

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* (CFRP) SEBAGAI BAHAN PENGGANTI BAJA TULANGAN TERHADAP PERILAKU KERUNTUHAN BALOK BETON BERTULANG

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Yusnanda Luthfi Evin Ayumni
17511226**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2021**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* (CFRP) SEBAGAI BAHAN PENGGANTI BAJA TULANGAN TERHADAP PERILAKU KERUNTUHAN BALOK BETON BERTULANG

Disusun oleh

Yusnanda Luthfi Evin Ayumni
17511226

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana
Teknik Sipil
Diuji pada tanggal 31 Agustus 2021
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I

Pembimbing II

Penguji I



Helmy Akbar Bale, Jr., M.T.
NIK: 885110105



Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
NIK: 155111305




Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.
NIK: 155111306

Mengesahkan,

Program Studi Teknik Sipil




Siti Anisa Yuni Astuti, Dr. Ir., M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Nama : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni
NIM : 17511226
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* Sebagai Bahan Pengganti Baja Tulangan Terhadap Perilaku Keruntuhan Balok Beton Bertulang

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundangundangan yang berlaku.

Ponorogo, 31 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



METERAN
TEMPEL
10000
EC3AJX368391214

Yusnanda Luthfi Evin A.

(17511226)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT tuhan semesta alam, yang mana dengan segala rahmat dan hidayahnya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) Sebagai Bahan Pengganti Baja Tulangan Terhadap Perilaku Keruntuhan Balok Beton Bertulang”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Keluarga penulis yang telah berkorban banyak baik materiil maupun spiritual yang menjadikan motivasi terbesar saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir sesegera mungkin,
2. Bapak Helmy Akbar B., Ir., M.T. selaku Dosen Pembimbing I,
3. Bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.ENG. selaku Dosen Pembimbing II,
4. Bapak/Ibu dosen penguji Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari,
5. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu kepada saya, semoga kelak saya dapat mengaplikasikan ilmu dari bapak dan ibu semua di kehidupan mendatang. Tak lupa pula, bapak, ibu, dan mbak staff Program Studi Teknik Sipil dan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan yang telah membantu saya dalam mengurus segala sesuatu terkait masa perkuliahan selama ini,

7. Saudari Amartya Rizki selaku partner saya dalam melakukan penelitian sehingga penelitian dapat terselesaikan dengan baik dan lancar,
8. Keluarga teknik sipil 17 dan teman teman yang telah membantu dalam pelaksanaan pembuatan beton serta senantiasa berjuang bersama sejak semester pertama hingga saat ini,

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Ponorogo, 31 Agustus 2021

Penulis;



Yuspanda Luthfi Evin Ayumni
(17511226)

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAKSI	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II	6
2.1 Hasil Penelitian Sebelumnya	6
2.2 Perbedaan Penelitian	13
BAB III	14
3.1 Beton Bertulang	14
3.2 <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i>	17
3.4 Lendutan, Keruntuhan, Kekakuan	19
3.3.1 Lendutan	19
3.3.2 Keruntuhan	21
3.3.3 Kekakuan	23

BAB IV	24
4.1 Metode Penelitian	24
4.2 Jenis Penelitian	24
4.3 Metode Pengambilan Data	25
4.4 Tahapan Penelitian	25
4.4.1 Pengujian Bahan Penyusun Beton	25
4.4.2 Pengujian Bahan Penyusun Tulangan	26
4.4.3 Pengujian Utama	28
4.5 Metode Analisis Data	32
4.6 Diagram Alir penelitian	34
BAB V	36
5.1 Material Umum	36
5.1.1 Baja Tulangan	36
5.1.2 <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i>	38
5.1.3 Uji Tekan Silinder Beton	40
5.1.4 <i>Hammer Test</i>	43
5.2. Desain Balok Bertulang CFRP	44
5.2.1 Desain Tulangan Lentur Balok	44
5.2.2 Desain Tulangan Geser	46
5.3 Pengujian Lentur Balok	48
5.2.1 Pengujian Balok Kontrol	48
5.2.2 Pengujian Balok Variasi I (BVI)	51
5.2.3 Pengujian Balok Variasi II (BVII)	59
5.3 Pengaruh CFRP Terhadap Kapasitas Lentutan Maksimum Balok	65
5.4 Pengaruh CFRP Terhadap Keruntuhan Balok	66
5.5 Pengaruh CFRP Terhadap Kekakuan Balok dan Kapasitas Lentutan Balok	67
5.6 Pembahasan Secara Keseluruhan	69
BAB VI	74
6.1 Kesimpulan	74
6.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Ini	12
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Lendutan Balok 2 Titik Pembebanan	30
Tabel 5. 1 Hasil uji tarik CFRP	39
Tabel 5. 2 Hasil Rekapitulasi Pengujian Utama Desak Silinder	42
Tabel 5. 3 Hasil Rekapitulasi <i>Hammer Test</i>	43
Tabel 5. 4 Hasil Rekapitulasi Kapasitas Lendutan Maksimum Balok	65
Tabel 5. 5 Hasil Rekapitulasi Kekakuan Balok	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Beton dengan CFRP di daerah tekan (Tipe 1)	6
Gambar 2. 2 Beton dengan CFRP di daerah geser (Tipe 2)	6
Gambar 2. 3 Beton kontrol dengan tulangan baja (Tipe 3)	7
Gambar 2. 4 Beton bertulang baja (Tipe 1)	8
Gambar 2. 5 Beton bertulang CFRP (Tipe 2 dan Tipe 3)	8
Gambar 2. 6 Desain Pembebanan	9
Gambar 2. 7 Desain Penulangan	9
Gambar 2. 8 Variasi I (BGC) : 1 Lapis GFRP + 1 Lapis CFRP 1/3 lebar	10
Gambar 2. 9 Variasi II (BGCG) : 1 Lapis GFRP + 1 Lapis CFRP 1/3 lebar + 1 Lapis GFRP	10
Gambar 2. 10 Beton bertulang dengan perkuatan CFRP	11
Gambar 2. 11 Beton bertulang dengan perkuatan <i>GFRP</i>	11
Gambar 3. 1 Beton Bertulang	15
Gambar 3. 2 Diagram Regangan Tegangan Balok Bertulang Tunggal	15
Gambar 3. 3 Diagram Regangan Tegangan Balok Bertulang Rangkap	16
Gambar 3. 4 Perubahan Bentuk Balok Arah Y	20
Gambar 3. 5 Sketsa Pembebanan 2 Titik Pada Balok	20
Gambar 3. 6 Retak Lentur Murni	21
Gambar 3. 7 Retak Geser	21
Gambar 3. 8 Retak Geser Lentur	22
Gambar 3. 9 Retak Torsi	22
Gambar 3. 10 Retak Lekatan	23
Gambar 4. 1 Sketsa Pengujian Baja Tulangan	26
Gambar 4. 2 Sketsa Sampel <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i> (CFRP)	27
Gambar 4. 3 Sketsa Pengujian <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i> (CFRP)	27
Gambar 4. 5 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Kontrol	29
Gambar 4. 6 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Variasi 1	29
Gambar 4. 7 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Variasi 2	29

Gambar 4. 4 Struktur Portal Sederhana dan Pemodelan BMD	30
Gambar 4. 8 Sketsa Pengujian Beban Terpusat Ganda	31
Gambar 4. 9 Sketsa Tampak Depan Pengujian Beban Terpusat Ganda	31
Gambar 4. 10 <i>Flow Chart</i> Tahapan Penelitian	34
Gambar 5. 1 Beban vs Deformasi P8	37
Gambar 5. 2 Beban vs Deformasi P12	38
Gambar 5. 3 Proses Pembuatan CFRP dan Kondisi CFRP Setelah Diuji	40
Gambar 5. 4 Benda Uji Balok Kontrol 1	49
Gambar 5. 5 Beban (kN) - Lendutan (mm) BK 1	49
Gambar 5. 6 Benda Uji Balok Kontrol 2	50
Gambar 5. 7 Beban (kN) - Lendutan (mm) BK 2	50
Gambar 5. 8 Benda Uji Balok Kontrol 3	51
Gambar 5. 9 Beban (kN) - Lendutan (mm) BK 3	51
Gambar 5. 10 Benda Uji Balok Variasi I - 1	52
Gambar 5. 11 Pola Retak Balok Variasi I – 1	53
Gambar 5. 12 Pola Retak Balok Variasi I – 1	53
Gambar 5. 13 Keruntuhan dan Detail Melintang Balok Variasi I - 1	53
Gambar 5. 14 Beban (kN) - Lendutan (mm) BV I - 1	54
Gambar 5. 15 Benda Uji Balok Variasi I - 2	54
Gambar 5. 16 Detail Keruntuhan Balok Variasi I - 2	54
Gambar 5. 17 Beban (kN) - Lendutan (mm) BV I - 2	55
Gambar 5. 18 Benda Uji Balok Variasi I - 3	55
Gambar 5. 19 Pola Retak Lentur Balok Variasi I - 3	56
Gambar 5. 20 Pola Retak Geser Balok Variasi I – 3	56
Gambar 5. 21 Detail Keruntuhan Balok Variasi I - 3	56
Gambar 5. 22 Beban (kN) vs Lendutan (mm) BV I - 3	57
Gambar 5. 23 Benda Uji Balok Variasi I - 4	57
Gambar 5. 24 Keruntuhan Balok Variasi I - 4	58
Gambar 5. 25 Pola Retak Tumpuan Balok Variasi I – 4	58
Gambar 5. 26 Detail Keruntuhan Balok Variasi I - 4	58
Gambar 5. 27 Beban (kN) vs Lendutan (mm) BV I - 4	59

Gambar 5. 28 Benda Uji Balok Variasi II – 1	60
Gambar 5. 29 Pola Retak Balok Variasi II – 1	60
Gambar 5. 30 Detail Melintang Balok Variasi II – 1	60
Gambar 5. 31 Kondisi BVII-1 CFRP Setelah Balok Dibongkar	61
Gambar 5. 32 Beban (kN) - Lendutan (mm) BVII – 1	61
Gambar 5. 33 Benda Uji Balok Variasi II – 2	62
Gambar 5. 34 Detail Pola Retak Balok Variasi II - 2	62
Gambar 5. 35 Beban (kN) - Lendutan (mm) BVII - 2	62
Gambar 5. 36 Benda Uji Balok Variasi II - 3	63
Gambar 5. 37 Pola Retak Lentur Balok Variasi II – 3	63
Gambar 5. 38 Kondisi BVII-1 CFRP Setelah Balok Dibongkar	63
Gambar 5. 39 Beban (kN) vs Lendutan (mm) BV II – 3	64
Gambar 5. 40 Benda Uji Balok Variasi II – 4	64
Gambar 5. 41 Kondisi CFRP Balok Variasi II - 4	64
Gambar 5. 42 Beban (kN) vs Lendutan (mm) BV I – 4	65
Gambar 5. 43 Beban (kN) vs Lendutan (mm) Balok Kontrol	70
Gambar 5. 44 Beban (kN) vs Lendutan (mm) Balok Variasi I	71
Gambar 5. 45 Beban (kN) vs Lendutan (mm) Balok Variasi II	71
Gambar 5. 46 Diagram Regangan Tegangan Balok Variasi 1	72
Gambar 5. 47 Diagram Regangan Tegangan Balok Variasi 2	72

DAFTAR LAMIRAN

Lampiran 1	Uji Desak Silinder Beton	79
Lampiran 2	<i>Hammer Test</i> Balok Beton	83
Lampiran 3	Hasil Pengujian Lentur Balok	94
Lampiran 4	Dokumentasi Penelitian	140



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas tampang, mm ²
P_y	= Beban leleh, N
P_u	= Beban ultimate, N
f_c'	= Kuat desak beton, MPa
f_y	= Kuat tarik leleh, MPa
f_u	= Kuat tarik ultimate, MPa
σ	= Tegangan, N/mm ²
ε	= Regangan
E	= Modulus elastis beton, MPa
P	= Beban maksimum, kN
D	= Diameter benda uji, mm
V_n	= Kuat geser Nominal, kN
V_c	= Kuat geser beton, kN
V_s	= Kuat geser sengkang, kN
V_u	= Kuat geser <i>ultimate</i> , kN

ABSTRAKSI

Di Indonesia pembangunan gedung terus meningkat dan berkembang dari tahun ke tahun, dengan demikian diperlukan inovasi pada elemen struktural maupun arsitektural. Elemen Struktural adalah elemen bangunan yang berfungsi untuk mendistribusikan beban yang diterima dan beban sendiri sampai ke bagian tanah, sehingga beban dapat ditahan dan tidak terjadi keruntuhan atau kerusakan bangunan. Balok beton bertulang merupakan gabungan dari dua jenis bahan/material yaitu beton polos dan tulangan baja. Beton Polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah, sedangkan tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerja sama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton sedangkan gaya tarik oleh tulangan baja.

Salah satu alternatif material yang memiliki kapasitas kuat tarik tinggi, ringan, dan juga tahan korosi adalah *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP). Dalam penelitian ini, penulis mengganti baja tarik menjadi CFRP untuk tulangan balok beton dan kemudian membandingkan perilaku keruntuhannya. Balok beton bertulang persegi panjang terdiri dari 3 variasi yang berbeda yaitu: balok beton bertulang baja tunggal, balok beton bertulang CFRP tunggal dan balok variasi dengan tulangan rangkap campuran baja-CFRP. Uji lentur beban dua titik dilakukan untuk memperoleh kekuatan lentur, kekakuan lentur dan perilaku keruntuhan. Hasil dari percobaan ini: balok beton bertulang CFRP terdapat retak horizontal karena kurangnya kuat ikat antara CFRP dan beton serta terjadi retak geser akibat CFRP tidak mampu sebagai kait sengkang, meskipun keruntuhan yang terjadi adalah lentur. Kemudian kekakuan retak pertama balok CFRP meningkat sebesar 250,13% dan 206,82, pada kondisi *ultimite* meningkat sebesar 138,67% dan 152,67 dari balok yang menggunakan baja tulangan. Akan tetapi kapasitas lendutan maksimum balok CFRP lebih rendah sebesar 77,67% dan 80,21% dari balok yang menggunakan baja tulangan.

Kata kunci: CFRP, balok beton bertulang, keruntuhan, kekuan, lendutan

ABSTRACT

In Indonesia, building construction continues to increase and develop from year to year, thus innovation in structural and architectural elements is needed. Structural elements are building elements that function to distribute the load received and the load itself to the ground, so that the load can be held and there is no collapse or damage to the building. Reinforced concrete beams are a combination of two types of materials, namely plain concrete and steel reinforcement. Plain concrete is a material that has a high compressive strength but has a low tensile strength, while steel reinforcement will provide the required tensile strength. The advantages of each of these elements, the configuration between concrete and steel reinforcement is expected to work together in resisting the forces acting in the structure, where the compressive force is held by the concrete while the tensile force is by the steel reinforcement.

One alternative material that has a high tensile strength capacity, is lightweight, and is also corrosion resistant is carbon fiber reinforced polymer (CFRP). In this study, the authors changed the tensile steel to CFRP for concrete beam reinforcement and then compared the failure behavior. Rectangular reinforced concrete beams consist of 3 different variations, namely: single steel reinforced concrete beams, single CFRP reinforced concrete beams and variation beams with mixed steel-CFRP double reinforcement. The two-point load flexural test was carried out to obtain the flexural strength, flexural stiffness and failure behavior. The results of this experiment: CFRP reinforced concrete beams have horizontal cracks due to lack of bond strength between CFRP and concrete and shear cracks occur due to CFRP not being able to act as stirrups, even though the failure that occurs is flexural. Then the first crack stiffness of the CFRP beam increased by 250.13% and 206.82 , in the ultimate condition it increased by 138.67% and 152.67 from the beam using reinforcing steel. However, the maximum deflection capacity of the CFRP beam is 77.67% and 80.21% lower than the beam using reinforcing steel.

