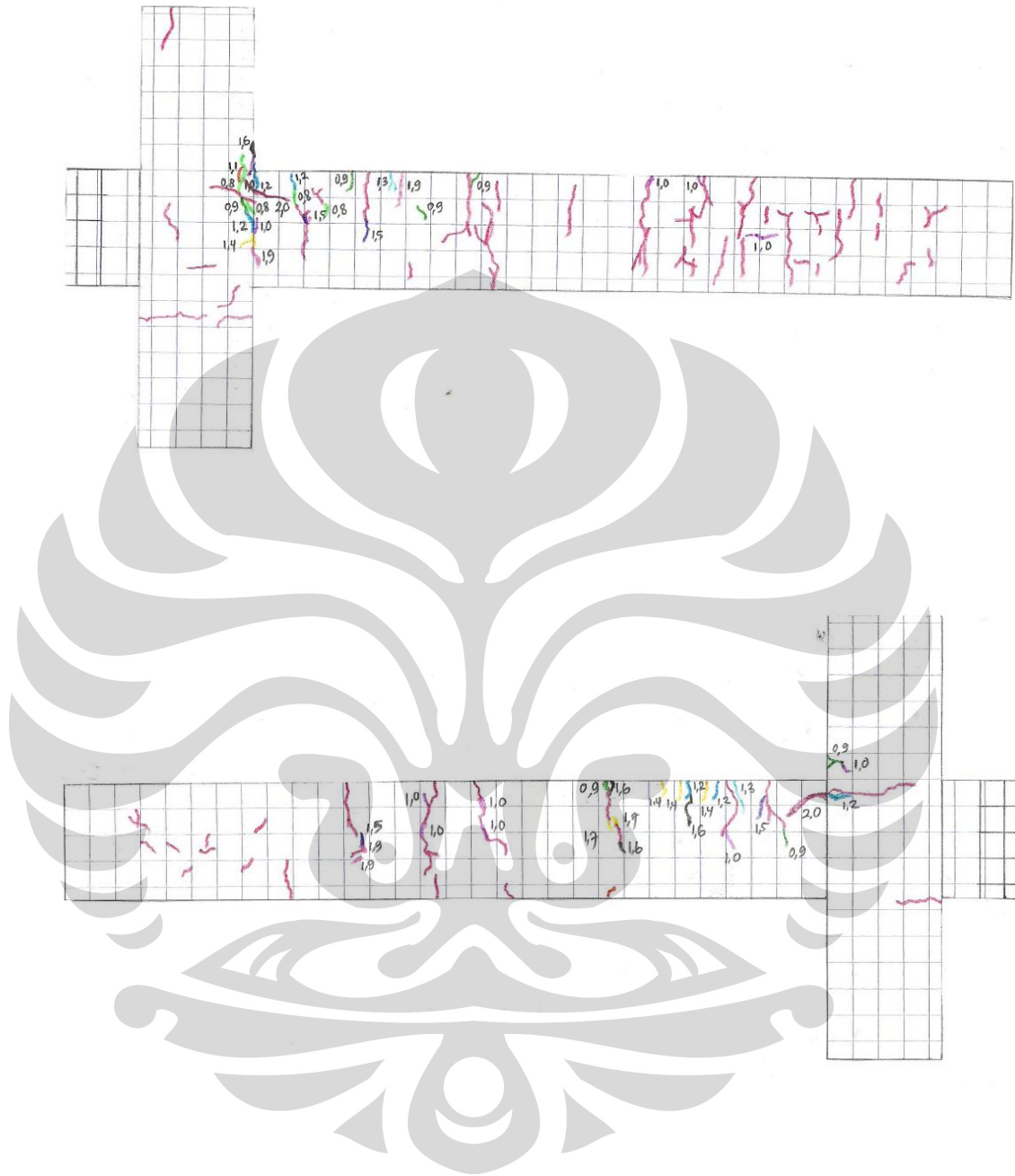


**POLA RETAK M-1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



L-11.1

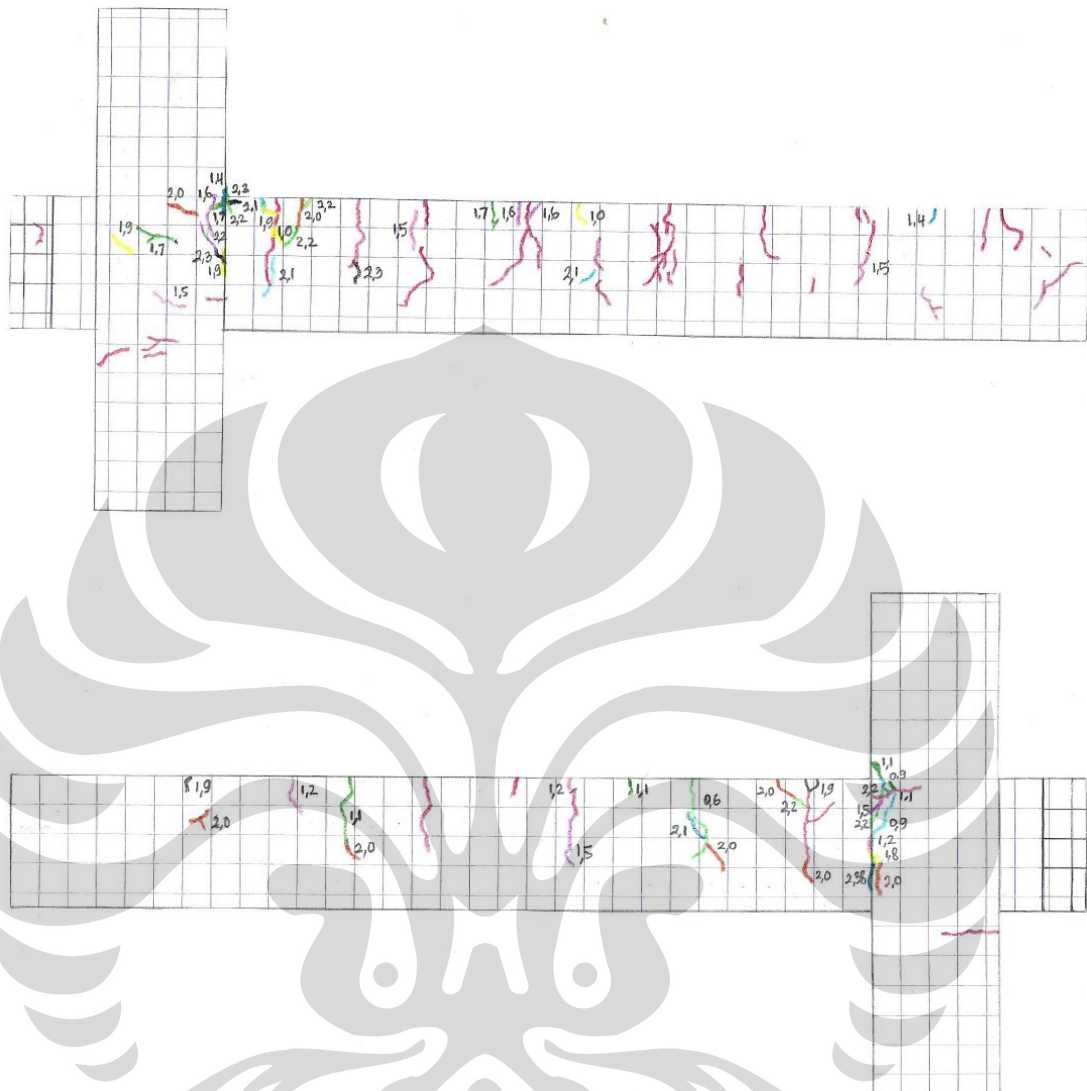
**POLA RETAK M-2.1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