Keywords: *CFRP, beam reinforced concrete, collapse behavior, flexural stiffness, deflection*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Salah satunya adalah infrastruktur bangunan gedung. Seiring hal tersebut kebutuhan material pada elemen bangunan juga semakin meningkat. Dengan demikian inovasi baik pada elemen struktural maupun arsitektural perlu dikembangkan.

Elemen struktural adalah elemen bangunan yang berfungsi untuk mendistribusikan beban yang diterima dan bangunan itu sendiri sampai ke bagian tanah. Dengan demikian beban dapat ditahan dan tidak terjadi keruntuhan atau kerusakan bangunan. Salah satu contoh elemen struktural adalah balok beton bertulang. Balok beton bertulang merupakan gabungan dari dua jenis bahan/material yaitu beton polos dan tulangan baja.

Beton polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah. Sedangkan tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Dari kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan tulangan baja diharapkan dapat saling bekerja sama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam suatu struktur bangunan, dimana gaya tekan ditahan oleh beton sedangkan gaya tarik oleh tulangan baja.

Di Indonesia banyak dijumpai elemen balok beton bertulang yang menggunakan material tulangan baja untuk menahan gaya tarik. Tidak menutup kemungkinan dalam kurun waktu kedepan tambang logam penghasil bijih besi sebagai bahan dasar membuat baja tulangan akan semakin menipis. Mengantisipasi hal tersebut, diperlukan inovasi bahan konstruksi sebagai alternatif. Salah satunya adalah dengan mengganti tulangan baja dengan bahan lain, misalnya dengan menggunakan tulangan dari *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP).

Tulangan dari *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) memiliki keunggulan dibandingkan dengan tulangan baja antara lain kuat tarik leleh tinggi (Made, Nyoman, & Eddy, 2015), bahan yang ringan, tahan terhadap korosi, tidak mudah aus (Djamaluddin, Irmawati, & Didipu, 2013). Dengan demikian, pemilihan tulangan dari *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) sebagai bahan pengganti tulangan baja pada elemen balok beton bertulang dapat dipertimbangkan.

Penelitian ini akan mengkaji perbandingan antara balok bertulang baja dengan balok menggunakan tulangan dari *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) dengan dimensi lebar, tinggi, panjang, mutu beton, sengkang, perawatan beton dan umur yang sama. Selain itu, terdapat variasi tambahan dengan perpaduan antara CFRP dengan baja tulangan tekan untuk melihat sifat balok CFRP apabila diaplikasikan pada struktur balok tulangan rangkap.

Penelitian ini merupakan penelitian bersama yang dilaksanakan oleh Bapak Helmy Akbar Bale, Ir., M.T., Bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng., saudara Amartya Rizki Ananda dan penulis yang mendapatkan pendanaan dari hibah penelitian jurusan teknik sipil tahun 2020 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, maka diperoleh beberapa rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) sebagai pengganti baja tulangan terhadap kapasitas lendutan maksimum balok beton bertulang?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) sebagai pengganti baja tulangan terhadap pola keruntuhan balok beton bertulang?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) sebagai pengganti baja tulangan terhadap kekakuan lentur balok beton bertulang?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Membandingkan kapasitas lendutan maksimum beton bertulang menggunakan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) dengan beton bertulang biasa.
2. Mengetahui pola keruntuhan dari beton bertulang menggunakan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) dan beton bertulang biasa.
3. Mengetahui pengaruh *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) terhadap kekakuan lentur yang terdapat pada balok beton bertulang *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) dibanding beton bertulang biasa.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca, adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Manfaat bagi penulis.
 - a. Menambah pengetahuan apakah *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) dapat dimanfaatkan untuk pengganti tulangan baja dari balok beton bertulang.
 - b. Mengetahui perbandingan lendutan maksimum, pola keruntuhan serta kekakuan lentur antara balok beton bertulang *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) dengan balok bertulang biasa.

2. Manfaat penelitian bagi pembaca.
 - a. Menjadi bahan pertimbangan untuk pemilihan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) sebagai pengganti baja tulangan pada balok beton bertulang.
 - b. Menjadi referensi penggunaan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) sebagai pengganti tulangan baja pada balok beton bertulang.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. *Carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) yang dipakai untuk menggantikan tulangan pokok / lentur diameter P-12 pada balok bertulang dengan menggunakan metode perhitungan luas permukaan yang sama dengan besi P-12.
2. Karbon yang dipakai memiliki ketebalan 0,3 mm serta karbon yang digunakan adalah karbon jenis *SikaWarp Hex 230C* dan dibeli di Karyatama Tanjungsari, Sukoharjo, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta, Indonesia.
3. Agregat kasar dan halus berasal dari Gunung Merapi, yang tersedia di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi FTSP UII. .
4. Tulangan lentur yang dipakai menggunakan tulangan baja P-12 serta tulangan geser yang dipakai menggunakan tulangan baja P-8 yang diperoleh di Toko Bangunan Wahyu Jaya, Sleman, Yogyakarta.
5. Air yang digunakan adalah air yang berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
6. Semen yang digunakan adalah semen gresik yang diperoleh di Toko Bangunan Wahyu Jaya, Sleman, Yogyakarta.
7. *Mix design* menggunakan metode SNI 03-2834-2000.
8. Mutu beton yang digunakan yakni $f'c$ 20 MPa, dengan slump 14 – 15 cm dan umur beton 28 hari dan pengaruh luar berupa suhu, kelembaban udara, dan faktor-faktor lain diabaikan.
9. Benda uji berupa 3 buah silinder uji dengan tinggi 15 cm dan diameter 30 cm,

secara berurutan diberi kode SU1, SU2, dan SU3.

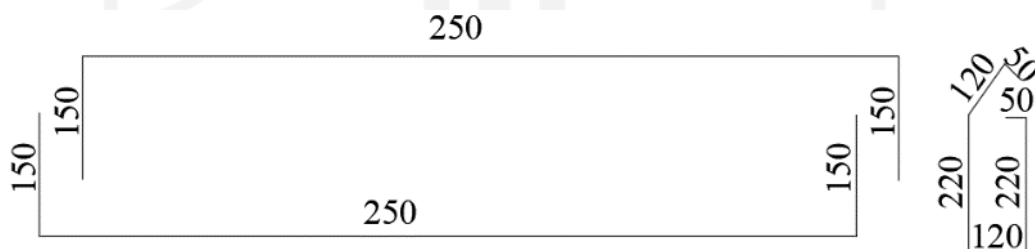
10. Benda uji berupa 11 buah balok beton bertulang dengan ukuran $200 \times 300 \times 2000 \text{ mm}$. Dimana 3 buah balok kontrol dengan tulangan tarik (baja) 3P12 yang diikat oleh tulangan sengkang P8, yang secara berurutan diberi kode BK1, BK2, BK3, 4 buah balok variasi 1 dengan tulangan tarik 3 buah CFRP lebar 30 mm dan tebal 2,4 mm diikat oleh tulangan sengkang P8, juga 4 buah balok variasi 2 dengan dengan tulangan tarik 3 buah CFRP lebar 30 mm dan tebal 2,4 mm dan tulangan tekan 2P12 diikat oleh tulangan sengkang P8. Serta diambil minimal 2 buah sampel silinder setiap balok kontrol maupun balok variasi.
11. Perawatan balok dan sampel silinder (yang berasal dari balok) dengan cara ditutup dengan karung basah, sedangkan silinder uji *mix design* dirawat dengan cara direndam oleh air dan berumur 28 hari
12. Pengujian tekan dilakukan pada balok silinder dan Pengujian lentur dilakukan pada balok ukuran $200 \times 300 \times 2000 \text{ mm}$ dengan beban vertikal berupa beban terpusat ganda (*two point loads*), namun sebelum dilakukan pengujian lentur dilakukan pengujian *Hammer Test*.
13. Seluruh Pengujian dilaksanakan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) dan laboratorium Struktur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Sebelumnya

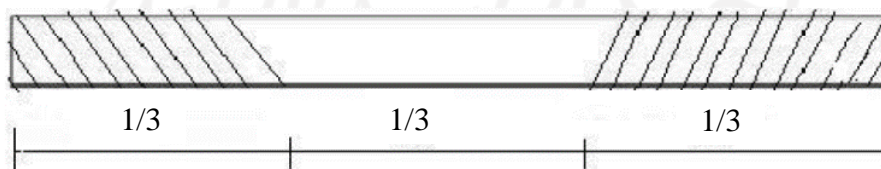
Penelitian ini menggunakan hasil penelitian yang sudah ada sebelumnya sebagai tinjauan pustaka. Penelitian yang pernah dilakukan antara lain sebagai berikut.

Menurut Onal (2009), menyimpulkan kesimpulan bahwa kekuatan meningkat hingga 40% - 45% dan nilai *displacement* menurun hingga 35% - 40%. Daerah yang patah atau retak pun dapat berkurang hingga 80%. Dalam penelitian ini terdapat 3 tipe balok, semua balok memiliki dimensi $150 \times 250 \times 2200 \text{ mm}$. Tipe 1 merupakan balok yang diperkuat dengan CFRP dan epoksi pada daerah tekan. Tipe 2 merupakan balok yang diperkuat dengan CFRP dengan sudut 45° pada daerah geser. Tipe 3 merupakan balok kontrol dengan tulangan geser P-8 dan tulangan lentur P-12. Detail gambar sampel terdapat dalam Gambar 2. 1, Gambar 2. 2 dan Gambar 2. 3 sebagai berikut.



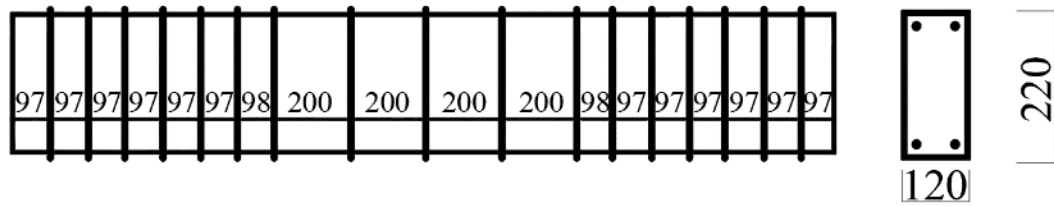
Gambar 2. 1 Beton dengan CFRP di daerah tekan (Tipe 1)

(Sumber : MM Onal, 2009)



Gambar 2. 2 Beton dengan CFRP di daerah geser (Tipe 2)

(Sumber : MM Onal, 2009)

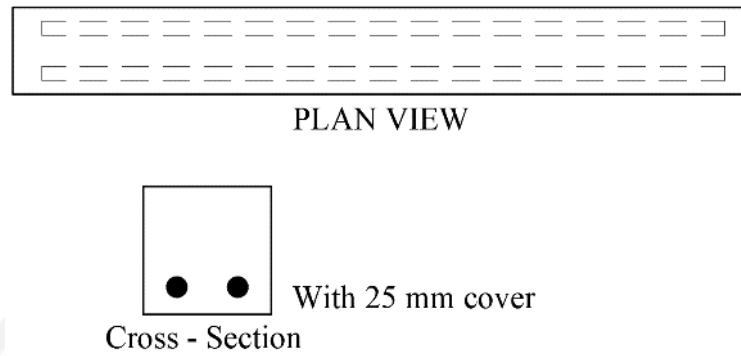


Gambar 2. 3 Beton kontrol dengan tulangan baja (Tipe 3)

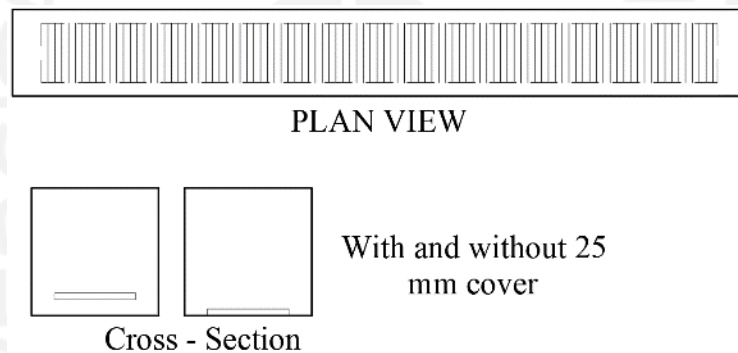
(Sumber : MM Onal, 2009)

Norazman Mohamad Nor (2013) menyimpulkan bahwa penggunaan CFRP sebagai tulangan beton dapat melaksanakan fungsi yang dimaksudkan untuk memperkuat beton pada daerah tegangan, beton bertulang CFRP baik dalam menopang dan menahan beban lentur, ikatan antara beton dan CFRP berperan utama dalam memperkuat beton. Dengan demikian, CFRP dengan penutup mencegah *de-bonding* dan lebih baik untuk struktur, kinerja dan perilaku balok beton bertulang CFRP sebanding dengan balok beton bertulang baja konvensional.

Dalam penelitian ini terdapat 3 tipe balok yang akan diuji dan semua balok menggunakan tulangan lentur saja. Balok tipe 1 yang merupakan balok kontrol dengan ukuran $150 \times 150 \times 600 \text{ mm}$ dipasang 2 buah tulangan baja P-12 dan selimut beton berjarak 25 mm. Balok tipe 2 memiliki dimensi yang sama dengan tipe 1 namun tulangan baja diganti dengan pelat *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) yang berukuran $4,5 \times 60 \times 450 \text{ mm}$ dan selimut beton berjarak 25 mm. Tipe 3 juga memiliki dimensi balok dan pelat *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) yang sama dengan tipe 2 hanya saja pelat *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dipasang tanpa ada selimut beton. Detail gambar beton bertulang baja dan CFRP terdapat dalam Gambar 2. 4 dan Gambar 2. 5 sebagai berikut.



Gambar 2. 4 Beton bertulang baja (Tipe 1)
(Sumber : Norasman Moh Nur, dkk, 2013)

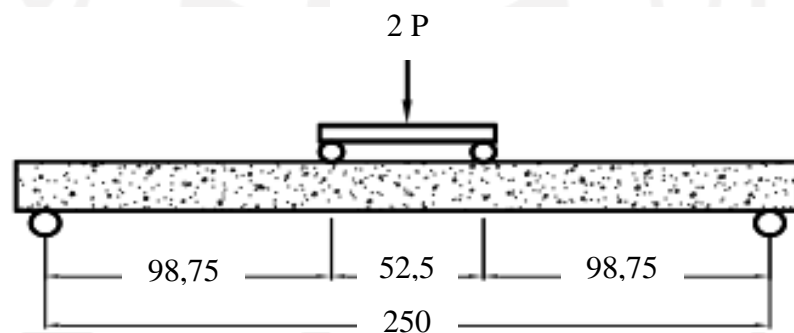


Gambar 2. 5 Beton bertulang CFRP (Tipe 2 dan Tipe 3)
(Sumber : Norasman Moh Nur, dkk, 2013)

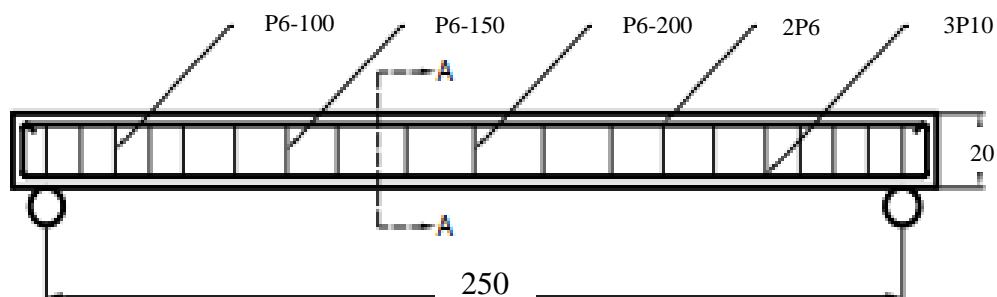
Djamaluddin, dkk (2014) menyimpulkan bahwa dengan adanya lapisan *hybrid* yakni CFRP dan Serat Gelas dapat meningkatkan kapasitas momen lentur dari 8,295 kNm sampai 28,54 kNm. Lapisan *hybrid* mampu meningkatkan kapasitas beban pada balok Variasi I (BGC) sebesar 175.19 % dan pada Variasi II (BGCG) sebesar 214.69 % terhadap balok normal. Balok yang diperkuat dengan lapisan *hybrid* memiliki nilai regangan yang berbeda di tiap-tiap variasi. Balok BGC nilai regangan yang diperoleh lebih besar dibandingkan pada balok BGCG. Hal ini disebabkan balok BGC yang terdiri dari 1 lapis GFRP permukaan penuh, dan 1 lapis CFRP dengan lebar $\frac{1}{3}$ bentang balok yaitu memiliki kuat tarik dari CFRP sebagai lapisan akhir yang sangat besar. Sedangkan untuk balok BGCG yang terdiri 1 lapis GFRP permukaan penuh, 1 lapis CFRP dengan lebar $\frac{1}{3}$ bentang balok, dan 1 lapis GFRP permukaan penuh, dimana GFRP merupakan lapisan akhir pada

variasi balok ini dengan kekuatan tariknya yang jauh lebih rendah dari CFRP. Pola retak yang terjadi pada balok mengalami pola retak lentur dan pola retak geser. Mode kegagalan yang terjadi pada balok semuanya mengalami lepasnya lekatan antara FRP dan beton (*debonding failure*). Sedangkan untuk lapisan hybrid-nya tidak terjadi kerusakan antara GFRP dan CFRP.

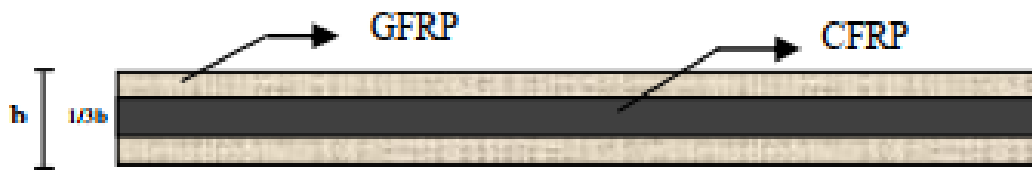
Penelitian ini memiliki sampel balok $150 \times 200 \times 2700$ mm dengan tulangan P-6 pada daerah tekan dan tulangan P-10 pada daerah tarik sedangkan tulangan geser yang digunakan adalah tulangan P-6. Memiliki 2 variasi balok yaitu variasi 1 (BGC) adalah balok dengan perkuatan 1 Lapis GFRP + 1 Lapis CFRP 1/3 lebar dan variasi 2 (BGCG) adalah balok dengan perkuatan 1 Lapis GFRP + 1 Lapis CFRP 1/3 lebar + 1 Lapis GFRP. Detail gambar desain pembebanan, desain pembebanan dan variasi sampel terdapat dalam gambar 2.6 - 2.11 sebagai berikut.



Gambar 2. 6 Desain Pembebanan
(Sumber : Djamaluddin, dkk, 2014)



Gambar 2. 7 Desain Penulangan
(Sumber : Djamaluddin, dkk, 2014)



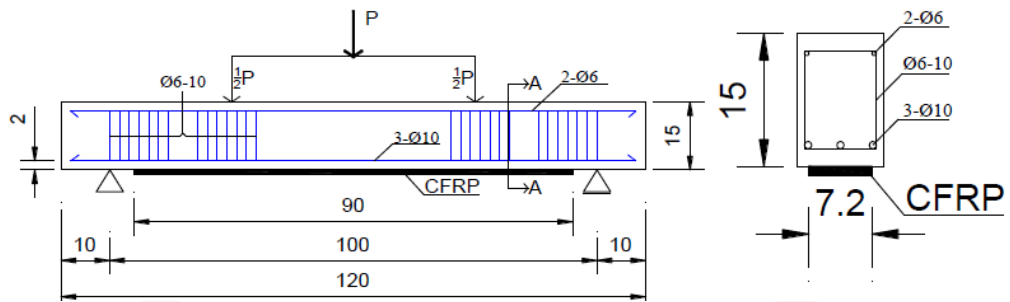
Gambar 2. 8 Variasi I (BGC) : 1 Lapis GFRP + 1 Lapis CFRP 1/3 lebar
(Sumber : Djamaluddin, dkk, 2014)



**Gambar 2. 9 Variasi II (BGCG) : 1 Lapis GFRP + 1 Lapis CFRP 1/3 lebar +
1 Lapis GFRP**
(Sumber : Djamaluddin, dkk, 2014)

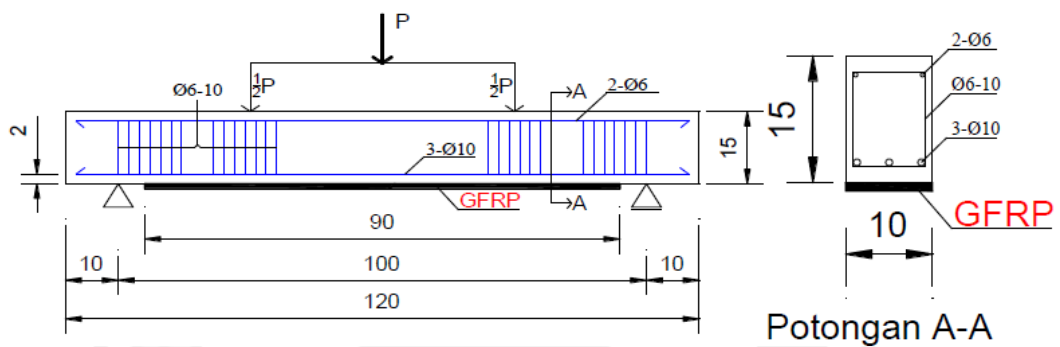
Petrico (2017) menyimpulkan bahwa dari dengan analisis menggunakan CFRP dan GFRP memberikan peningkatan pada kekuatan lentur balok yang cukup signifikan. Jika dipresentasikan maka CFRP dapat meningkatkan kekuatan beton sebesar 23,589% sedangkan balok mendapat tambahan kekuatan dari perkuatan GFRP sebesar 13,736% dari balok kontrol.

Dalam penelitian ini terdapat benda uji balok berdimensi $100 \times 150 \times 1200 \text{ mm}$ sebanyak 3 tipe yang setiap tipe baloknya memiliki 3 buah balok yaitu tipe BK (Balok kontrol), tipe BC (Balok yang diperkuat dengan CFRP) dan tipe BG (Balok yang diperkuat dengan GFRP). Tipe BK diberi beban hingga runtuh. Setelah didapat pembebanan maksimal, 6 benda uji lainnya diberi beban hingga 75% dari beban maksimalnya, setelah itu balok tipe BC diberi perkuatan CFRP dan balok tipe BC diberi perkuatan GFRP. Setelah diberi perkuatan 6 balok tersebut diberi beban hingga runtuh. Detail gambar beton bertulang dengan perkuatan CFRP dan GFRP terdapat dalam Gambar 2.10 dan Gambar 2.11 sebagai berikut.



Gambar 2. 10 Beton bertulang dengan perkuatan CFRP

(Sumber : Ireneus Petrico G, 2014)



Gambar 2. 11 Beton bertulang dengan perkuatan GFRP

(Sumber : Ireneus Petrico G, 2014)

Perbandingan dari semua penelitian terdahulu dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2. 1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Ini

No	Peneliti	Judul	Elemen Struktur yang Ditinjau	Metode	Sampel	Hasil
1	Onal (2009)	<i>Reinforcement of Beams by Using Carbon Fiber Reinforced Polimer in Concrete Buildings</i>	<i>Carbon Fiber Reinforced Polimer</i>	Pengujian CFRP pada struktur beton bangunan	Balok tipe 1 (Balok diperkuat CFRP dan epoksi pada bagian tekan), balok tipe 2 (Balok diperkuat CFRP dengan sudut 45° pada daerah geser), balok tipe 3 (balok kontrol dengan tulangan lentur P-12 dan geser P-8) berdimensi 150 × 250 × 2200 mm.	Penggunaan CFRP meningkatkan kekuatan 40%-45% , menurunkan displacement 35%-40%. Daerah patah atau retak berkurang hingga 80%
2	Nor dkk (2013)	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) as Reinforcement for Concrete Beam</i>	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) dan Reinforcement Concrete Beam</i>	Pengujian CFRP sebagai perkuatan pada struktur beton bangunan	Balok tipe 1 (Balok kontrol), balok tipe 2 (CFRP berbentuk pelat dengan adanya selimut beton), balok tipe 3 (CFRP berbentuk pelat tanpa adanya selimut beton) berdimensi 150 × 150 × 600 mm	Pemakaian CFRP sebagai tulangan pada beton dapat melaksanakan fungsi sama halnya baja tulangan
3	Djamaluddin, dkk (2014)	Pengaruh lapisan Hybrid <i>Carbon fiber reinforced polymer (CFRP)</i> dan Serat Gelas terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang	CFRP (<i>carbon fiber reinforced polymer</i>) dan GFRP (<i>glass fiber reinforced polymer</i>)	Membandingkan antara balok beton CFRP dengan GFRP	Variasi 1 (BGC) adalah balok dengan perkuatan 1 Lapis GFRP + 1 Lapis CFRP 1/3 lebar dan variasi 2 (BGCG) adalah balok dengan perkuatan 1 Lapis GFRP + 1 Lapis CFRP 1/3 lebar + 1 Lapis GFRP berdimensi 150 × 200 × 2700 mm	Lapisan hybrid dapat meningkatkan kapasitas momen lentur dari 8,295 kNm sampai 28,54 kNm. Lapisan hybrid mampu meningkatkan kapasitas beban pada balok Variasi I (BGC) sebesar 175.19 % dan pada Variasi II (BGCG) sebesar 214.69 % terhadap balok normal
4	Petrico G (2014)	Perbandingan Kekuatan lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CFRP dan GFRP	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) dan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)</i>	Perbandingan kuat lentur balok dengan perkuatan CFRP dan GFRP	BK (Balok kontrol), BC (Balok perkuatan CFRP) dan BG (Balok perkuatan GFRP) berdimensi 100 × 150 × 1200 mm, jumlah sampel 3 buah tiap tipe balok	Perkuatan CFRP meningkatkan kekuatan beton 23,589% dan GFRP 13,736%

2.2 Perbedaan Penelitian

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah pada penelitian ini penulis menggunakan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) yang diaplikasikan sebagai pengganti tulangan baja pada balok beton bertulang memiliki dimensi seperti dilapangan pada umumnya, serta terdapat variasi dimana CFRP diaplikasikan pada struktur balok tulangan rangkap, dengan CFRP pada sisi tarik dan baja pada sisi tekan, bentuk CFRP yang menyerupai tulangan sehingga lebih aplikatif dibanding CFRP berbentuk pelat. Apabila penelitian terdahulu *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP) digunakan sebagai perkuatan berbentuk pelat pada balok dengan berbagai variasi meskipun terdapat yang sebagai pengganti baja namun sampel balok yang digunakan lebih kecil.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton Bertulang

Beton adalah bahan yang paling banyak digunakan dalam pembangunan di bidang konstruksi, baik pada jembatan, Gedung, bendung, dll. Beton sederhana dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah atau kerikil), udara, dan terkadang campuran tambahan lainnya.

Baja tulangan terdiri dari batang, kawat, dan jaring kawat baja las yang seluruhnya dirakit dengan standar yang telah ditetapkan. Baja tulangan dapat menahan beban Tarik maupun beban tekan. Menurut BSN (2019), tulangan yang dapat digunakan dalam elemen beton bertulang hanya dibatasi pada baja tulangan dan kawat baja saja. Ada 2 jenis baja tulangan yang terdapat di pasaran, yaitu baja tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan ulir atau *deform* (BJTD). Tulangan polos biasanya digunakan untuk tulangan sengkang, dan mempunyai nilai tegangan leleh (f_y) minimal 240 MPa. Sedangkan tulangan ulir digunakan untuk tulangan memanjang, dan mempunyai nilai tegangan leleh (f_y) minimal 300 MPa.

Sifat utama beton adalah sangat kuat dalam menahan tekan (kuat tekan tinggi) tetapi lemah dalam menahan gaya tarik. Sifat utama baja tulangan, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik namun lemah terhadap beban tekan, sehingga diperlukan baja tulangan di dalam beton yang berfungsi menahan gaya tarik yang bekerja.