**POLA RETAK M-2.2 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**

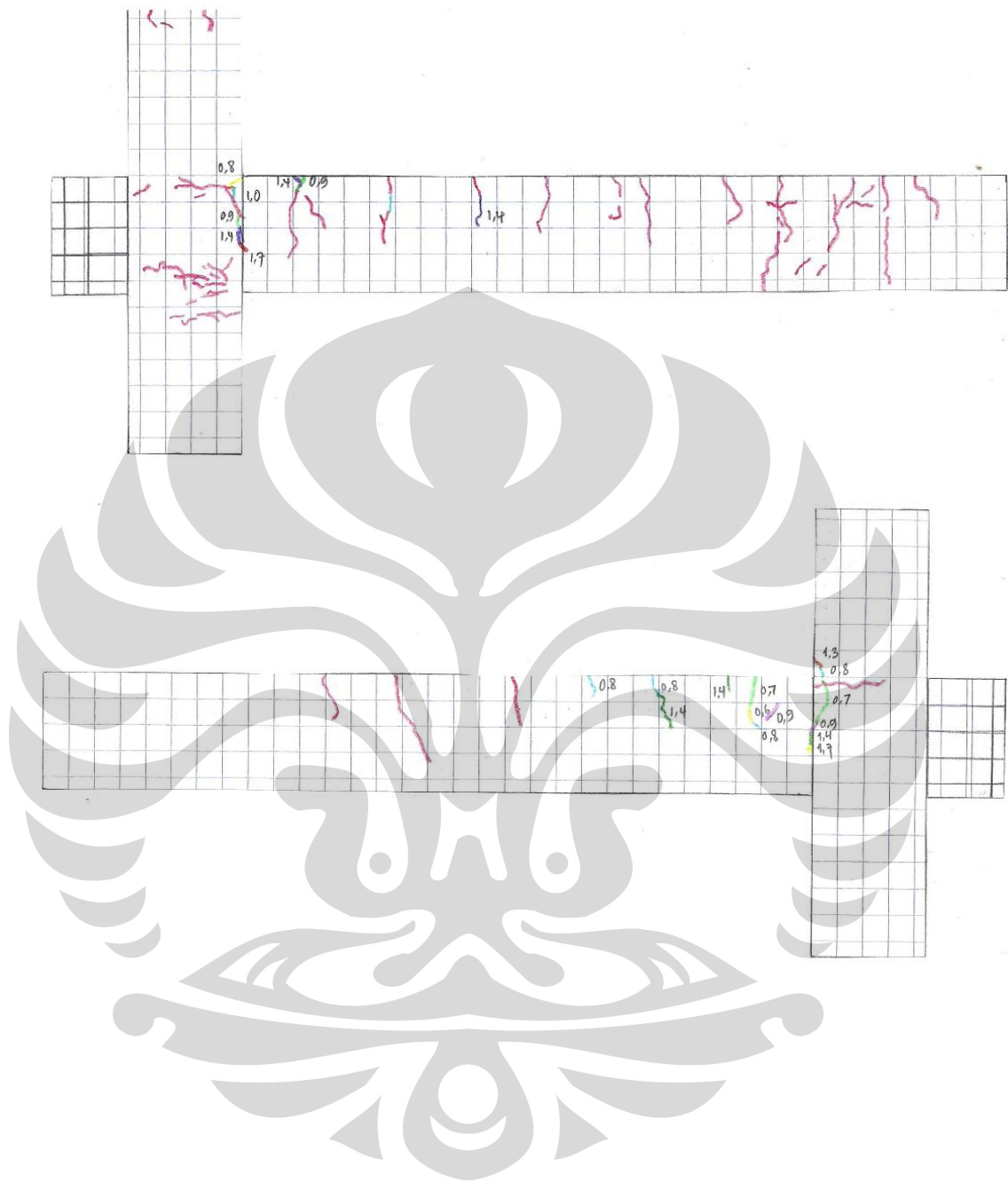


**POLA RETAK M-3.1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**

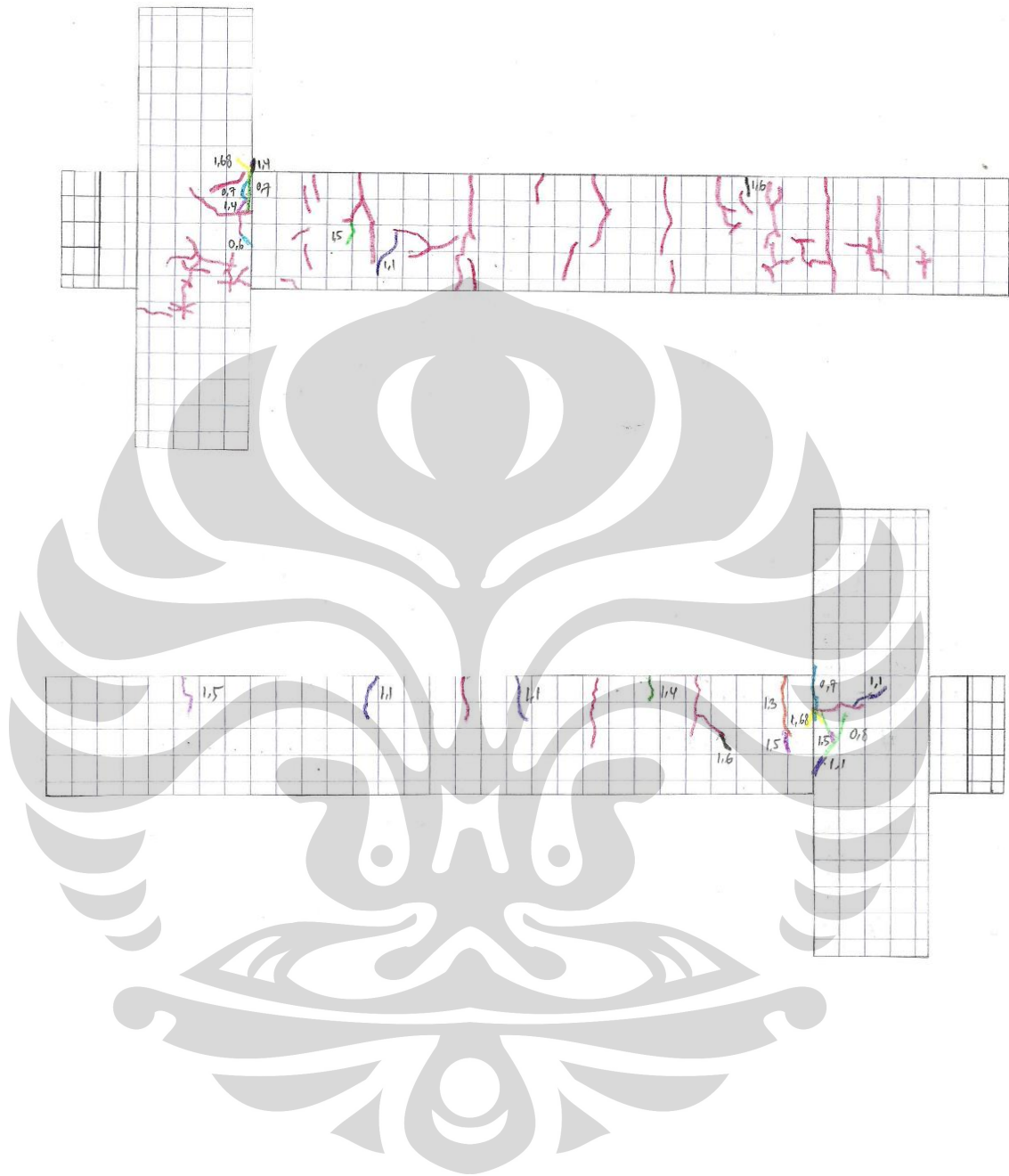


L-11.4

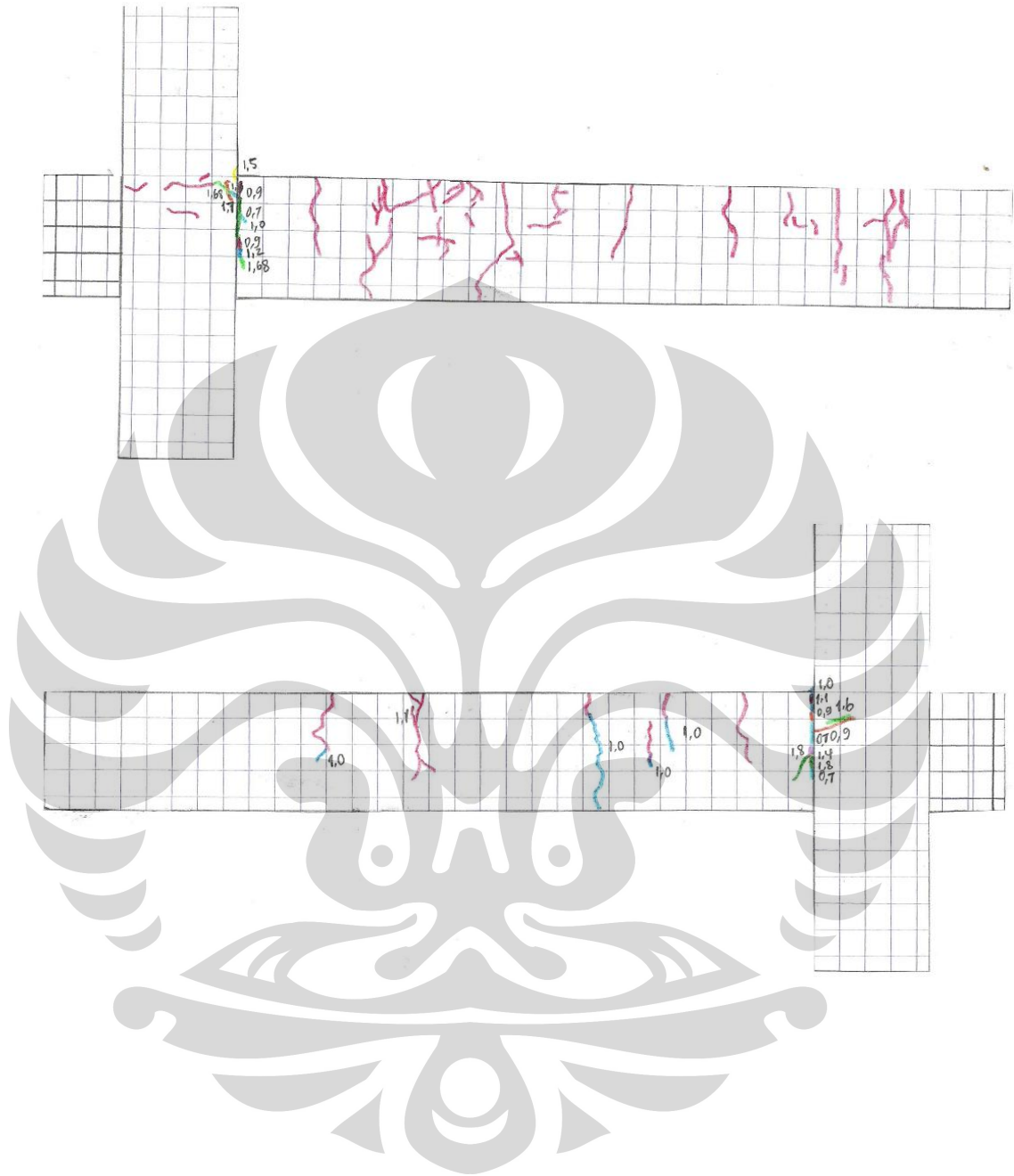
**POLA RETAK M-3.2 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