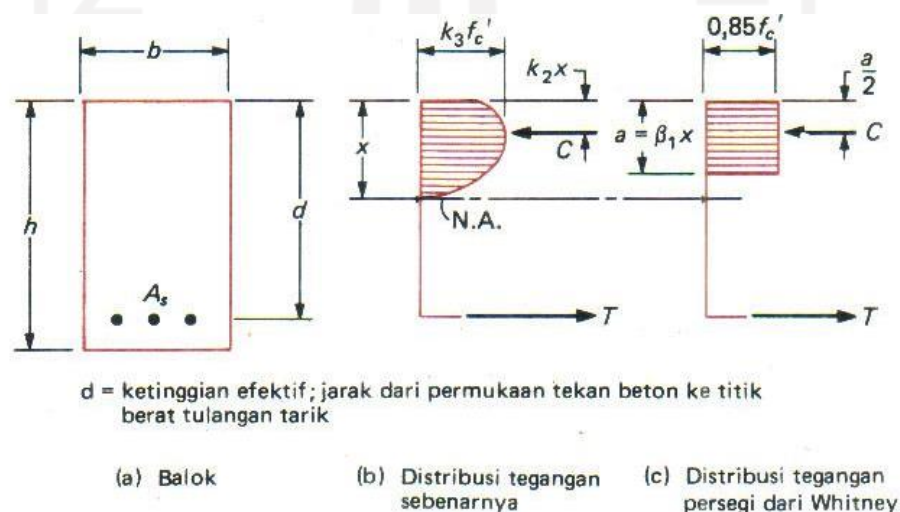
Dari sifat utama kedua bahan tersebut, jika keduanya digabungkan menjadi satu kesatuan secara komposit sehingga dapat diperoleh beton bertulang. Beton bertulang merupakan material komposit yang terdiri dari beton dan baja tulangan yang ditanam di dalam beton. Beton bertulang mempunyai sifat yang sesuai dengan kedua bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan maupun beban tarik. Contoh beton bertulang terdapat dalam Gambar 3. 1 sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Beton Bertulang

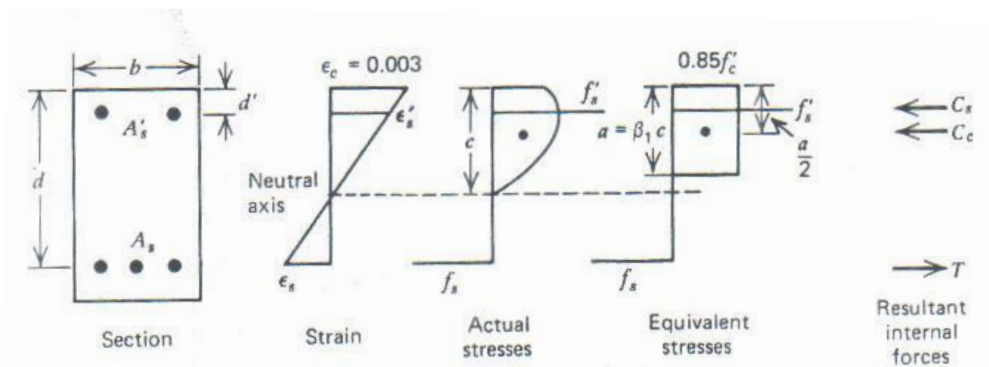
(Sumber : <https://anekabangunan.com/sejarah-penggunaan-beton-bertulang/>)

Balok beton bertulang dibagi menjadi 2 macam yakni balok beton bertulang tunggal dan balok beton bertulang rangkap. Balok beton bertulang tunggal adalah balok beton yang memiliki tulangan memanjang hanya pada daerah tarik. Sedangkan balok beton bertulang rangkap memiliki tulangan memanjang pada daerah tarik dan tekan. Tulangan memanjang adalah tulangan yang memanjang searah dengan panjang balok yang berfungsi untuk menahan momen lentur. Diagram regangan tegangan antara balok bertulang tunggal dan balok beton bertulang rangkap terdapat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Diagram Regangan Tegangan Balok Bertulang Tunggal

(sumber : <http://martinsimatupang.lecture.ub.ac.id/files/2013/03/BALOK-PERSEGI.pdf>)



Gambar 3. 3 Diagram Regangan Tegangan Balok Bertulang Rangkap
(sumber : <http://martinsimatupang.lecture.ub.ac.id/files/2013/03/BALOK-PERSEGI.pdf>)

Dari diagram diatas didapat kan rumus Mn masing masing balok sebagai berikut. Nilai Mn pada balok beton bertulang tunggal dapat dihitung melalui persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times b \quad (3.1)$$

$$T_s = A_s \times f_y \quad (3.2)$$

$$M_n = C_c \times (d - a/2) \quad (3.3)$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times b \times a \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.1)$$

Atau

$$M_n = T_s \times (d - a/2) \quad (3.4)$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2) \quad (3.5)$$

Nilai Mn pada balok beton bertulang rangkap dapat dihitung melalui persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$C_s = A_s' \times f_s \quad (3.6)$$

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s (d - d') \quad (3.7)$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times b \times a \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \times f'_s (d - d') \quad (3.8)$$

Dalam tahap desain tulangan lentur diperlukan pengecekan luas tulangan sebagai berikut $A_s \min < A_s \text{ pakai} < A_s \max$. Nilai $A_s \min$ dan $A_s \max$ didapat dari persamaan berikut.

$$A_s \min 1 = \frac{\sqrt{f'_c \times b \times d}}{4 \times f_y} \quad (3.9)$$

$$As_{min 2} = \frac{1,4 \times b \times d}{f_y} \quad (3.10)$$

Nilai As_{min} dipilih yang terbesar antara $As_{min 1}$ dan $As_{min 2}$.

$$As_{max} = 0,85 \times \frac{3}{7} \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times b \times d \quad (3.11)$$

Pengecekan nilai luasan tulangan dilakukan agar memperoleh nilai C_c yang sesuai (tidak berada pada daerah selimnut beton, sehingga luasan blok desak terpenuhi). Selain tulangan memanjang, terdapat pula tulangan untuk menahan gaya geser yang dinamakan tulangan geser atau tulangan sengkang atau tulangan *stirrup*. Nilai kuat geser nominal dapat dihitung melalui persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.12)$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \quad (3.13)$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \quad (3.14)$$

Menurut Kadarningsih (2012) pada balok beton bertulang kondisi rasio tulangannya dibagi menjadi 3 macam, yakni :

1. *Under reinforced*. Pada proses kehancuran balok didahului dengan melelehnya tulangan baja sebelum beton hancur.
2. *Balance*. Pada Proses kehancuran balok terjadi karena melelehnya tulangan baja bersamaan dengan hancurnya beton.
3. *Over reinforced*. Proses kehancuran balok didahului dengan hancurnya beton sebelum melelehnya tulangan baja.

Oleh karena itu situasi *overreinforced* harus dihindari sebisa mungkin, sehingga para perencana menggunakan situasi *underreinforced* agar jenis daktail dari keruntuhan akan memberikan “waktu menghindar” yang cukup.

3.2 Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Menurut Sianipar (2009) CFRP merupakan salah satu jenis *fiber reinforced polymer* (FRP) yang terbuat dari serat karbon yang direkatkan dengan matriks berupa *resin epoxy*. CFRP memiliki beberapa keunggulan diantaranya: kuat tarik leleh tinggi (Made, Nyoman, & Eddy, 2015), bahan yang ringan, tahan terhadap korosi, tidak mudah aus (Djamaluddin, Irmawati, & Didipu, 2013). Adapun

kekurangannya adalah CFRP masih tergolong sangat mahal. Karbon yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon jenis *SikaWarp Hex 230C*.

Unsur yang terdapat pada CFRP terdapat 2 macam yakni serat dan matriks.

1. Serat

Serat merupakan unsur yang menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan, serta sifat-sifat mekanik lainnya. Serat inilah yang menahan sebagian besar gaya-gaya yang bekerja pada bahan komposit. Dalam CFRP, serat karbon adalah komponen yang berperan sebagai serat.

2. Matriks

Matriks merupakan bahan pengikat, peranan matriks ini dimiliki oleh *resin epoxy*. Menurut Djamaluddin, Irmawati, & Didipu (2013) *resin epoxy* adalah larutan yang digunakan untuk merekatkan serat *fiber* atau objek yang ingin diperkuat. Campuran *resin epoxy* terdiri dari bahan padat dan cair yang saling larut. Pada proses pengeringan ditambahkan pengeras atau katalis yang sesuai syarat untuk mengatur serta mengendalikan kecepatan pada proses pengeringan. Berikut merupakan kelebihan yang dimiliki oleh *resin epoxy* :

- a. Memungkinkan pilihan yang lebih banyak pada berbagai sifat mekanis
- b. Pada proses pengeringan tidak terjadinya penguapan
- c. Pada proses pengeringan tingkat penyusutan yang terjadi sangatlah rendah
- d. Memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap bahan kimia
- e. *Resin epoxy* memiliki sifat adhesi yang baik

Meskipun memiliki banyak kelebihan *resin epoxy* memiliki beberapa kelemahan antara lain yaitu biaya yang mahal dan proses pengeringan yang lama.

Terdapat beberapa metode pembuatan CFRP antara lain adalah *Hand Lay-Up* dan *Vacuum bagging*. Proses *Hand Lay-Up* merupakan proses laminasi serat secara manual. Metode *Hand Lay-Up* lebih ditekankan untuk pembuatan produk yang sederhana dan hanya menuntut satu sisi saja yang memiliki permukaan halus (Gibson, 1994). *Vacuum bagging* adalah teknik yang digunakan untuk menciptakan tekanan mekanis pada laminasi selama siklus penyebaran resin. Penekanan laminasi komposit memiliki beberapa fungsi. Pertama, ini menghilangkan udara yang

terjebak di antara lapisan. Kedua, ini memadatkan lapisan serat untuk transmisi gaya yang efisien di antara bundel serat dan mencegah pergeseran orientasi serat selama proses penyembuhan. Selanjutnya yang ketiga adalah mengurangi kelembaban (Gibson, 1994). Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode hand lay up karena produk yang sederhana, peralatan yang dibutuhkan sedikit dengan harga yang terjangkau, namun memiliki beberapa kelemahan yakni ketebalan yang tidak konsisten serta penyebaran resin tidak merata.

3.4 Lendutan, Keruntuhan, Kekakuan

Kapasitas lendutan maksimum, keruntuhan dan kekakuan merupakan tiga parameter beton yang dapat digunakan untuk mengetahui bagaimana reaksi balok beton bertulang, dalam hal ketahanannya terhadap lendutan dan keruntuhan dengan nilai kekakuan yang dimilikinya. Dengan mengetahui hal tersebut maka dapat diketahui sifat balok beton bertulang sebagai salah satu elemen struktur bangunan.

3.3.1 Lendutan

Menurut Puluhulawa (2011) defleksi atau perubahan bentuk pada balok dalam arah y (seperti pada Gambar 3.4) akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu sebagai berikut ini.

- 1. Kekakuan batang**

Apabila suatu balok memiliki nilai kekakuan yang tinggi maka lendutan yang terjadi akan kecil, dan begitu juga sebaliknya.

- 2. Besarnya kecil gaya yang diberikan**

Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Maka semakin besar beban yang diterima oleh balok, defleksi yang terjadipun semakin besar pula.

- 3. Jenis tumpuan yang diberikan**

Pada tiap jenis tumpuan memiliki jumlah reaksi dan arah yang berbeda. Jika

karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan sendi dan defleksi yang terjadi pada tumpuan sendi lebih besar dari tumpuan jepit.

4. Jenis beban yang terjadi pada batang

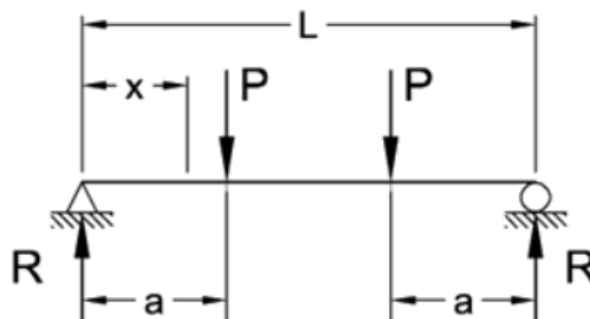
Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik, ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja.



Gambar 3. 4 Perubahan Bentuk Balok Arah Y

Lendutan balok yang diberi beban 2 titik simetris dihitung melalui persamaan berikut (StructX, 2021) serta detail pembebanan terdapat pada Gambar 3.5.

$$\Delta x = \frac{Px}{6EI} (3La - 3a^2 - x^2) \quad (3.12)$$



Gambar 3. 5 Sketsa Pembebanan 2 Titik Pada Balok

dengan :

Δx = Lendutan pada jarak x (mm)

- P = Beban (N)
 L = Panjang balok (mm)
 a = Jarak tumpuan ke titik pembebanan (mm)
 x = Letak tinjauan lendutan dari tumpuan (mm)
 E = Modulus Elastisitas (MPa)
 I = Momen Inersia (mm^4)

3.3.2 Keruntuhan

Faktor yang menyebabkan keruntuhan atau retak pada balok adalah tegangan yang terjadi terutama tegangan tarik. Menurut MacCormac (2001) pola retak untuk balok dibedakan menjadi 5 macam yaitu sebagai berikut ini.

1. Retak lentur

Retak lentur adalah retak vertikal yang memanjang dari sisi tarik yang mengarah keatas sampai daerah sumbu netral. Ilustrasi retak lentur murni terdapat dalam Gambar 3. 6 sebagai berikut.

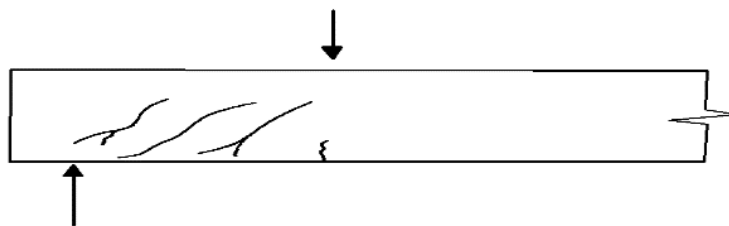


Gambar 3. 6 Retak Lentur Murni

(Sumber: Kholilul dkk, 2009)

2. Retak geser

Retak miring karena geser dapat terjadi pada bagian badan baik sebagai retak bebas atau perpanjangan retak lentur. Kadang-kadang, retak miring akan berkembang secara bebas pada balok atau pelat satu rah meskipun tidak ada retak lentur pada daerah tersebut. Ilustrasi retak geser terdapat dalam Gambar 3. 7 sebagai berikut.

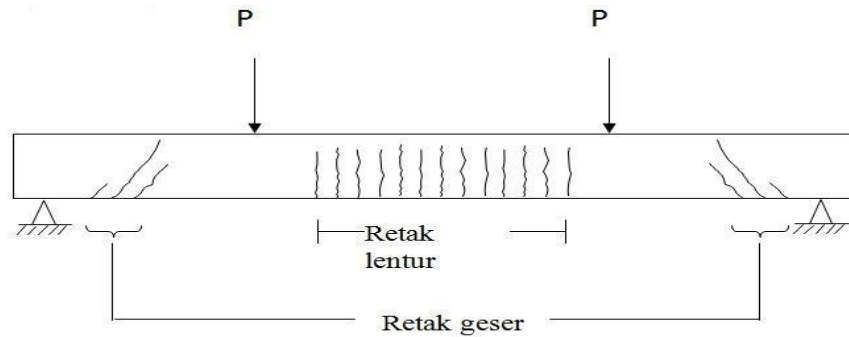


Gambar 3. 7 Retak Geser

(Sumber: Kholilul dkk, 2009)

3. Retak Geser Lentur

Retak jenis ini adalah retak yang paling umum, retak geser-lentur merupakan perpaduan antara lentur dan retak geser. Ilustrasi retak geser dan lentur terdapat dalam Gambar 3. 8 sebagai berikut.

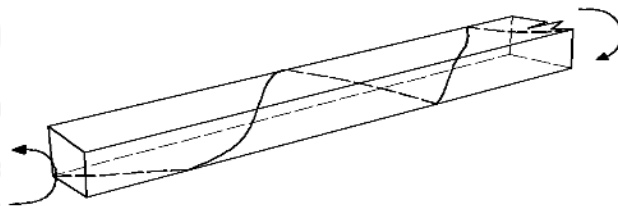


Gambar 3. 8 Retak Geser Lentur

(Sumber: Kholilul dkk, 2009)

4. Retak Puntir

Retak puntir (*torsion crack*) cukup mirip dengan retak geser, tetapi retak puntir ini melingkar balok atau plat satu arah, jika sebuah batang beton tanpa tulangan menerima torsi murni, batang tersebut akan retak dan runtuh disepanjang garis 45 derajat karena tarik diagonal yang disebabkan tegangan puntir. Ilustrasi retak torsi terdapat dalam Gambar 3. 9 sebagai berikut.

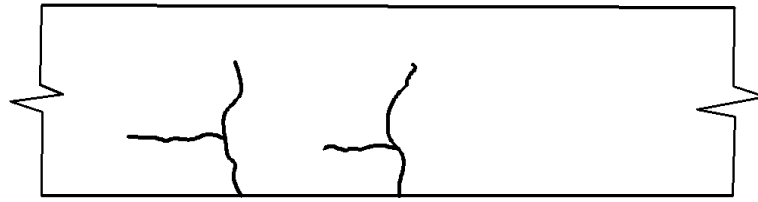


Gambar 3. 9 Retak Torsi

(Sumber: Kholilul dkk, 2009)

5. Retak Lekatan

Retak lekatan terjadi karena tegangan lekatan (*bond stress*) antara beton dan tulangan yang mengakibatkan pemisahan disepanjang tulangan. Ilustrasi retak lekatan terdapat dalam Gambar 3. 10 sebagai berikut.



Gambar 3. 10 Retak Lekatan

(Sumber: Kholilul dkk, 2009)

Keruntuhan lekatan antara baja tulangan dan beton yang mungkin terjadi pada saat dilakukan pengujian biasanya ditunjukkan oleh salah satu atau lebih dari peristiwa berikut ini (Nuryani, 2005) :

1. *Transverse Failure* yaitu adanya retak pada beton arah transversal/melintang akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
2. *Splitting Failure* yaitu adanya retak pada beton arah longitudinal/memanjang akibat tegangan radial geser yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
3. *Pull Out Failure / Slip* yaitu kondisi dimana baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan komponen tegangan geser yang memecah lekatan antara baja tulangan dan beton.
4. Baja tulangan mencapai leleh yaitu apabila baja tulangan meleleh diikuti oleh kontraksi/pengecilan diameter tulangan, hal ini mengakibatkan tidak berfungsinya lekatan terhadap beton yang mengelilinginya, sehingga akan menurunkan atau bahkan hilangnya daya lekatan antara baja tulangan dan beton.

3.3.3 Kekauan

Menurut Rizky Fajar Pratama (2016) kekakuan (*stiffness*) merupakan suatu ukuran tegangan yang diperlukan guna mengubah satuan bentuk suatu bahan. Besaran kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya, yang didapat dengan membagi tegangan satuan yang diterima bahan dengan perubahan satuan bentuk bahan tersebut. Sehingga didapat rumus:

$$K = P / \Delta \quad (3.13)$$

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Menurut Sugiyono (2017) metode penelitian atau yang disebut dengan metode ilmiah adalah cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Berdasarkan hal tersebut terdapat empat kata kunci yang perlu diperhatikan yaitu cara ilmiah, data, tujuan dan kegunaan. Oleh karena itu, metode penelitian memuat jenis penelitian yang digunakan, cara memperoleh data, dan analisis data tersebut.

4.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian berkaitan dengan metode penelitian yang digunakan nantinya untuk mendapatkan data yang diperoleh kemudian diolah sehingga tercapai tujuan penelitian yang diinginkan. Berdasarkan masalah pada penelitian ini maka jenis penelitian yang sesuai adalah penelitian percobaan (eksperimen). Menurut Sugiyono (2017) metode penelitian eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan. Adapun sumber lain yaitu menurut Arikunto (2006) metode eksperimen adalah suatu cara untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang sengaja ditimbulkan oleh peneliti dengan mengeliminasi atau mengurangi atau menyisihkan faktor lain yang mengganggu. Singkatnya penelitian percobaan (eksperimen) yaitu penelitian yang dilakukan dengan percobaan di laboratorium dengan inovasi inovasi tertentu untuk memperoleh data. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis dengan kaidah atau pedoman yang sesuai SNI dan ASTM, sehingga mendapatkan hasil perbandingan yang diinginkan.

4.3 Metode Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian percobaan (eksperimen) dapat menggunakan beberapa cara, tergantung dari jenis data yang dibutuhkan. Jenis data yang dimaksud disini adalah data primer.

Data primer yaitu data yang diperoleh dari suatu pengujian di laboratorium penelitian. Adapun langkah pengujian yang dilakukan sebagai berikut.

1. Melakukan pengujian uji tekan pada sampel silinder.
2. Melakukan uji tarik baja tulangan dan uji tarik CFRP.
3. *Mixing* sampel balok yang telah direncanakan dan sampel silinder dari tiap balok (minimal 2 buah) serta melakukan *curing*.
4. Melakukan pengujian pada balok berupa *hammer*, tekan silinder (yang diambil dari sampel balok) dan uji lentur pembenanan 2 titik.

4.4 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi dan Struktur Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII), Yogyakarta. Berikut merupakan tahapan penelitian yang akan dilaksanakan.

4.4.1 Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pada penelitian ini, persiapan bahan yang harus dilakukan antara lain:

1. Melakukan pengujian uji tekan pada sampel silinder
Kuat tekan (*compressive strength*) beton dengan benda uji berbentuk silinder atau kubus yang dibuat dan dirawat (*curing*) di laboratorium maupun di lapangan. Adapun langkah untuk pengujian tekan adalah sebagai berikut.
 - a. Mengambil benda uji yang akan ditentukan kuat tekannya dari bak perendaman/pematangan (*curing*) 24 jam sebelum pengujian, kemudian membersihkan dari kotoran dan mengukur benda uji.
 - b. Menimbang dan mengukur benda uji.
 - c. Melapisi (*counting*) permukaan atas benda uji dengan mortar belerang.
 - d. Meletakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris

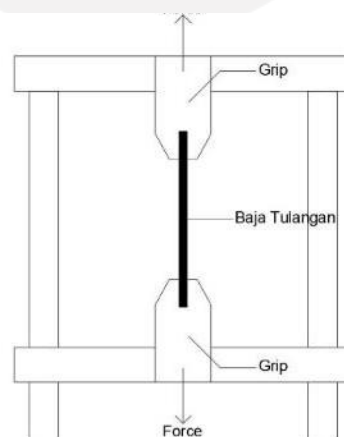
- e. Menjalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan, sekitar 2 sampai 4 kg/cm² per detik.
- f. Melakukan pembebanan sampai benda uji hancur, dan mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
- g. Menggambarkan bentuk pecah dan catat keadaan benda uji.

4.4.2 Pengujian Bahan Penyusun Tulangan

Pada penelitian ini terdapat inovasi bahan untuk menggantikan baja tulangan yaitu CFRP. Sebelum digunakan untuk penelitian CFRP diuji terlebih dahulu untuk mendapatkan data tarik agar dapat diperoleh apakah CFRP memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi atau sama dari baja tulangan sehingga diperoleh kesimpulan apakah CFRP dapat dipakai untuk menggantikan tulangan lentur pada balok atau tidak. Berikut ini adalah pengujian yang akan dilakukan.

1. Pengujian tarik baja

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kuat tarik baja tulangan. Sketsa pengujian baja tulangan terdapat pada Gambar 4. 1.

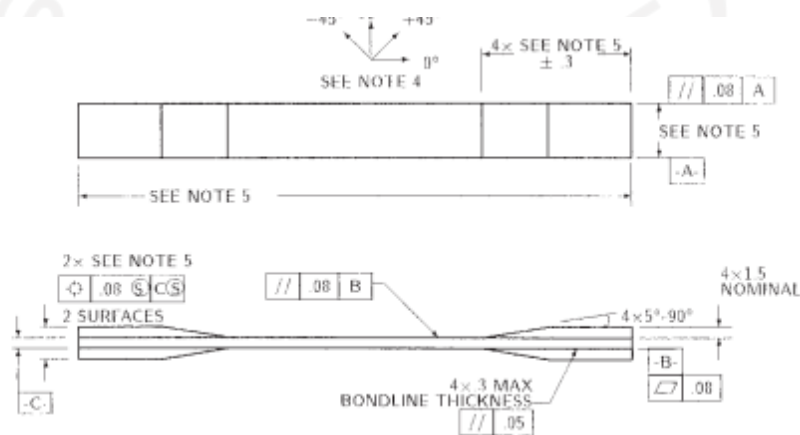


Gambar 4. 1 Sketsa Pengujian Baja Tulangan

2. Pengujian tarik *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP)

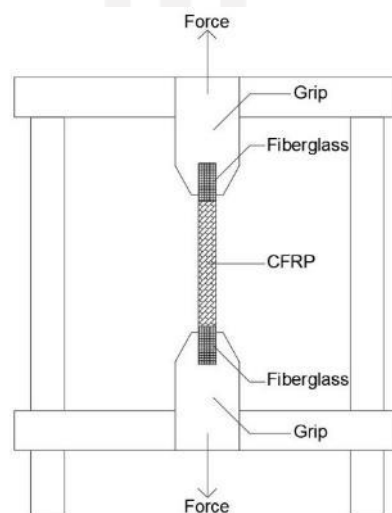
Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kuat tarik CFRP. Pengujian dilakukan sesuai prosedur dan standar dari ASTM dengan asumsi karbon berbentuk 90° *unidirectional* sehingga panjang sampel adalah 250 mm, lebar 25 mm dan diberi grip menggunakan *fiber glass* sepanjang 100 mm diujung ujung sampel CFRP. Pembuatan CFRP dilakukan dengan metode

Hand Lay Up yakni mengkompositkan antara serat karbon dan *epoxy resin* dengan bantuan cetakan berupa kaca dan kuas untuk meratakannya. Pertama cetakan kaca disiapkan, setelah itu serat karbon digelar di atas cetakan tersebut, cairan *resin epoxy* dituangkan dan diratakan dengan kuas, hal tersebut dilakukan berulang kali hingga kebutuhan jumlah lapis serat karbon terpenuhi. Sketsa sampel serta metode pengujian CFRP terdapat pada Gambar 4. 2 dan Gambar 4. 3.



Gambar 4. 2 Sketsa Sampel Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

(Sumber : ASTM D3039 2011)



Gambar 4. 3 Sketsa Pengujian Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

4.4.3 Pengujian Utama

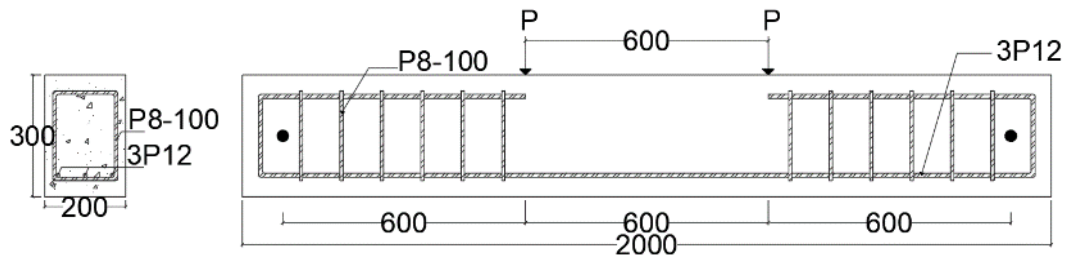
Dalam penelitian ini penulis melakukan pengujian lentur dengan 2 titik pembebanan pada balok berukuran lebar 20 cm, tinggi 30 cm, dan panjang 2 meter, sebelum itu perlu dibuat terlebih dahulu bekisting balok kemudian dilanjutkan dengan pembuatan benda uji. Benda uji yang digunakan berupa 11 buah balok, dimana 3 diantaranya balok kontrol dengan tulangan baja tarik 3P12 dengan tulangan geser P8-100 dengan kode BK 1, BK 2, BK 3, 4 buah balok variasi 1 dengan tulangan tarik 3 buah CFRP lebar 30 mm dan tebal 2,4 mm diikat oleh tulangan sengkang P8-100, juga 4 buah balok variasi 2 dengan tulangan tarik 3 buah CFRP lebar 30 mm dan tebal 2,4 mm dan tulangan tekan 2P12 diikat oleh tulangan sengkang P8-100. Serta diambil minimal 2 buah sampel silinder setiap balok kontrol maupun balok variasi. Serta masing masing balok diambil sampel silinder minimal 2 buah untuk diuji tekan dan seluruh balok dilakukan *hammer test* terlebih dahulu agar mengetahui nilai kuat tekan sebenarnya pada balok.

Pada penelitian ini, CFRP hanya ditujukan untuk mengganti tulangan tarik bukan tulangan tekan. Oleh karena itu, balok variasi 1 hanya menggunakan CFRP pada sisi tarik, tanpa ada tulangan tekan di sisi atas. Sampel ini (variasi 1) memberikan data mengenai perilaku lentur balok yang menggunakan CFRP tanpa ada pengaruh dari tulangan tekan. Hal ini yang menyebabkan balok kontrol didesain sebagai balok tulangan tunggal dalam kondisi *under reinforced* sesuai SNI 2847-2019. Melalui perbandingan kedua sampel ini, dapat diketahui pengaruh penggunaan CFRP sebagai pengganti baja tulangan terhadap perilaku lentur balok.

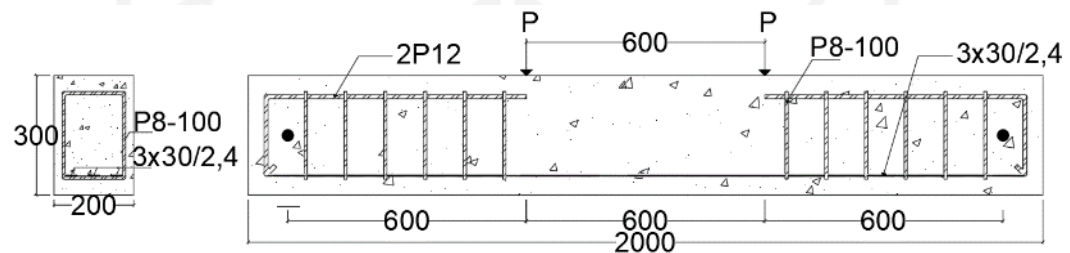
Setelah diketahui pengaruh CFRP sebagai pengganti baja tulangan terhadap perilaku lentur balok, selanjutnya CFRP diaplikasikan pada struktur balok beton tulangan rangkap untuk mensimulasikan kondisi balok pada struktur yang sesungguhnya. Oleh karena itu, balok variasi 2 didesain menjadi balok tulangan rangkap. Sampel ini (variasi 2) memberikan data mengenai perilaku lentur balok tulangan rangkap yang menggunakan CFRP sebagai pengganti tulangan tarik.