**POLA RETAK M-4.1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**

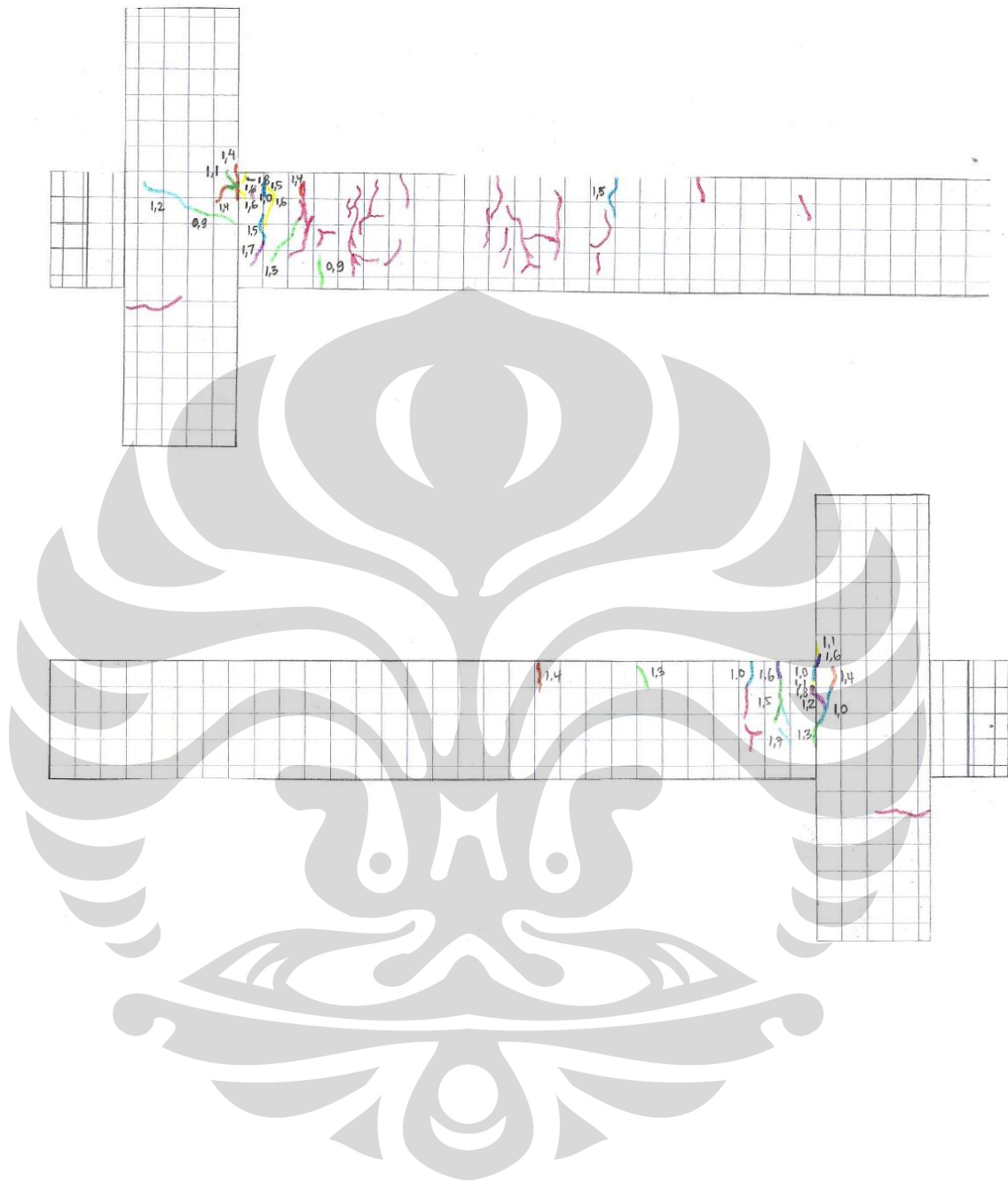


**POLA RETAK M-4.2 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**



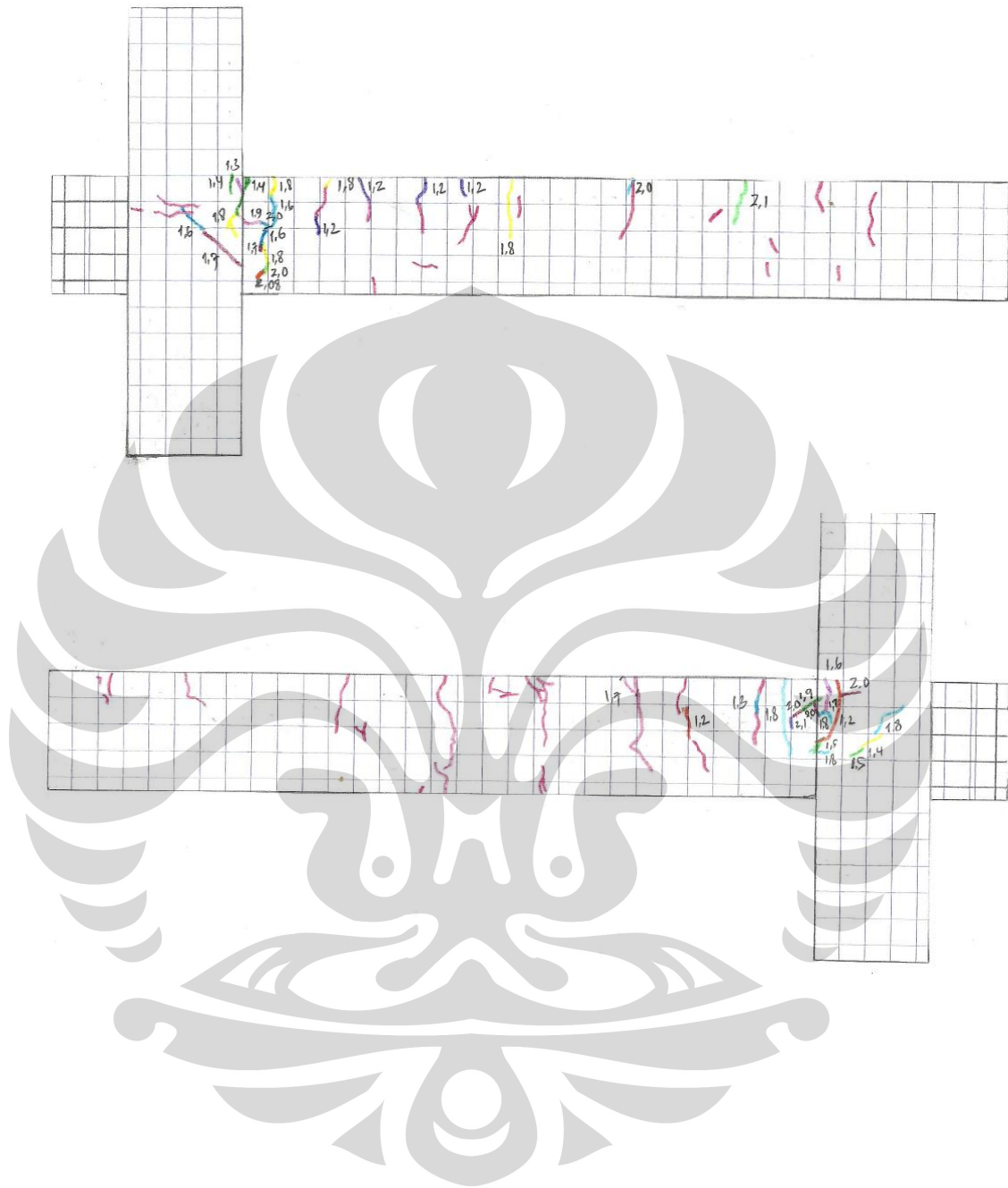


**POLA RETAK M-5.1 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**





**POLA RETAK M-5.2 SESUDAH PERBAIKAN DAN PERKUATAN**





# Strengthening of Structures with Sika CarboDur and Sika Wrap

Construction



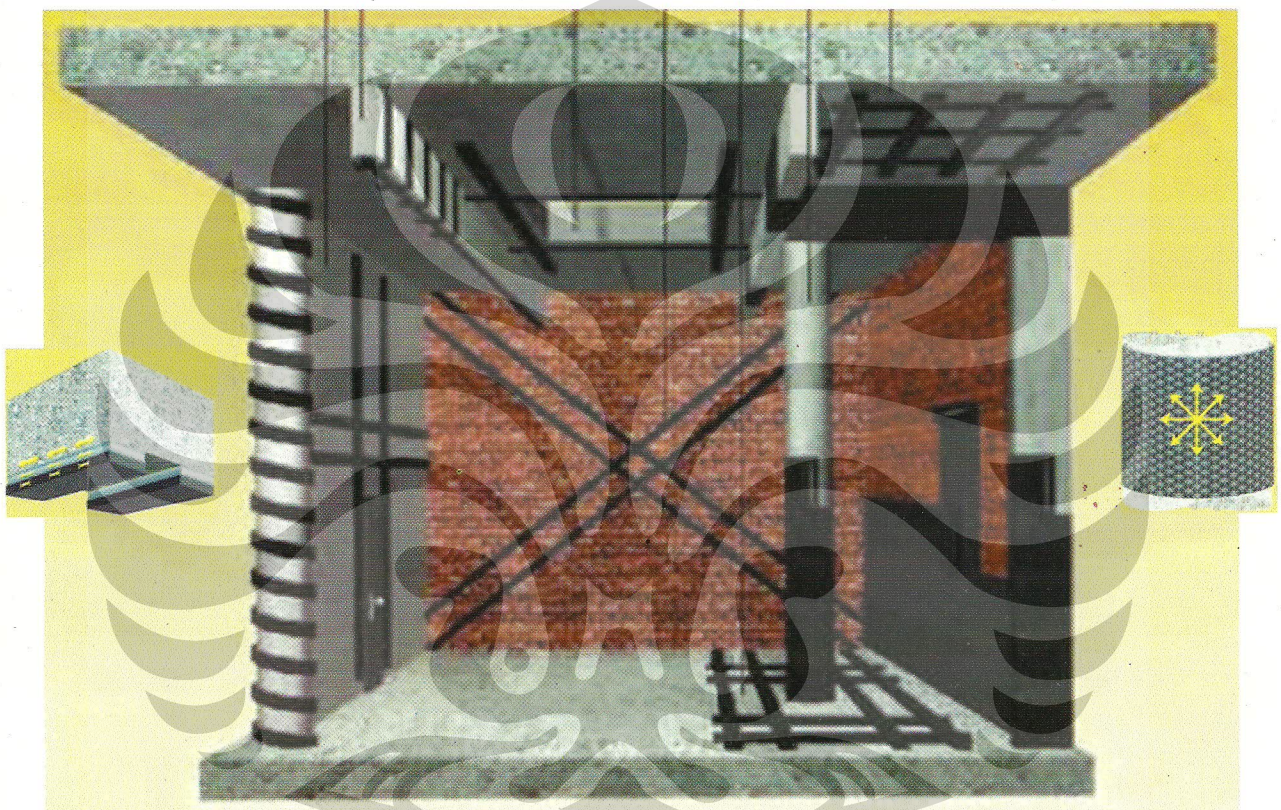
**Non-corroding**  
**Very High Tensile Strength**  
**Light weight**  
**Easy Application - Flexible in Installation**  
**Application in any length**  
**Application even under dynamic load**





## Sika CarboDur Composites System

**Sika CarboDur** Composites are high strength carbon fibres bonded with structural epoxy resins and adhesives for strengthening purposes. They are available both as factory pultruded plates - **Sika CarboDur** plates - which are bonded on site with Sikadur structural epoxy adhesives, and also as woven fabrics - **SikaWrap** fabrics - which are laminated and bonded on site using Sikadur structural epoxy resins.



### Reason of Structural Strengthening

- Inadequate Design
- Insufficient Reinforcement
- Increased Traffic or Live Load
- Increased Load Capacity
- Reinforcement Corrosion
- Change of Use

### Types of Structures

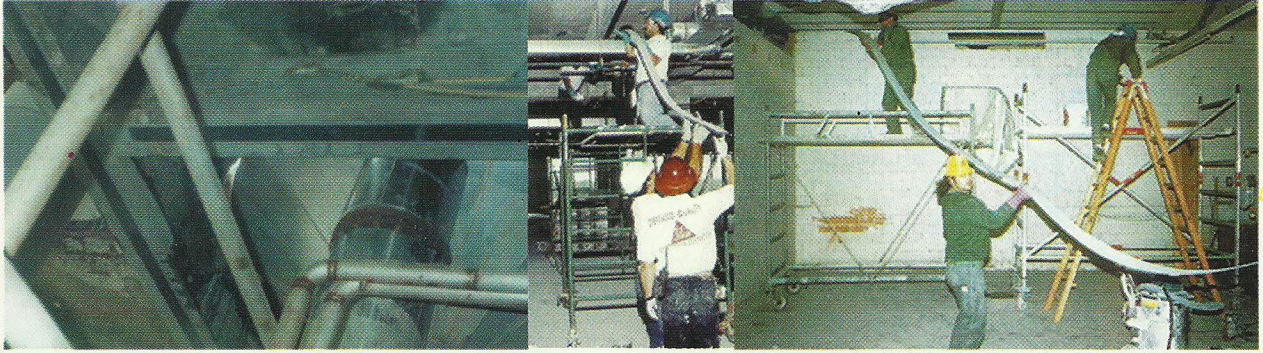
Beam	Slab
Column	Wall

### Types of Strengthening

Flexural	Impact
Shear	Blast
Stiffening	Deflection



## Flexibility in Application



## Beam strengthening



## Slab strengthening



## Column strengthening





## Material Characteristics

### Sika CarboDur Plates

Properties	Sika CarboDur S 512/80	Sika CarboDur S 812/120	Sika CarboDur S 1012/160
Tensile Strength	2,800 N/mm <sup>2</sup>	2,800 N/mm <sup>2</sup>	2,800 N/mm <sup>2</sup>
E-modulus	165,000 N/mm <sup>2</sup>	165,000 N/mm <sup>2</sup>	165,000 N/mm <sup>2</sup>
Strain at failure	> 1.7 %	> 1.7 %	> 1.7 %
Thickness	1.2 mm	1.2 mm	1.2 mm
Width	50 mm	80 mm	100 mm

### SikaWrap Fabrics

Properties	SikaWrap 231 C
Tensile Strength	4,900 N/mm <sup>2</sup>
E-modulus	230,000 N/mm <sup>2</sup>
Strain at failure	> 2.1 %
Thickness	0.127 mm
Width	500 mm

### Sikadur Epoxy Adhesives for Sika CarboDur and SikaWrap

Properties	Sikadur 30 (For Sika CarboDur)	Sikadur 330 (For Sika Wrap)
Flexural modulus	12,800 N/mm <sup>2</sup>	3,800 N/mm <sup>2</sup>
Adhesive strength on concrete (concrete failure)	> 4 N/mm	> 4 N/mm

For additional information see Technical Data Sheets

PT. Sika Indonesia  
 Jl. Raya Cibinong - Bekasi Km. 20  
 Limusnunggal, Cileungsi  
 Bogor - 16820 - Indonesia  
 Tel. +62 21 8230025  
 Fax. +62 21 8230026  
 www.sika.co.id  
 e-mail: sikacare@jd.sika.com

Branches:  
 Surabaya :  
 Puri Niaga Blok G No. 29, Jl. Raya Rungkut Menanggal 11 Surabaya - 60293  
 Telp. (031) 8690202, Fax. (031) 8682123  
 Medan :  
 Jl. pancing / Jl. Willem Iskandar No. 75 & 75A, Kec. Medan Tembung, Medan  
 Telp. (061) 6619500, Fax. (061) 6619400  
 Batam :  
 Jl. Laksamana Bintan, Komp. Bumi Riau Makmur Blok E No. 3, Sungai Panas, Batam  
 Telp. (0778) 424928, Fax. (0778) 450189





**Technical Data Sheet**  
Edition 2, 2005  
Identification no.  
02 04 01 02 001 0 000001  
Version no. 0010  
**SikaWrap®-230C**