Perbandingan antara balok variasi 2 dengan variasi 1, menggambarkan pengaruh tulangan tekan terhadap perilaku lentur dari balok tulangan rangkap yang

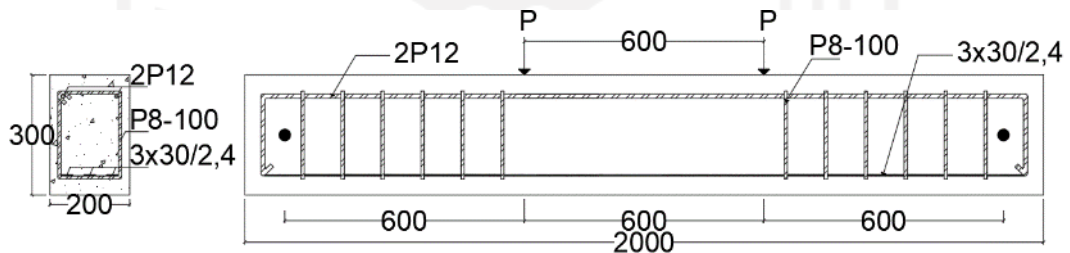
menggunakan CFRP sebagai pengganti tulangan tarik. Detail sampel balok terdapat pada Gambar 4.5 s.d Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 4 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Kontrol

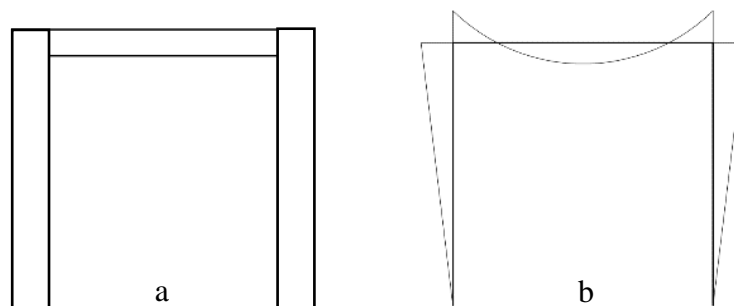


Gambar 4. 5 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Variasi 1



Gambar 4. 6 Tampak Melintang dan Memanjang Balok Variasi 2

Pengujian lentur yang dilakukan menggunakan metode uji lentur *2 point load* masing masing beban berjarak 600 mm dari tumpuan. Sampel balok beton bertulang memiliki tumpuan sendi dan roll pada *centre line* (1/2 tinggi balok) balok. Tumpuan (sendi dan roll) terletak pada AS balok agar perlakuannya sama seperti pemodelan analisis struktur portal sederhana, yang memodelkan BMD struktur bekerja pada garis as balok. Sehingga AS balok sebagai garis sumbu struktur elemen sesuai dengan Gambar 4.4 berikut.



a. Struktur portal sederhana b. pemodelan analisis struktur BMD

Gambar 4. 7 Struktur Portal Sederhana dan Pemodelan BMD

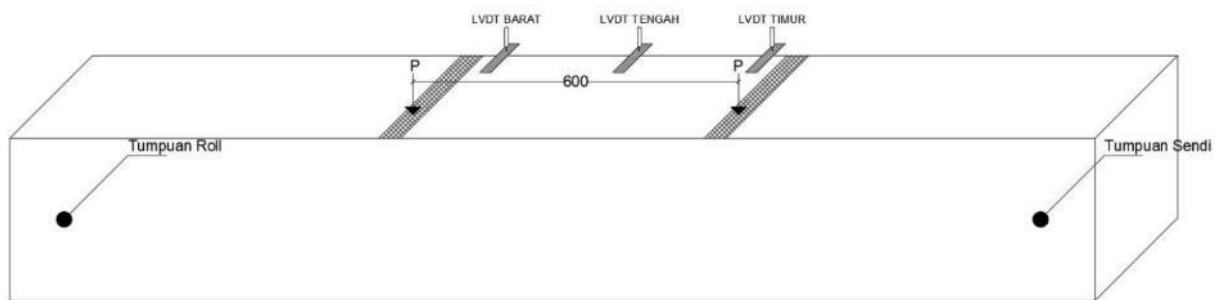
Lendutan diukur menggunakan LVDT pada tengah bentang (LVDT 2), 600 mm dari tumpuan sendi (LVDT 1) dan 600 mm dari tumpuan roll (LVDT 3). Pemasangan LVDT pada 3 titik yang berbeda dengan tujuan untuk mengetahui berapa besar lendutan yang terjadi pada setiap titik pembebanan serta tengah bentang. Penentuan titik yang mengalami lendutan maksimum akibat 2 titik pembebanan, dengan cara *trial* rumus 3.12 pada landasan teori dengan menggunakan dimensi balok sesuai sampel dan mutu beton rencana 20 MPa, beban titik asumsi 100 kN diperoleh hasil pada tabel 4.1 berikut

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Lendutan Balok 2 Titik Pembebanan

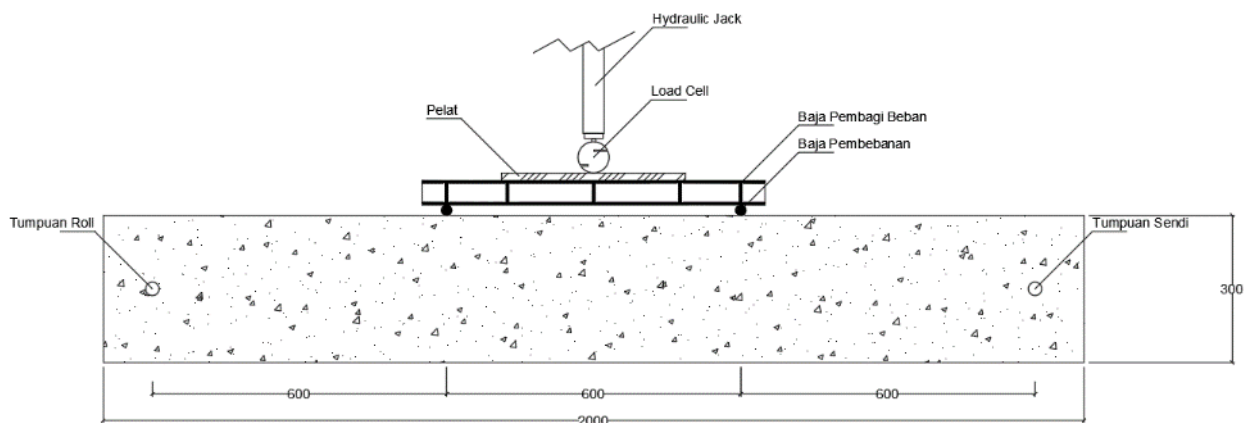
Δx (mm)	x (mm)	P (N)	E (MPa)	I (mm ⁴)	L (mm)	a (mm)
0,0000	0	100000	21019,039	450000000	2000	600
0,4423	100	100000	21019,039	450000000	2000	600
0,8740	200	100000	21019,039	450000000	2000	600
1,2845	300	100000	21019,039	450000000	2000	600
1,6634	400	100000	21019,039	450000000	2000	600
2,0000	500	100000	21019,039	450000000	2000	600
2,2836	600	100000	21019,039	450000000	2000	600
2,5039	700	100000	21019,039	450000000	2000	600
2,6502	800	100000	21019,039	450000000	2000	600
2,7118	900	100000	21019,039	450000000	2000	600
2,6502	800	100000	21019,039	450000000	2000	600
2,5039	700	100000	21019,039	450000000	2000	600
2,2836	600	100000	21019,039	450000000	2000	600
2,0000	500	100000	21019,039	450000000	2000	600
1,6634	400	100000	21019,039	450000000	2000	600
1,2845	300	100000	21019,039	450000000	2000	600
0,8740	200	100000	21019,039	450000000	2000	600
0,4423	100	100000	21019,039	450000000	2000	600
0,0000	0	100000	21019,039	450000000	2000	600

Hasil perhitungan persamaan diatas menunjukkan bahwa kapasitas lendutan maksimum balok pembebanan 2 titik terjadi pada tengah bentang. Oleh karena itu LVDT yang digunakan sebagai acuan (grafik beban vs lendutan) adalah LVDT pada tengah bentang.

Detail sketsa pengujian terpusat ganda terdapat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4. 8 Sketsa Pengujian Beban Terpusat Ganda



Gambar 4. 9 Sketsa Tampak Depan Pengujian Beban Terpusat Ganda

Adapun langkah langkah dalam pengujian lentur balok adalah sebagai berikut:

1. Membuat bekisting balok dengan dimensi $200 \times 300 \times 2000 \text{ mm}$.
2. Membuat 7 sampel benda uji balok sesuai dengan kodefikasi tulangan dan CFRP. Serta mengambil sampel silinder minimal sebanyak 2 buah (untuk diuji tekan nantinya).

3. Pembongkaran sampel dari bekisting, lalu melakukan *curing* beton dengan karung basah.
4. Mengukur dimensi benda uji (setelah 28 hari) menggunakan meteran, lalu dilakukan *hammer test* dan uji desak silinder yang diambil dari sampel balok.
5. Menimbang berat benda uji.
6. Benda uji balok diletakkan dibawah mesin pengujian.
7. Menempatkan benda uji tepat pada pusat tumpuan dengan beban pembebanan 2 titik (*two point loads*) dan mengatur posisi titik LVDT.
8. Mesin uji dijalankan, pembebanan, lendutan dicatat.
9. Pola diamati dan diberi tanda menggunakan spidol. Serta mengamati keruntuhan yang dialami oleh balok.
10. Menggambar sketsa benda uji setelah pembebanan.

4.5 Metode Analisis Data

Setelah seluruh pengujian dilaksanakan, maka akan diperoleh data data yang kemudian akan dianalisis. Berikut merupakan langkah langkah yang digunakan dalam menganalisis data pengujian.

1. Melakukan pengujian tekan pada sampel silinder

Adapun data yang didapatkan dari hasil pengujian tekan adalah beban maksimum. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai kuat tekan beton.

$$\text{Kuat desak} = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

dengan:

P = Beban maksimum

A = Luas penampang beton

2. Pengujian tarik baja

Adapun data data yang didapatkan dengan menguji tarik baja di laboratorium sebagai berikut.

- a. Panjang dan diameter baja tulangan
- b. Luas penampang baja tulangan
- c. Nilai kuat tarik maksimum (f_u) dan kuat tarik leleh (f_y) baja tulangan

Nilai kuat tarik baja dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

- a. Kuat Tarik maksimum baja tulangan (f_u)

$$f_u = \frac{P_{maks}}{A_o} \quad (4.2)$$

dengan :

f_u = tegangan tarik maksimum

P_{maks} = beban maksimum

A_o = luas penampang awal

- b. Kuat Tarik leleh baja tulangan (f_y)

$$f_y = \frac{P_y}{A_o} \quad (4.3)$$

dengan :

f_y = tegangan tarik leleh

P_y = beban ketika leleh

A_o = luas penampang awal

3. Pengujian tarik *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP)

Adapun data data yang didapatkan dengan menguji tarik CFRP di laboratorium sebagai berikut.

- a. Panjang, lebar dan tebal sampel CFRP
- b. Hasil pembacaan regangan pengujian tarik

Nilai kuat tarik CFRP dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

Kuat Tarik *ultimite* CFRP (f_u)

$$f_u = \frac{P_{maks}}{A_o} \quad (4.4)$$

dengan :

f_u = tegangan tarik maksimum

P_{maks} = beban maksimum

A_o = luas penampang awal

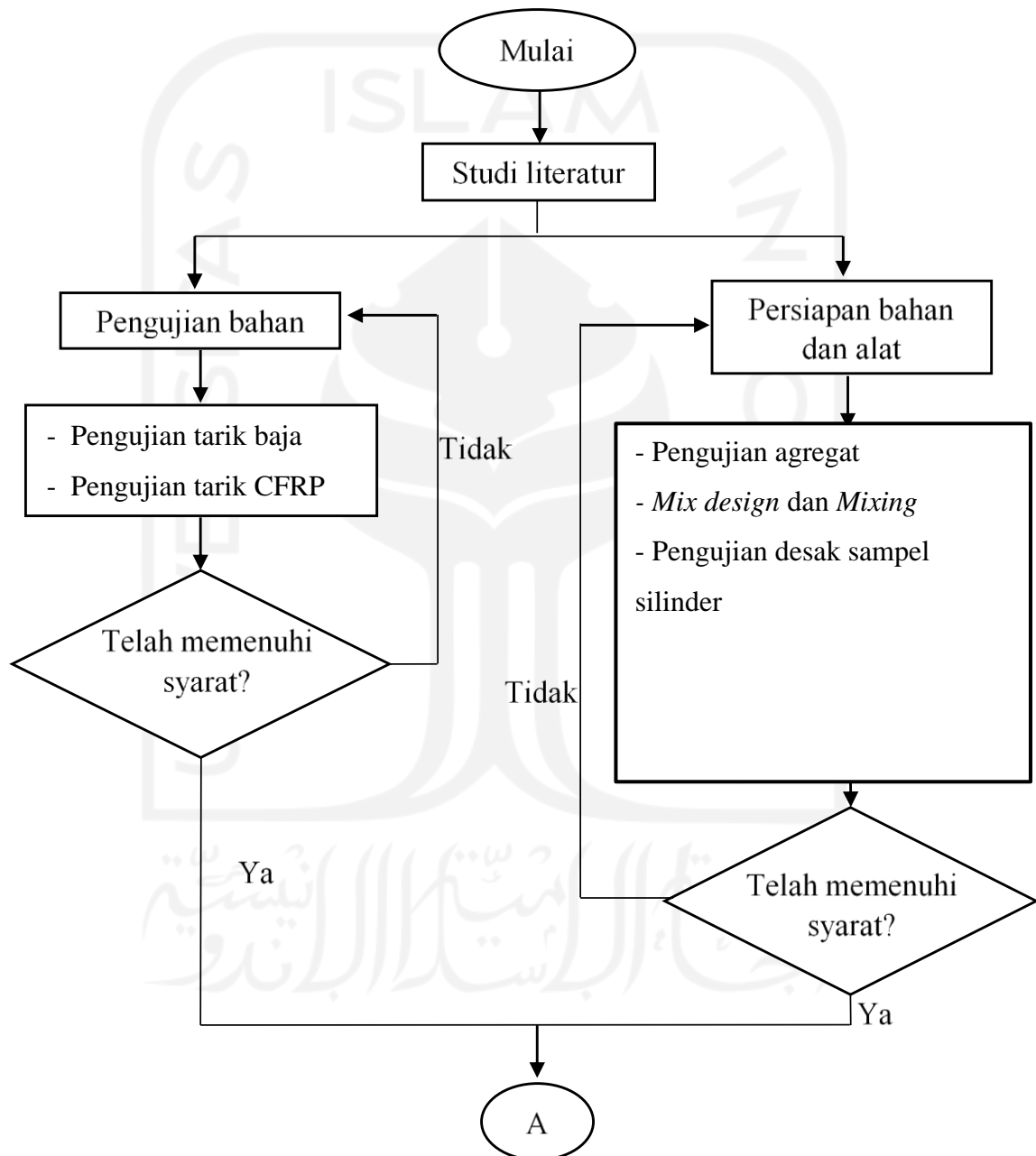
4. Analisa terhadap kapasitas lendutan maksimum, keruntuhan, dan kekakuan.