## SikaWrap®-230C

### Woven carbon fiber fabric for structural strengthening

<b>Description</b>	SikaWrap®-230C is a unidirectional woven carbon fiber fabric for the dry application process.
<b>Uses</b>	Strengthening of reinforced concrete structures, brickwork and timber in case of flexural and shear load due to : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Improved seismic performance of masonry walls.</li> <li>■ Substitute missing rebars.</li> <li>■ Strength and ductility of columns.</li> <li>■ Increasing loading capacity of structural elements.</li> <li>■ Changes of building utilization.</li> <li>■ Seismic movement.</li> <li>■ Improved serviceability.</li> <li>■ Structural upgrading to comply with current standards.</li> </ul>

<b>Characteristic / Advantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Manufactured with weft fibers to keep the fabric</li> <li>■ Multifunctional use for every kind of strengthening requirement.</li> <li>■ Flexibility of surface geometry (Beams, columns, chimneys, piles, walls, silos)</li> <li>■ Fabric available in several widths for optimum utilisation.</li> <li>■ Low density for minimal additional weight.</li> <li>■ Economical compared to traditional techniques.</li> </ul>
------------------------------------	--

#### Product Data

<b>Form</b>	
<b>Fiber Type</b>	Mid strength carbon fibers
<b>Fabric Construction</b>	Fiber orientation: 0° (unidirectional) Warp: black carbon fibers (99% of total areal weight) Weft : white thermoplastic heat-set fibers (1% of total areal weight)

#### Packaging

	Fabric length /roll	Fabric width
1 roll in cardboard box	≥ 50 m	300 / 600 mm

<b>Storage Conditions / Shelf Life</b>	24 months from date of production if stored properly in undamaged original sealed packaging in dry conditions at temperatures between +5 °C and +35 °C. Protect from direct sunlight.
--	---



---

## Technical Data

---

Areal Weight	230 g/m <sub>2</sub> ± 10 g/m <sub>2</sub>
Fabric Design Thickness	0.131 mm (based on fiber content)

---

Fiber Density	1.76 g/cm <sub>3</sub>
---------------	------------------------

---

## Mechanical / Physical Properties

---

### Dry Fiber Properties

Tensile strength	4'300 N/mm <sub>2</sub>	(nominal)
Tensile E-modulus	238'000 N/mm <sub>2</sub>	(nominal)
Elongation at break	1.8%	(nominal)

---

### Laminate Properties

Laminate thickness	1.0 mm per layer (impregnated with Sikadur®-330)
Ultimate load	350 kN/m width per layer (at typical laminate thickness of 1.0 mm)
Tensile E-modulus	28.0 kN/mm <sub>2</sub> (based on typical laminate thickness of 1.0 mm)

---

**Note:**

*The above values are typical and indicative only.*

*The achievable laminate properties obtained from tensile test are dependant on the impregnating/laminating resin used and the type of tensile testing procedure.*

*Apply material reduction factors according to the relevant design standard.*

---

### Design

*Design strain*

This value is dependent on the type of loading and must be adapted according to the relevant design standards.

---

## System Information

---

### System Structure

The system configuration as described must be fully complied with and may not be changed.

Concrete primer -Sikadur® -330

Impregnating / laminating resin -Sikadur® -330

Structural strengthening fabric -SikaWrap® -230C

For detailed resin properties, fabric application details and general information, refer to Sikadur® -330 Product Data Sheet.

---

## Application Details

---

### Consumption

Depending on the roughness of the substrate.

- Impregnating of the first layer incl. primer: ~0.7 - 1.2 kg/m<sub>2</sub> (Sikadur® -330)
  - Impregnating of the following layers: ~0.5 kg/m<sub>2</sub> (Sikadur® -330)
-



<b>Substrate Quality</b>	<i>Specific requirements</i> Minimal substrate tensile strength: 1.0 N/mm <sub>2</sub> or as specified in the strengthening design.
<b>Substrate Preparation</b>	Refer to Sikadur® -330 Product Data Sheet

## Application Instructions

<b>Application Method / Tools</b>	The fabric can be cut with special scissors or razor knife. Never fold the fabric! Refer to Sikadur® -330 Product Data Sheet for impregnating / laminating procedure.
-----------------------------------	--

<b>Notes on Application / Limitations</b>	<p>This product may only be used by experienced professionals. Minimum radius required for application around corners: &gt;20 mm. Grinding edges or building up with Sikadur® mortars may be necessary.</p> <p>In fiber direction, overlapping of the fabric must be at least 100 mm depending on SikaWrap® type or as specified in the strengthening design. For side-by-side application, no overlapping length in the weft direction is required. Overlaps of additional layers must be distributed over the column circumference. The strengthening application is inherently structural and great care must be taken when choosing suitably experienced contractors.</p> <p>The SikaWrap® -230C fabric is coated to ensure maximum bond and durability with the Sikadur® impregnating/laminating resins. To maintain system compatibility do not interchange system parts.</p> <p>The SikaWrap® -230C may be / must be coated with a cementitious overlay or coatings for aesthetic and/or protective purposes. Selection will be dependent on exposure requirements. For basic UV protection use Sikagard®-550W Elastic, Sikagard® ElastoColor-675W or Sikagard® -680S.</p>
---	---

<b>Notes</b>	All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.
--------------	--



## Health and Safety Information

### Protective Measures

SikaWrap®-230C is non-reactive..However,caution must be used when handling since a fine carbon dust may be present on the surface. Protective gloves must therefore be worn to protect against skin irritation.

Caution must also be used when cutting SikaWrap® -230C to protect against airborne carbon dust generated by the cutting procedure.Use of an appropriate approved respirator is recommended.

### Important Notes

Detailed health and safety information as well as detailed precautionary measures e.g.physical,toxicological and ecological data can be obtained from the safety data sheet.



### Disclaimer in Technical Data Sheets

The information, and, in particular the recommendations relating to the application and end-use of Sika products are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the product when properly stored, handled and applied under normal conditions. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sales and delivery. Users should always refer to the most recent issue of the Technical Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

**Sika**®

**PT. Sika Indonesia**  
Jl. Raya Cibinong - Bekasi Km. 20  
Limusnunggal, Cileungsi  
BOGOR 16820 - Indonesia  
Tel. +62 21 8230025  
Fax. +62 21 8230026  
www.sika.co.id  
e-mail: marketing@sika.co.id

**Branches :**  
Surabaya :  
Puri Niaga Blok G No. 29, Jl. Raya Rungkut Menanggal 11 Surabaya  
Tel : 031-8690202, Fax : 031-8682123  
Medan :  
Kawasan Industri "Medan Star"  
Tanjung Morawa Km. 19,2, Jl. Pelita Raya Blok R No. 32, Deli Serdang 20362  
Tel : 061-7941200, Fax : 061-7940822  
Batam :  
Jl. Kuda Laut No. 8 D, Batu Ampar, Batam 29432 Tel : 0778-424928, Fax : 0778-426913



**Technical Data Sheet**  
Edition 01, 2005  
Identification no.  
02 04 01 04 001 0 000004  
Version no. 0010  
**Sikadur®-330**

## Sikadur®-330

### 2-part epoxy impregnation resin

<b>Product Description</b>	Sikadur®-330 is a two part, solvent free, thixotropic epoxy based impregnating resin / adhesive.	
<b>Uses</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Impregnation resin for SikaWrap® fabric reinforcement for the dry application method.</li><li>■ Primer resin for the wet application system.</li><li>■ Structural adhesive for bonding Sika® CarboDur® plates to even surfaces.</li></ul>	
<b>Characteristics / Advantages</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Easy mix and application by trowel and impregnation roller.</li><li>■ Manufactured for manual saturation methods.</li><li>■ Excellent application behaviour to vertical and overhead surfaces.</li><li>■ Consistency can be chosen for application by brush or by trowel</li><li>■ Good adhesion to many substrates.</li><li>■ High mechanical properties.</li><li>■ No separate primer required.</li><li>■ Solvent free.</li></ul>	
<b>Tests</b>		
<b>Approval / Standards</b>	Conform to the requirements of : <ul style="list-style-type: none"><li>- SOCOTEC (France): Cashier des charges Sika® CarboDur, SikaWrap®</li><li>- Road and Bridges Research Institute (Poland): IBDiM No AT/2003-04-336</li></ul>	
<b>Product Data</b>		
<b>Form</b>		
<b>Appearance / Colours</b>	Resin part. A:	paste
	Hardener part B:	paste
	<i>Colour</i>	
	Part A:	white
	Part B:	grey
	Part A+B mixed	light grey
<b>Packaging</b>	Standard:	
		5 kg (A+B) pre-dosed units
<b>Storage</b>		
<b>Storage Conditions / Shelf life</b>	24 months from date of production if stored properly in original unopened, sealed and undamaged packaging in dry conditions at temperatures between +5°C and +25°C. Protect from direct sunlight.	

Construction





## Technical Data

<b>Chemical Base</b>	Epoxy resin								
<b>Density</b>	Mixed Resin: 1.31 kg/l (at +23°C)								
<b>Viscosity</b>	Shear rate: 50 /s								
	<table><thead><tr><th>Temperature</th><th>Viscosity</th></tr></thead><tbody><tr><td>+10°C</td><td>~ 10'000 mPas</td></tr><tr><td>+23°C</td><td>~ 6'000 mPas</td></tr><tr><td>+35°C</td><td>~ 5'000 mPas</td></tr></tbody></table>	Temperature	Viscosity	+10°C	~ 10'000 mPas	+23°C	~ 6'000 mPas	+35°C	~ 5'000 mPas
Temperature	Viscosity								
+10°C	~ 10'000 mPas								
+23°C	~ 6'000 mPas								
+35°C	~ 5'000 mPas								

**Thermal Expansion Coefficient**  $45 \times 10^{-6}$  per °C (-10°C to +40°C)

### Thermal Stability

Heat Distortion Temperatures (HDT)

(ASTM D648)

Curing	Temperature	HDT
7 days	+10°C	+36°C
7 days	+23°C	+47°C
7 days	+35°C	+53°C
7 days, +10°C plus 7 days, +23°C	-	+43°C

**Service Temperature** -40°C to +50°C

### Mechanical / Physical Properties

<b>Tensile Strengths</b>	30 N/mm <sup>2</sup> (7 days at +23°C)	(DIN 53455)
<b>Bond Strengths</b>	Concrete fracture on sandblasted substrate: > 1 day	(EN 24624)
<b>E-Modulus</b>	<i>Flexural</i> 3800 N/mm <sup>2</sup> (7 days at +23°C)	(DIN 53452)
	<i>Tensile</i> 4500 N/mm <sup>2</sup> (7 days at +23°C)	(DIN 53455)
<b>Elongation at Break</b>	0.9% (7 days at +23°C)	(DIN 53455)

### Resistance

**Chemical Resistance** The product is not suitable for chemical exposure.

**Thermal Resistance** Continuous exposure +50°C

### System Information

<b>System Structure</b>	Substrate primer - Sikadur®-330 Impregnating/laminating resin - Sikadur®-330 Structural strengthening fabric - SikaWrap® type to suit requirements.
-------------------------	---

### Application Details

**Consumption** This will be dependant on the roughness of the substrate and the type of SikaWrap® fabric to be impregnated. See respective SikaWrap® fabric Product Data Sheet.

Guide: 0.7 – 1.5 kg/m<sup>2</sup>

---

**Substrate Quality**

The substrate must be sound and of sufficient tensile strength to provide a minimum pull off strength of 1.0 N/mm<sup>2</sup> or as per the requirements of the design specification.

The surface must be dry and free of all contaminants such as oil, grease, coatings and surface treatments etc.

The surface to be bonded must be level (max. deviation 2 mm per 0.3 m length), with steps and formwork marks not greater than 0.5 mm. High spots can be removed by abrasive blasting or grinding.

Wrapped corners must be rounded to a minimum radius of 20 mm (depending on the SikaWrap<sup>®</sup> fabric type) or as per the design specification. This can be achieved by grinding edges or by building up with Sikadur<sup>®</sup> mortars.

---

**Substrate Preparation**

Concrete and masonry substrates must be prepared mechanically using abrasive blast cleaning or grinding equipment, to remove cement laitance, loose and friable material to achieve a profiled open textured surface.

Timber substrates must be planed or sanded.

All dust, loose and friable material must be completely removed from all surfaces before application of the Sikadur<sup>®</sup> -330 preferably by brush and industrial vacuum cleaner. Weak concrete/masonry must be removed and surface defects such as honeycombed areas, blowholes and voids must be fully exposed.

Repairs to substrate, filling of blowholes/voids and surface levelling must be carried out using Sikadur<sup>®</sup> -41 or a mixture of Sikadur<sup>®</sup> -30 and Sikadur<sup>®</sup> -501 quartz sand (mix ratio 1 : 1 max parts by weight).

Bond tests must be carried out to ensure substrate preparation is adequate.

Inject cracks wider than 0.25 mm with Sikadur<sup>®</sup> -52 or either suitable Sikadur<sup>®</sup> injection resin.

---

**Application  
Conditions /  
Limitations**

---

**Substrate Temperature** +10°C min. / +35°C max.

---

**Air Temperature** +10°C min. / +35°C max.

---

**Substrate Humidity** ≤4% moisture content. Test method: Sika-Tramex meter

---

**Dew Point** Beware of condensation!

Ambient temperature during application must be at least 3°C above dew point.

---

**Application  
Instructions**

---

**Mixing** Part A : part B = 4 : 1 by weight

When using bulk material the exact mixing ratio must be safeguarded by accurately weighing and dosing each component.



## Mixing Time



### *Pre-batched units*

Mix parts A+B together for at least 3 minutes with a mixing spindle attached to a slow speed electric drill (max. 600 rpm) until the material becomes smooth in consistency and a uniform grey colour. Avoid aeration while mixing. Then pour the whole mix into a clean container and stir again for approx. 1 more minute at low speed to keep air entrapment at a minimum. Mix only that quantity which can be used within its pot life.

### *Bulk packing, not pre-batched*

First, stir each part thoroughly. Add the parts in the correct proportions into a suitable mixing pail and stir correctly using an electric low speed mixer as above for pre-batched units.

## Application Method / Tools



### *Preparation:*

Prior to application confirm substrate moisture content, relative humidity and dew point.

Cut the specified SikaWrap® fabric to the desired dimensions.

### *Resin Application*

Apply the SikaDur® -330 to the prepared substrate using a trowel, roller or brush.

### *Fabric Placement and Laminating*

Place the SikaWrap® fabric in the required direction onto the SikaDur® -330. Carefully work the fabric into the resin with the Sika plastic impregnation roller parallel to the fiber direction until the resin is squeezed out between and through the fiber strands and distributed evenly over the whole fabric surface. Avoid excessive force when laminating to prevent folding or creasing of the SikaWrap® fabric.

### *Additional Fabric Layers*

For additional layers of SikaWrap® fabric, apply SikaDur® -330 to previous applied layer wet on wet within 60 minutes (at +23°C) after application of the previous layer and repeat laminating procedure.

If it is not possible to apply within 60 minutes, a waiting time of at least 12 hours must be observed before application of next layer.

### *Overlays*

If a cementitious overlay is to be applied over SikaWrap® fabric an additional Sikadur-330 resin layer must be applied over final layer at a max. 0.5 kg/m<sup>2</sup>. Broadcast with quartz sand while wet which will serve as a key for the overlay.

If a coloured coating is to be applied, the wet Sikadur®-330 surface can be smoothed with a brush.

### *Overlaps*

#### *Fiber Direction*

- Overlapping of the SikaWrap® fabric must be at least 100 mm (depending on the SikaWrap® fabric type) or as specified in the strengthening design.

*Side by Side*

- Unidirectional fabrics: when placing several unidirectional SikaWrap® fabric side by side no overlapping is required unless specified in the strengthening design.
- Multi-directional fabrics: overlapping in the weft direction must be at least 100 mm (depending on the SikaWrap fabric type) or as specified in the strengthening design.

**Cleaning of Tools** Clean all equipment immediately with Sika® Colma Cleaner. Cured material can only be mechanically removed.

**Pot life (max. open time)** Pot life

Temperature	Time
+10°C	90 minutes (5 kg)
+35°C	30 minutes (5 kg)

Pot life starts with the mixing of both parts (resin and hardener). At low ambient temperature pot life will be extended, at elevated temperatures this will be reduced. The higher the quantity of material mixed, the shorter the pot life. To achieve a longer pot life at high temperatures the mixed material may be divided into smaller units or both parts may be cooled before mixing.

Open time

Temperature	Time
+10°C	60 minutes
+35°C	30 minutes

**Waiting Time / Overcoatability**

To (pre-) cured resin:

Products	Substrate Temperature	Minimum	Maximum
Sikadur®-330	+10°C	24 hours	Cured resin older than 7 days has to be degreased with Sika® Colma Cleaner and gently grinded with a sand paper before coating.
	+23°C	12 hours	
	+35°C	6 hours	

Products	Substrate Temperature	Minimum	Maximum
Sikagard®-coloured coatings	+10°C	5 days	Cured resin older than 7 days has to be degreased with Sika® Colma Cleaner and gently grinded with a sandpaper before coating.
	+23°C	3 days	
	+35°C	1 day	

Times are approximate and will be affected by changing ambient conditions.



## Notes on Application / Limitations

This product may only be used by experienced professionals.

The SikaDur® -330 must be protected from rain for at least 24 hours after application.

Ensure placement of fabric and laminating with roller takes place within open time. The SikaWrap® fabric must be coated with a cementitious overlay or coating for aesthetic and/or protective purposes. Selection will be dependent on exposure requirements. For basic UV protection use Sikagard® -550 W elastic, Sikagard® -ElastoColor-675W or Sikagard® -680S.