Pada tahap ini dilakukan dilakukan pengujian tekan sampel silinder yang diambil dari sampel balok untuk mengetahui nilai kuat tekan serta modulus elastisitas yang sebenarnya, setelah itu dilakukan *hammer test* pada balok sebelum dilakukan uji lentur 2 titik pembebanan. Ketiga Parameter diatas

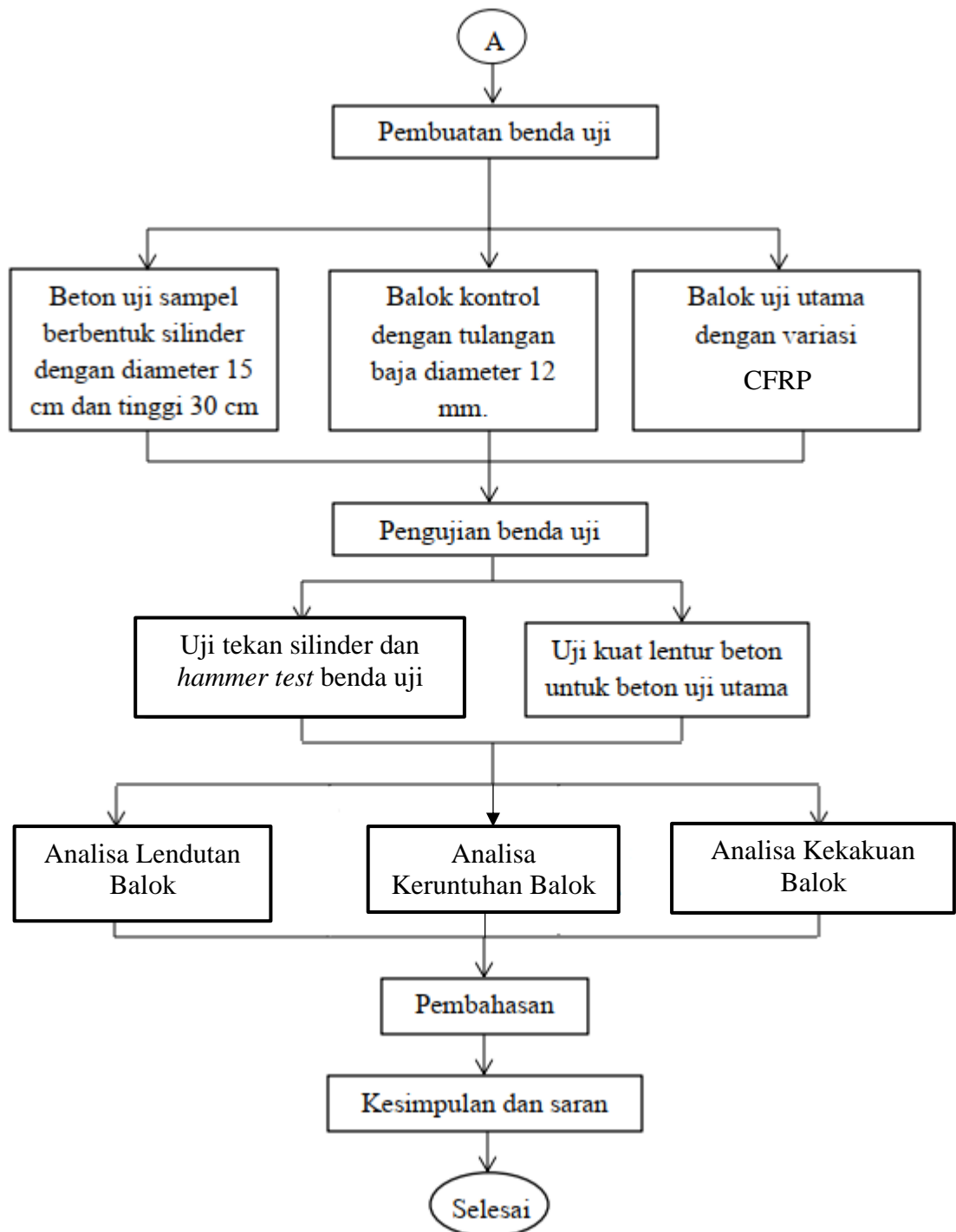
diamati dan dibandingkan antara balok dengan penggunaan baja tulangan biasa dan balok dengan CFRP.

4.6 Diagram Alir penelitian

Diagram menggambarkan jalannya penelitian terdapat pada 10.



Gambar 4. 10 Flow Chart Tahapan Penelitian



Lanjutan Gambar 4. 10 *Flow Chart* Tahapan Penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Material Umum

Hasil pengujian material yang digunakan untuk menyusun balok beton bertulang baja maupun CFRP adalah sebagai berikut :

5.1.1 Baja Tulangan

Pada penelitian pengujian tulangan baja dilakukan analisis pada tulangan baja polos berdiameter 8 mm dan 12 mm yang sesuai standar (BSN, 1991). Detail proses pengujian baja terdapat pada lampiran 5 pada Gambar 2 dan Gambar 3. Berikut penjelasan lebih lanjut mengenai analisis pengujian bahan untuk tiap tahapannya.

1. Baja Tulangan P8

$$\text{Diameter} = 6,95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 6,95^2 \\ &= 37,9367 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

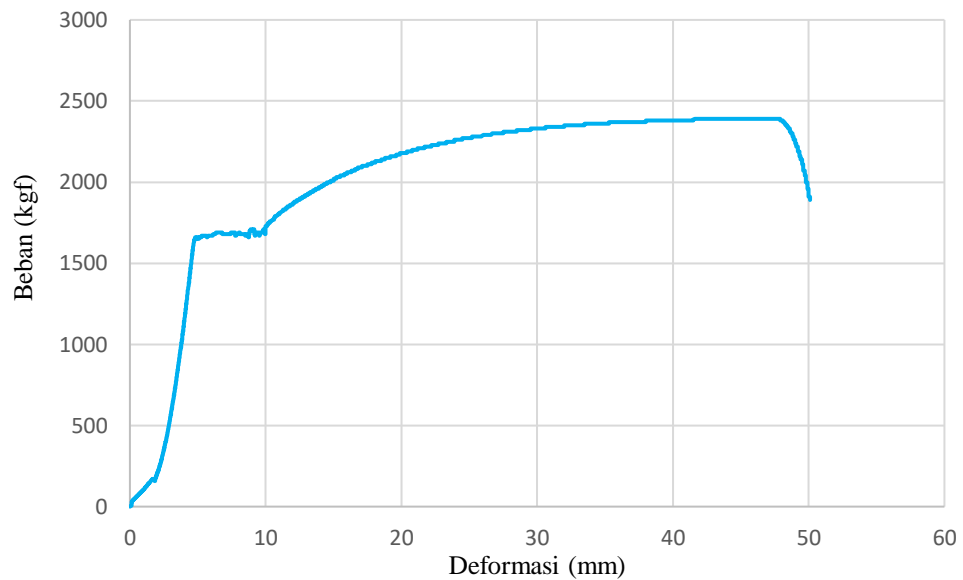
$$\begin{aligned} P_u &= 2386,5 \text{ kgf} \\ &= 2386,5 \times 9,81 \\ &= 23411,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_y &= 1656 \text{ kgf} \\ &= 1656 \times 9,81 \\ &= 16245,36 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_u &= P_u / \text{Luas} \\ &= 23411,6 / 37,9367 \\ &= 617,1219 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_y &= P_y / \text{Luas} \\ &= 1656 / 37,9367 \\ &= 428,2229 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Grafik pengujian kuat tarik baja tulangan P8 terdapat pada Gambar 5. 1



Gambar 5. 1 Beban vs Deformasi P8

2. Baja Tulangan P12

Diameter = 10,75 mm

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 10,75^2 \\ &= 90,7626 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

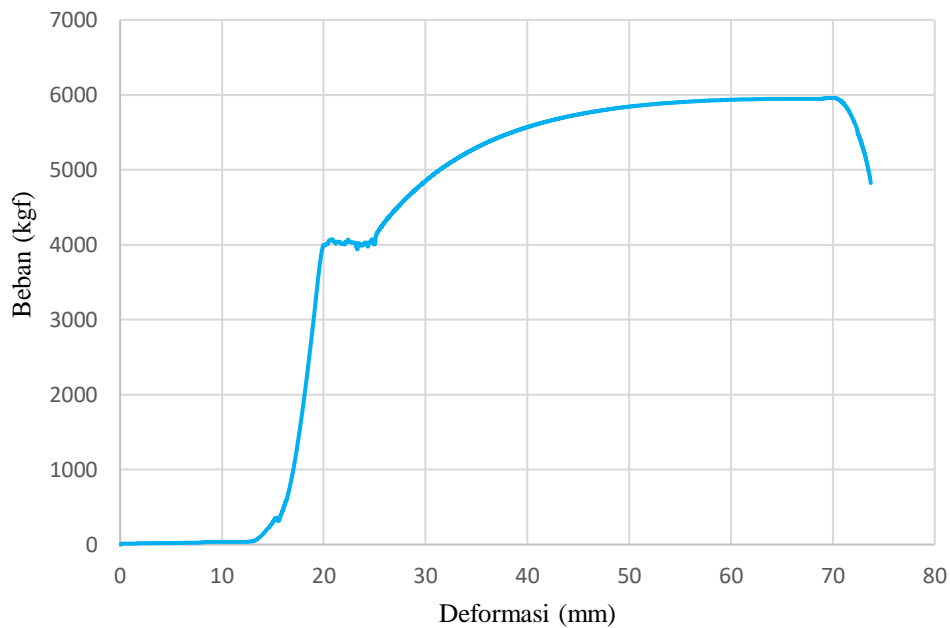
$$\begin{aligned} P_u &= 5958 \text{ kgf} \\ &= 5958 \times 9,81 \\ &= 58447,98 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_y &= 3996 \text{ kgf} \\ &= 3996 \times 9,81 \\ &= 39200,76 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_u &= P_u / \text{Luas} \\ &= 58447,98 / 90,7626 \\ &= 643,9657 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_y &= P_y / \text{Luas} \\ &= 39200,76 / 90,7626 \\ &= 431,9045 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Grafik pengujian kuat tarik baja tulangan P12 terdapat pada Gambar 5. 2.



Gambar 5. 2 Beban vs Deformasi P12

Hasil pengujian tarik baja tulangan P8 dan P12 menunjukkan bahwa kedua sampel tersebut masuk dalam kategori BJ 55 sesuai dengan SNI 03- 1729- 2002.

5.1.2 Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Berikut penjelasan lebih lanjut mengenai analisis kuat tarik (f_u) CFRP.

1. CFRP 1

$$\text{Beban} = 1898,235 \text{ N}$$

$$\text{Tebal} = 0,3 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar} = 23,54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A &= 0,3 \times 23,54 \\ &= 7,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_u &= 1898,235 / 7,062 \\ &= 268,80 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. CFRP 2

$$\text{Beban} = 4694,085 \text{ N}$$

$$\text{Tebal} = 0,3 \text{ mm}$$

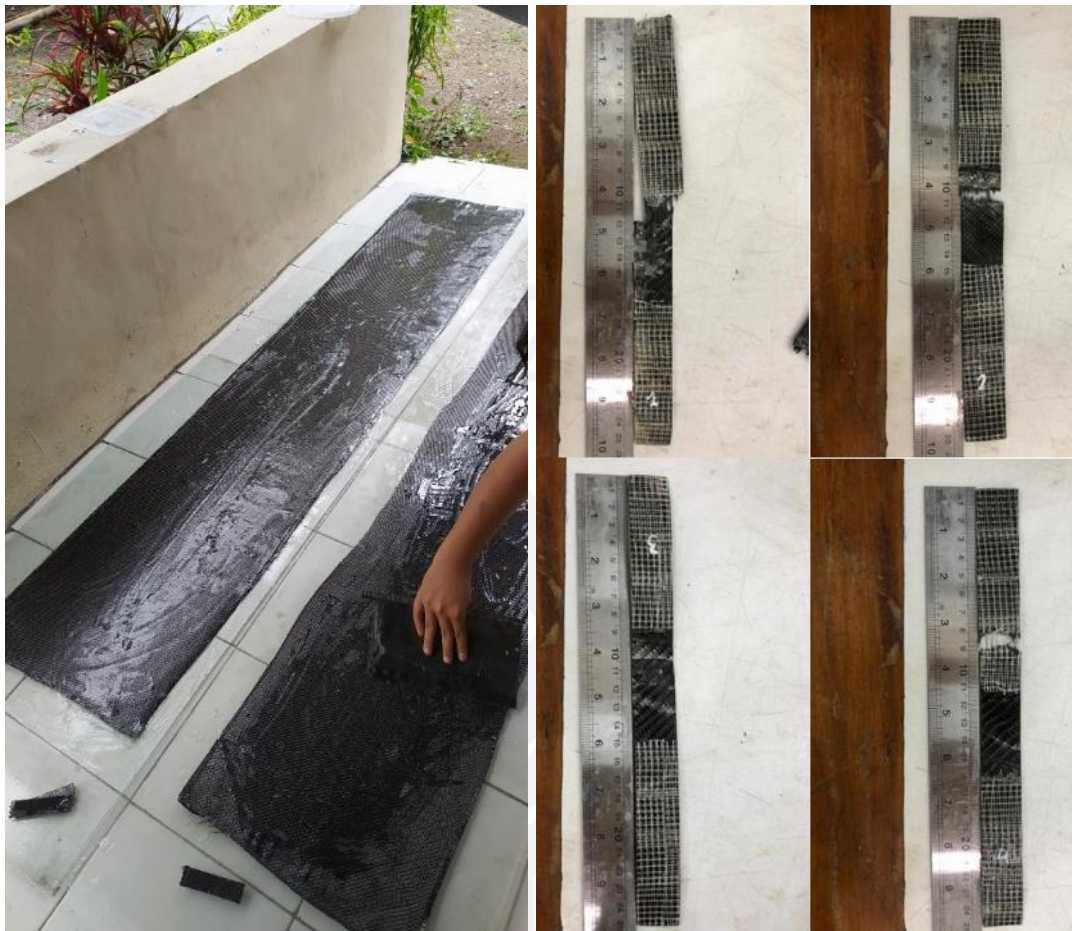
$$\text{Lebar} = 24,89 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 0,3 \times 24,89 \\
 &= 7,467 \text{ mm}^2 \\
 F_u &= 4694,085 / 7,467 \\
 &= 628,64 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada CFRP 3 hingga CFRP 4 dilakukan dengan analisis perhitungan dengan cara yang sama seperti diatas Hasil rekapitulasi kuat tarik (f_u) CFRP terdapat pada Tabel 5. 1 dan Gambar 5. 3, serta pada lampiran 5 Gambar 9 s.d Gambar 11 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Hasil uji tarik CFRP

No	Sampel	Kuat tarik f_u (MPa)
1	CFRP 1	268,8
2	CFRP 2	628,64
3	CFRP 3	601,33
4	CFRP 4	433,47
rerata		483,06
standar deviasi		166,881



Gambar 5. 3 Proses Pembuatan CFRP dan Kondisi CFRP Setelah Diuji

Pada seluruh pengujian CFRP diatas dapat diketahui bahwa material tersebut memiliki sifat yang getas ditandai dengan pertambahan panjang setelah pengujian sangatlah kecil (hanya berkisar 1 s.d 2 mm) seperti pada Gambar 5. 3, nilai kuat tarik yang dimiliki CFRP tidak konsisten ditandai dengan nilai standar deviasi yang tinggi, namun terdapat 2 CFRP yang memiliki nilai kuat tarik yang tinggi sehingga memenuhi syarat sebagai bahan pengganti baja tulangan pada beton bertulang.

5.1.3 Uji Tekan Silinder Beton

Pada silinder yang kami gunakan menggunakan perencanaan *mix design* dan *mixing beton* dilakukan berdasarkan SNI 2834-1993 dengan mutu f_c 20 MPa. Detail proses pengujian terdapat pada lampiran 5 Gambar 5 s.d Gambar 8. Hasil analisis perhitungan kuat tekan sebagai berikut.

1. Perhitungan kuat desak silinder 1

$$\begin{aligned}
 \text{a. Beban maksimum} &= 420,4 \text{ kN} \\
 &= 420400 \text{ N} \\
 \text{b. Luas penampang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150,64^2 \\
 &= 17824,94 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Kuat desak} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{420400}{17824,94315} \\
 &= 23,59 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan kuat desak silinder 2

$$\begin{aligned}
 \text{a. Beban maksimum} &= 431,2 \text{ kN} \\
 &= 431200 \text{ N} \\
 \text{b. Luas penampang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 148,9^2 \\
 &= 17413,23 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Kuat desak} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{431200}{17413,23} \\
 &= 24,76 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan kuat desak silinder 3

$$\begin{aligned}
 \text{a. Beban maksimum} &= 431,4 \text{ kN} \\
 &= 431400 \text{ N} \\
 \text{b. Luas penampang} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 151,05^2 \\
 &= 17919,725 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Kuat desak} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{431400}{17919,725}
 \end{aligned}$$

$$= 24,07 \text{ MPa}$$

Setelah proporsi *mix design* dan hasil uji desak memenuhi syarat, maka proporsi *mix design* tersebut dapat digunakan. Lalu melakukan mixing pada benda uji balok sebenarnya, serta dalam tiap balok diambil sampel silinder minimal 2 buah. Hasil pengujian utama desak silinder dapat dilihat pada Tabel 5. 2 serta pada lampiran 5 Gambar 30 s.d Gambar 32.