At low temperatures and / or high relative humidity, a tacky residue (blush) may form on the surface of the cured Sikadur-330 epoxy. If an additional layer of fabric, or a coating is to be applied onto the cured epoxy, this residue must first be removed to ensure adequate bond. The residue can be removed with water. In both cases, the surface must be wiped dry prior to application of the next layer or coating.

For application in cold or hot conditions, pre-condition material for 24 hours in temperature controlled storage facilities to improve mixing, application and pot life limits.

The number of additional fabric layers applied wet on wet must be closely controlled to avoid creeping, creasing or slippage of the fabric during curing of the SikaDur® -330. The number of layers will be dependent on the type of SikaWrap® fabric used and the ambient climate conditions.

## Applied product ready for use

Temperature	Full cure
+10°C	7 days
+23°C	5 days
+35°C	2 days

All cure times are approximate and will be affected by changing ambient conditions.

## Notes

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

## Health and Safety Information

### Protective Measures

To avoid rare allergic reactions, we recommend the use of protective gloves and goggles. Change soiled work clothes and wash hands before eating and after finishing work.

Local regulations as well as health and safety advice on packaging labels must be observed.

### Important Notes

Residues of material must be removed according to local regulations. Fully cured material can be disposed of as household waste under agreement with the responsible local authorities.

Mixed leftovers of Sikadur-330 may only be left to cure in metal containers and in quantities of max. 1 kg.

Detailed health and safety information as well as detailed precautionary measures e.g. physical, toxicological and ecological data can be obtained from the safety data sheet.

## Disclaimer in Technical Data Sheets

The information, and, in particular the recommendations relating to the application and end-use of Sika products are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the product when properly stored, handled and applied under normal conditions. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sales and delivery. Users should always refer to the most recent issue of the Technical Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



**PT. Sika Indonesia**  
 Jl. Raya Cibinong - Bekasi Km. 20  
 Limusnunggal, Cileungsi  
 BOGOR 16820 - Indonesia  
 Tel. +62 21 8230025  
 Fax. +62 21 8230026  
 www.sika.co.id  
 e-mail: marketing@sika.co.id

**Branches :**  
 Surabaya :  
 Puri Niaga Blok G No. 29, Jl. Raya Rungkut Menanggal 11 Surabaya  
 Tel : 031-8690202, Fax : 031-8682123  
 Medan :  
 Kawasan Industri "Medan Star".  
 Tanjung Morawa Km. 19.2, Jl. Pelita Raya Blok R No. 32, Deli Serdang 20362  
 Tel : 061-7941200, Fax : 061-7940822  
 Batam :  
 Jl. Kuda Laut No. 8 D, Batu Ampar, Batam 29432 Tel : 0778-424928, Fax : 0778-426913





Technical Data Sheet  
Edition 3, 2007  
Identification no.  
02 03 02 06 002 0 000009  
Version no. 0010  
Sikadur® -752

## Sikadur® -752

### Low Viscosity Epoxy Resin Injection

<b>Description</b>	A solvent-free, 2-component super low viscosity-liquid, based on high strength epoxy resins. Specially for injecting into cavities and cracks in concrete.  Complies with A.S.T.M C 881-78 Type I, Grade 1, Class B + C
<b>Uses</b>	To fill and seal cavities and crack in structural concrete such as columns, beams, foundations, decks and water-retaining structures.
<b>Advantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tenacious crack sealing grout.</li> <li>■ Super – low viscosity.</li> <li>■ Suitable in both, dry and damp conditions.</li> <li>■ High mechanical and adhesive strength.</li> <li>■ Hard, but not brittle.</li> <li>■ No shrinkage</li> </ul>
<b>Coverage</b>	Theoretical yield is 9.25 litres / 10 kg set
<b>Instruction for Use</b>	
<b>Surface Preparation</b>	Surface must be clean and sound. It may be dry or damp, but free of standing water.
<b>Mixing</b>	Pre-mix each component. Proportion 2 part Component A to 1 part Component B into a clean pail.  Mix thoroughly for 3 minutes with a paddle on low - speed (400-600 rpm) drill until uniformly blended. Mix only quantity that can be used within its pot life.
<b>Application</b>	To gravity feed crack – pour Sikadur® 752 into vee-notched crack until completely filled.  To pressure inject cracks – use automatic injection equipment or manual method. Seal parts and cracks with Sikadur® 31 CF Normal, after cured inject Sikadur® 752 with steady pressure.
<b>Limitations</b>	Maximum crack width 5.0 mm. Minimum age of concrete must be 28 days prior to application
<b>Caution</b>	Wear protective clothing , goggles, gloves and or barrier cream. In case of contact with skin, wash plenty of water immediately and consult a physician.



## Technical Data

Colour	Yellowish
Mix Ratio	Comp. A : B = 2 : 1 by weight/volume
Mix Density	Approx. 1.08 kg/l
Viscosity	180 ± 25 cps
Pot Life 30° C	35 minutes
Tensile Strength (ASTM D-638) 28 days	270 kg/cm <sup>2</sup>
Flexural Strength (ASTM D-790) 28 days	400 kg/cm <sup>2</sup>
Bond Strength	
To concrete, 28 days	>20 kg/cm <sup>2</sup> (concrete failure, over mechanically prepared concrete surface)
To steel, 28 days	>90 kg/cm <sup>2</sup> (steel surface blast cleaning to SA 2 ½)
Compressive Strength (ASTM D-695)	
7 days	620 kg/cm <sup>2</sup>
28 days	640 kg/cm <sup>2</sup>
Modulus Of Elasticity	10,600 kg/cm <sup>2</sup>
Coefficient of thermal expansion (-20°C to +40°C)	89 x 10 <sup>-6</sup> per ° C
Shelf Life	2 years when unopened
Packaging	10 Kg set
Storage	Dry, cool, shaded place
Handling Precautions	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Avoid contact with skin and eyes</li> <li>■ Wear protective gloves and eye protection during work</li> <li>■ If skin contact occurs, wash skin thoroughly</li> <li>■ If in eyes, hold eyes open, flood with warm water and seek medical attention without delay</li> </ul>

### Disclaimer in Technical Data Sheets:

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

**PT. Sika Indonesia**  
 Jl. Raya Cibinong- Bekasi km. 20  
 Limusunggal- Cileungsi  
 BOGOR 16820 - Indonesia  
 Tel. +62 21 8230025  
 Fax +62 21 8230025  
 Website : www.sika.co.id  
 e-mail: sikacare@id.sika.com

**Branches**  
 Surabaya :  
 Puri Niaga Blok G No. 29, Jl. Raya Rungkut Menanggal 11, Surabaya  
 Tel : 031-8690202 ; Fax : 031-8682123  
 Medan :  
 Kawasan Industrial " Medan Star ", Tanjung Morawa Km.19,2  
 Jl. Pelita Raya Blok R No.32, Deli Serdang 20362  
 Tel : 061-7941200 ; Fax : 061-7940822  
 Batam :  
 Jl. Laksamana Bintan, Komp. Bumi Riau Makmur Blok E No.3,  
 Sungai Panas, Batam  
 Tel : 0778-424928 ; Fax : 0778-450189





## Sikadur® 31 CF Normal (formerly Sikadur 731)

### 2-part thixotropic epoxy adhesive

**Product Description** Sikadur®-31 CF Normal is a solvent-free, moisture tolerant, thixotropic, structural two part adhesive and repair mortar, based on a combination of epoxy resins and special fillers, designed for use at temperatures between +10°C and +30°C.

**Uses** As a structural adhesive and mortar for :

- Concrete elements
- Hard natural stone
- Ceramics, fiber cement
- Mortar, Bricks, Masonry
- Steel, Iron, Aluminium
- Wood
- Polyester, Epoxy
- Glass

As a repair mortar and adhesive:

- Corners and edges
- Holes and void filling
- Vertical and overhead use

Joint filling and crack sealing:

- Joint and crack arris / edge repair

**Characteristics / Advantages** Sikadur®-31 CF Normal has the following advantages:

- Easy to mix and apply
- Suitable for dry and damp concrete surfaces
- Very good adhesion to most construction materials
- High strength adhesive
- Thixotropic: non-sag in vertical and overhead applications
- Solvent free
- Hardens without shrinkage
- Different coloured components (for mixing control)
- No primer needed
- High initial and ultimate mechanical strength
- Good abrasion resistance
- Impermeable to liquids and water vapour
- Good chemical resistance

**Approval / Standards** Testing according to ASTM, C881M-02, Type I, Grade 3, Class B+C.  
Testing according to EN 1504-4.

#### Product Data

**Colours** Part A: white  
Part B: dark grey  
Parts A+B mixed: concrete grey

**Packaging** 6 kg (A+B) Pre-batched unit

#### Storage

**Storage Conditions/ Shelf-Life** 24 months from date of production if stored properly in original unopened, sealed and undamaged packaging, in dry conditions at temperatures between +5°C and +30°C. Protect from direct sunshine.



## Technical Data

<b>Chemical Base</b>	Epoxy resin
<b>Density</b>	1.90 ± 0.1 kg/l (part A) (at +23°C) 1.90 ± 0.1 kg/l (part B) (at +23°C) 1.90 ± 0.1 kg/l (part A+B mixed) (at +23°C) (evacuated)
<b>Sag Flow</b>	On vertical surfaces it is non-sag up to 15 mm thickness. (according to EN 1799)
<b>Layer Thickness</b>	30 mm max.  When using multiple units, one after the other. Do not mix the following unit until the previous one has been used in order to avoid a reduction in handling time.

<b>Change of Volume</b>	Shrinkage: Hardens without shrinkage.
-------------------------	--

<b>Thermal Expansion Coefficient</b>	Coefficient W: 59 x 10 <sup>-6</sup> per °C (Temp. range +23°C - +60°C) (according to EN 1770)
--------------------------------------	---

<b>Thermal Stability</b>	Heat Deflection Temperature (HDT): HDT = +49°C (7 days / +23°C) (according to ISO 75) (thickness 10 mm)
--------------------------	--

### Mechanical / Physical Properties

#### Compressive Strength (according to DIN EN 196)

Curing time	+10°C	+23°C	+30°C
1 day	25 - 35 N/mm <sup>2</sup>	45 - 55 N/mm <sup>2</sup>	50 - 60 N/mm <sup>2</sup>
3 days	40 - 50 N/mm <sup>2</sup>	55 - 65 N/mm <sup>2</sup>	60 - 70 N/mm <sup>2</sup>
7 days	50 - 60 N/mm <sup>2</sup>	60 - 70 N/mm <sup>2</sup>	60 - 70 N/mm <sup>2</sup>

#### Flexural Strength (according to DIN EN 196)

Curing time	+10°C	+23°C	+30°C
1 day	11 - 17 N/mm <sup>2</sup>	20 - 30 N/mm <sup>2</sup>	20 - 30 N/mm <sup>2</sup>
3 days	20 - 30 N/mm <sup>2</sup>	25 - 35 N/mm <sup>2</sup>	25 - 35 N/mm <sup>2</sup>
7 days	25 - 35 N/mm <sup>2</sup>	30 - 40 N/mm <sup>2</sup>	25 - 35 N/mm <sup>2</sup>

#### Tensile Strength (according to ISO 527)

Curing time	+10°C	+23°C	+30°C
1 day	2 - 6 N/mm <sup>2</sup>	6 - 10 N/mm <sup>2</sup>	9 - 15 N/mm <sup>2</sup>
3 days	9 - 15 N/mm <sup>2</sup>	17 - 23 N/mm <sup>2</sup>	17 - 23 N/mm <sup>2</sup>
7 days	14 - 20 N/mm <sup>2</sup>	18 - 24 N/mm <sup>2</sup>	19 - 25 N/mm <sup>2</sup>

#### Bond Strength (according to EN ISO 4624, EN 1542 and EN 12188)

Curing time	Temperature	Substrate	Bond strength
1 day	+10°C	Concrete dry	> 4 N/mm <sup>2</sup> *
1 day	+10°C	Concrete moist	> 4 N/mm <sup>2</sup> *
1 day	+10°C	Steel	6 - 10 N/mm <sup>2</sup>
3 days	+10°C	Steel	10 - 14 N/mm <sup>2</sup>
3 days	+23°C	Steel	11 - 15 N/mm <sup>2</sup>
3 days	+30°C	Steel	13 - 17 N/mm <sup>2</sup>

\*100% concrete failure.

#### E-Modulus

Tensile: ~ 5'000 N/mm <sup>2</sup> (14 days at +23°C) (according to ISO 527)
Compressive: ~ 4'600 N/mm <sup>2</sup> (14 days at +23°C) (according to ASTM D695)



**Elongation at Break** 0.4 ± 0.1% (7 days at +23°C) (according to ISO 75)

**Strength Development** Confirm the strength development by producing cubes on site and testing them for compressive and flexural strength.

## System Information

### Application Details

**Consumption / Dosage** The consumption of Sikadur®-31 CF Normal is ~ 1.9 kg/m<sup>2</sup> per mm of thickness.

**Substrate Quality** Mortar and concrete must be older than 28 days (depends on minimal requirement of strengths).  
Verify the substrate strength (concrete, masonry, natural stone).  
The substrate surface (all types) must be clean, dry and free from contaminants such as dirt, oil, grease, existing surface treatments and coatings etc.  
Steel substrates must be de-rusted similar to SA 2.5.  
The substrate must be sound and all loose particles must be removed.

**Substrate Preparation** Concrete, mortar, stone, bricks:  
Substrates must be sound, dry, clean and free from laitance, ice, standing water, grease, oils, old surface treatments or coatings and loosely adhering particles to achieve a laitance and contaminant free, open textured surface.  
Steel:  
Must be cleaned and prepared thoroughly to an acceptable quality i.e. by blastcleaning and vacuum. Avoid dew point conditions.  
Other surfaces (polyester, epoxy, glass, ceramic):  
On these substrates pre-apply Sikafloor®-156 (primer) and then, "wet on wet" apply Sikadur®-31 CF Normal.

### Application Conditions / Limitations

**Substrate Temperature** +10°C min. / +30°C max.

**Ambient Temperature** +10°C min. / +30°C max.

**Material Temperature** Sikadur®-31 CF Normal must be applied at temperatures between +10°C and +30°C

**Substrate Humidity** When applied to mat moisture concrete, brush the adhesive well into substrate.

**Dew Point** Beware of condensation!  
Ambient temperature during application must be at least 3°C above dew point.

### Application Instruction

**Mixing** Part A : part B = 2 : 1 by weight or volume

### Mixing Time



#### Pre-batched units

Mix parts A+B together for at least 3 minutes with a mixing spindle attached to a slow speed electric drill (max. 600 rpm) until the material becomes smooth in consistency and a uniform grey colour. Avoid aeration while mixing. Then, pour the whole mix into a clean container and stir again for approx. 1 more minute at low speed to keep air entrapment at a minimum. Mix only that quantity which can be used within its potlife.



**Application Method / Tools**

When using a thin layer adhesive, apply the mixed adhesive to the prepared surface with a spatula, trowel, notched trowel, (or with hands protected by gloves).

When applying as a repair mortar use some formwork.

When using for bonding metal profiles onto vertical surfaces, support and press uniformly using props for at least 12 hours, depending on the thickness applied (not more than 5 mm) and the room temperature.

Once hardened check the adhesion by tapping with a hammer.

**Cleaning of Tools**

Clean all tools and application equipment with Sika® Colma Cleaner immediately after use. Hardener / cured material can only be mechanically removed.

**Pot Life**

Pot life (200 g)

+10°C	+23°C	+30°C
~ 145 minutes	~ 55 minutes	~ 35 minutes

The potlife begins when the resin and hardener are mixed. It is shorter at high temperatures and longer at low temperatures. The greater the quantity mixed, the shorter the potlife. To obtain longer workability at high temperatures, the mixed adhesive may be divided into portions. Another method is to chill parts A+B before mixing them (not below +5°C).

**Notes**

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

**Protective Measures**

To avoid rare allergic reactions, use of protective gloves. Changes soiled work clothes and wash hands before breaks and after finishing work. When uncured, Sikadur®-31 CF Normal parts A+B, are water-pollutants and must not be discharge into drains, waterways or the ground.

Local regulation as well as health and safety advice on packaging labels must be observed.

**Important Notes**

Uncured / unmixed material must be removed according to local regulations. Fully cured material can be disposed of as household waste under agreement with the responsible local authorities.

Detailed health and safety information as well as detailed precautionary measures e.g. physical, toxicological and ecological data can be obtained from the material safety data sheet.

**Disclaimer in Technical Data Sheets:**

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



**PT. Sika Indonesia**  
 Jl. Raya Cibinong - Bekasi Km. 20  
 Limusnunggal, Cileungsi  
 BOGOR 16820 - Indonesia  
 Tel. +62 21 8230025  
 Fax. +62 21 8230026  
 www.sika.co.id  
 e-mail: sikacare@id.sika.com

**Branches :**  
 Surabaya :  
 Puri Niaga Blok G No. 29, Jl. Raya Rungkut Menanggal 11 Surabaya  
 Tel : 031-8690202, Fax : 031-8682123  
 Medan :  
 Kawasan Industri "Medan Star",  
 Tanjung Morawa Km. 19,2, Jl. Pelita Raya Blok R No. 32, Deli Serdang 20362  
 Tel : 061-7941200, Fax : 061-7940822  
 Batam :  
 Jl. Laksamana Bintan, Komp. Bumi Riau Makmur Blok E No 3, Sungai Panas, Batam  
 Tel : 0778-424928, Fax : 0778-450189