Tabel 5. 2 Hasil Rekapitulasi Pengujian Utama Desak Silinder

No	Kode Balok		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Desak (MPa)	Modulus Elastisitas Teoritis (MPa)	Modulus Elastisitas Pengujian (MPa)
1	SK1	1	149,40	305,80	31,94	26564,18	22385,35
2		2	150,80	304,00	31,91	26551,50	20779,65
3		3	149,80	304,80	39,15	29408,01	24388,72
4	SK2	1	150,30	303,70	24,80	23405,63	19514,60
5		2	149,10	304,50	29,78	25649,38	26773,50
6		3	149,90	304,50	32,02	26593,50	24475,11
7	SK3	1	151,60	303,80	26,32	24110,18	27077,86
8		2	149,90	303,20	27,77	24765,63	24466,18
9		3	151,10	298,20	32,90	26959,66	23220,96
10	SBVI-1	A	149,70	301,70	34,09	27441,43	22685,49
11		B	149,60	304,80	31,57	26409,96	26509,97
12	SBVI-2	A	150,20	298,80	25,40	23685,86	25657,22
13		B	150,50	303,10	25,86	23899,86	23021,65
14		C	151,00	302,40	32,39	26747,92	21170,23
15	SBVI-3	A	150,10	303,10	20,34	21199,40	25497,10
16		B	149,40	302,00	32,52	26800,31	25406,09
17		C	149,70	304,60	32,95	26980,20	28001,66
18	SBVI-4	A	150,30	304,20	34,94	27783,68	26502,86
19		B	149,90	299,60	30,60	25998,49	21089,75
20	SBVII-1	A	152	302,1	18,74	20344,58	30251,09
21		B	150	300,8	30,27	25860,6	21379,13
22	SBVII-2	A	149,8	301,9	30,07	25773,83	25641,95
23		B	150,1	302,2	31,08	26203,15	23602,68
24		C	149,4	302,2	21,68	21882,36	26056,43

Lanjutan Tabel 5. 2 Hasil Rekapitulasi Pengujian Utama Desak Silinder

No	Kode Balok	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Kuat Desak (MPa)	Modulus Elastisitas Teoritis (MPa)	Modulus Elastisitas Pengujian (MPa)	
25	SBVII-3	A	151,3	304	27,25	24536,47	18837,49
26		B	150,6	301,4	35,37	27951,06	22057,11
27		C	150,2	305	33,86	27350,08	17688,3
28	SBVII-4	A	150,2	304,2	31,61	26422,69	21741,7
29		B	151,1	301,8	29,56	25552,09	22678,98
30		C	150,3	304,5	31,56	26405,11	21179,05

Setelah didapatkan hasil pengujian maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kuat desak telah memenuhi dari perencanaan *mix design* yakni 20 MPa

5.1.4 Hammer Test

Hammer test dilakukan untuk mengetahui nilai perkiraan kuat tekan pada permukaan beton. Pengujian dilakukan secara langsung pada balok dengan posisi *hammer* tegak lurus di 20 titik berbeda. Hasil pengujian *hammer* dapat dilihat pada Tabel 5. 3 serta pada lampiran 5 Gambar 30.

Tabel 5. 3 Hasil Rekapitulasi *Hammer Test*

No	Nama Balok	Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa)
1	BK1	37,55
2	BK2	37
3	BK3	38
4	BVI-1	34
5	BVI-2	34
6	BVI-3	30,65
7	BVI-4	39,25
8	BVII-1	36,8
9	BVII-2	35,2
10	BVII-3	40,5
11	BVII-4	37,15

Dalam penelitian ini *hammer test* tidak kami gunakan sebagai acuan kuat tekan. Hal ini dikarenakan nilai prediksi dari *hammer test* jauh lebih tinggi dari nilai kuat tekan tertarget ($f_{cr} = 32$ MPa).

Setelah ini dilakukan pengujian utama lentur balok untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi, tipe keruntuhan, dan besarnya kekakuan pada balok kontrol maupun balok variasi.

5.2. Desain Balok Bertulang CFRP

5.2.1 Desain Tulangan Lentur Balok

Setelah didapatkan kekuatan tarik CFRP selanjutnya dilakukan perhitungan tebal lapis dengan metode menyamakan nilai dari M_n balok antara balok baja tulangan dengan balok menggunakan CFRP. Mutu beton (f_c') yang digunakan merupakan rerata dari 3 desak sampel silinder, mutu f_y baja tulangan digunakan hasil dari tarik pengujian baja. Pada f_y CFRP menggunakan rerata dari sampel tarik CFRP 2 dan 3, untuk mendekati nilai f_y CFRP, nilai f_u dibagi dengan nilai *overstrength factor* yaitu 1,25 sehingga diperoleh nilai kuat tarik f_y (MPa). Berikut merupakan langkah perhitungan tebal lapis tulangan.

Pertama kami menghitung data M_n balok tulangan baja

$$b \text{ (lebar balok)} = 200 \text{ mm}$$

$$h \text{ (tinggi balok)} = 300 \text{ mm}$$

$$L \text{ (panjang balok)} = 2000 \text{ mm}$$

$$f_c' \text{ (mutu beton)} = 24,1406 \text{ MPa}$$

$$f_y = 431,9044 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$d \text{ tul pokok} = 10 \text{ mm}$$

$$d \text{ tul sengkang} = 8 \text{ mm}$$

$$s_b = 40 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 0,002159522$$

$$A_s = \frac{1}{4} \times p \times d_p^2 \times n = 235,619449 \text{ mm}^2$$

$$d_s \text{ (1 lapis)} = S_b + \emptyset \text{Sengkang} + (\emptyset \text{pokok}/2) = 53 \text{ mm}$$

$$d = d_t = h - d_s = 247 \text{ mm}$$

Asumsi tulangan tunggal

$$c = T$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 \cdot f_c' \cdot b) = 24,7972 \text{ mm}$$

$$c = a / \beta_1 = 29,1731 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n = T (d - a/2) &= 23874233,5 \text{ Nmm} \\ &= 23,8742 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Cek syarat AS pakai terhadap AS min dan AS max

$$A_s \text{ pakai} = 235,619449 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 1} &= \frac{\sqrt{f_c' \times b \times d}}{4 \times f_y} \\ &= \frac{\sqrt{24,14 \times 200 \times 247}}{4 \times 431,90} \\ &= 140,492 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 2} &= \frac{1,4 \times b \times d}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 200 \times 247}{431,90} \\ &= 160,130 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dipakai nilai AS min} = 160,130 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ max} &= 0,85 \times \frac{3}{7} \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times b \times d \\ &= 0,85 \times \frac{3}{7} \times 0,85 \times \frac{24,14}{431,90} \times 200 \times 247 \\ &= 854,953 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka didapat $A_s \text{ min} < A_s \text{ pakai} < A_s \text{ max}$ (syarat terpenuhi)

Lalu menghitung M_n balok tulangan CFRP dengan asumsi menggunakan 3 buah tulangan, pada setiap buah memiliki lebar 30mm dan terdapat 8 lapis karbon

$$b \text{ (lebar balok)} = 200 \text{ mm}$$

$$h \text{ (tinggi balok)} = 300 \text{ mm}$$

$$L \text{ (panjang balok)} = 2000 \text{ mm}$$

$$f_c' \text{ (mutu beton)} = 24,1406 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ (CFRP 2 dan 3)} = 491,9887 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
\beta_1 &= 0,85 \\
E &= 200000 \text{ MPa} \\
\text{Lebar} &= 30 \text{ mm} \\
\text{Tebal (8 lapis)} &= 2,4 \text{ mm} \\
s_b &= 40 \text{ mm} \\
\varepsilon_{cu} &= 0,003 \\
\varepsilon_y = f_y / E_s &= 0,002459944 \\
A_s = \text{lebar} \times \text{tebal} \times n &= 216 \text{ mm}^2 \\
d_s \text{ (1 lapis)} = s_b + \emptyset \text{Sengkang} + (\emptyset \text{pokok} / 2) &= 53 \text{ mm} \\
d = d_t = h - d_s &= 247 \text{ mm} \\
\text{Asumsi tulangan tunggal} \\
c = T \\
a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 \cdot f_c \cdot b) &= 25,8948 \text{ mm} \\
c = a / \beta_1 &= 30,4644 \text{ mm} \\
M_n = T (d - a/2) &= 24872668,56 \text{ Nmm} \\
&= 24,8727 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai M_n balok menggunakan tulangan baja dan M_n balok menggunakan tulangan CFRP maka kami membandingkan nilai M_n . Nilai M_n yang dimiliki kedua balok tersebut hampir serupa sehingga konfigurasi tersebut akan digunakan untuk balok bertulang nantinya.

5.2.2 Desain Tulangan Geser

Untuk mendesain tulangan geser digunakan nilai μ yang berasal dari perhitungan tulangan lentur, selanjutnya nilai dicari nilai P dan V_u sehingga dapat digunakan sebagai data desain tulangan geser. Berikut perhitungan desain tulangan geser.

$$\begin{aligned}
\varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{247-29,1731}{29,1731} \times 0,003 \\
&= 0,0224 > 0,005 \text{ (maka faktor reduksi adalah 0,9)} \\
\mu &= \theta M_n \\
&= 0,9 \times 23,8742
\end{aligned}$$

$$= 21,4868 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} P &= Mu / a \\ &= 21,4868 / 0,6 \\ &= 35,8113 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Vu = 35,8113 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Vc &= 0,17 \times \sqrt{f'c} \times bw \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30,73} \times 200 \times \left(300 - \left(40 + 6,95 + \left(\frac{10,75}{2} \right) \right) \right) \\ &= 46681,2384 \text{ N} \\ &= 46,6812 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\theta Vc = 35,0109 \text{ kN}$$

$$3\theta Vc = 105,0328 \text{ kN}$$

Kondisi $\theta Vc < Vu < 3\theta Vc$ (maka tulangan.geser dihitung dan jarak antar sengkang (s) memenuhi syarat $< 600 \text{ mm}$ dan $< d/2$). Serta digunakan sengkang 2 kaki dengan jarak 100 diameter 8 mm (P8-100)

$$\begin{aligned} Vs &= \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} \\ &= 1,0672 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Av &= n \times A 1D \\ &= 2 \times 1/4 \times \pi \times d^2 \\ &= 75,8734 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

> Daerah I

$$\begin{aligned} S \text{ perlu} &= (Av \times fy \times d) / Vs \\ &= 7605,4457 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

> Daerah II

$$\begin{aligned} S \text{ perlu} &= (Av \times fy) / 0,35 bw \\ &= 468,1388137 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

> Daerah III

Secara teoritis tidak perlu tul. geser, tetapi digunakan seperti Daerah II

> Cek Jarak Antar Sengkang (S)

S pakai < 600 mm

100 mm < 600 mm (Oke)

S pakai < d/2

100 mm < 123,8375 mm (Oke)

Maka konfigurasi sengkang P8-100 dapat digunakan.

5.3 Pengujian Lentur Balok

Memasuki pada pengujian lentur balok, proses detail pembuatan, *curing* hingga pengujian lentur balok dapat dilihat pada lampiran 5 Gambar 16 s.d Gambar 26 dan Gambar 35 s.d Gambar 37, hasil pengujian dari masing masing sampel balok sebagai berikut.

5.2.1 Pengujian Balok Kontrol

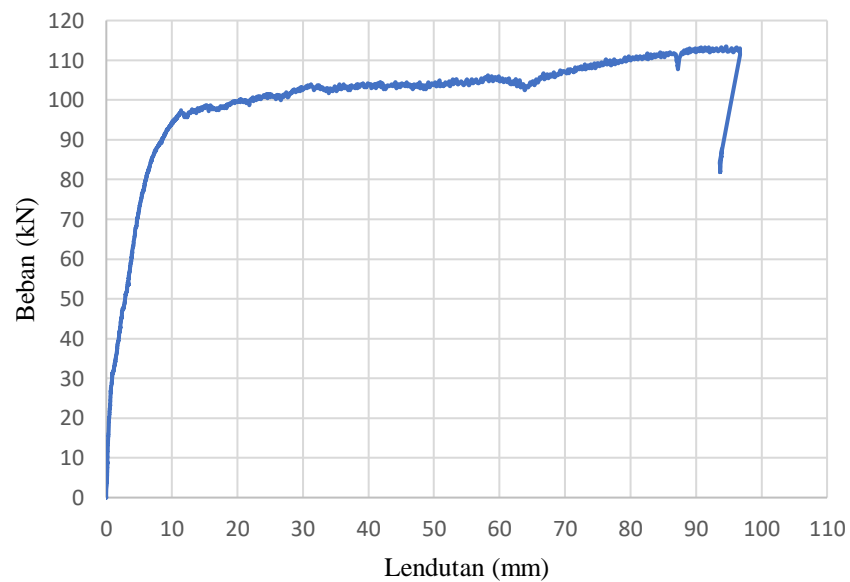
Pada semua pengujian lentur balok kontrol terjadi retak lentur. Retakan dimulai dari bagian bawah lalu secara perlahan seiring bertambahnya beban retakan merambat lurus ke atas. Retakan merambat hingga ke daerah tekan dan semakin melebar disertai dengan munculnya retakan baru di daerah berdekatan dengan ciri yang sama. Pada balok kontrol tidak ditemukan retak geser, retak lekatan, maupun retak pada *joint*. Seluruh balok kontrol mencapai beban *ultimite*, saat beton pada daerah tekan mengalami pecah. Pecahnya beton pada sisi tekan terjadi baik pada salah satu sisi titik beban (Gambar 5. 4 dan Gambar 5. 6) maupun di sepanjang daerah tekan antara dua titik beban (Gambar 5. 8). Lendutan akhir yang terjadi pada balok kontrol saat beban *ultimite* sangat besar, hal ini mengindikasikan baja tulangan telah leleh namun tidak putus. Berikut merupakan hasil pengujian lentur

1. Balok Kontrol 1 (BK 1)

Balok ini memiliki berat 3,01 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000$ mm, hasil pengujian serta grafik BK 1 terdapat pada Gambar 5. 4 dan Gambar 5. 5



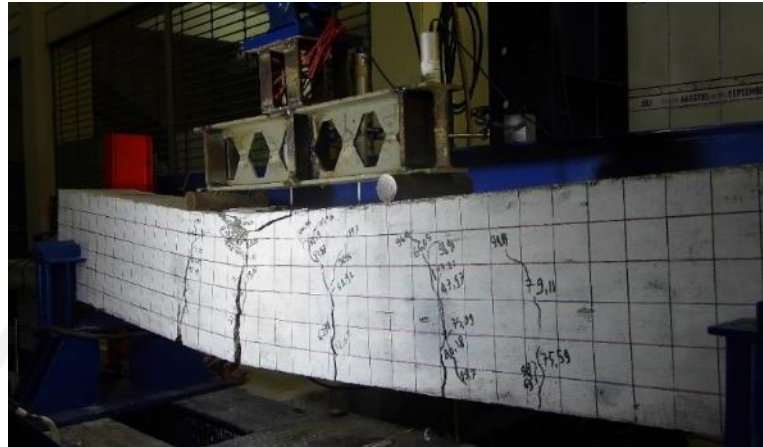
Gambar 5. 4 Benda Uji Balok Kontrol 1



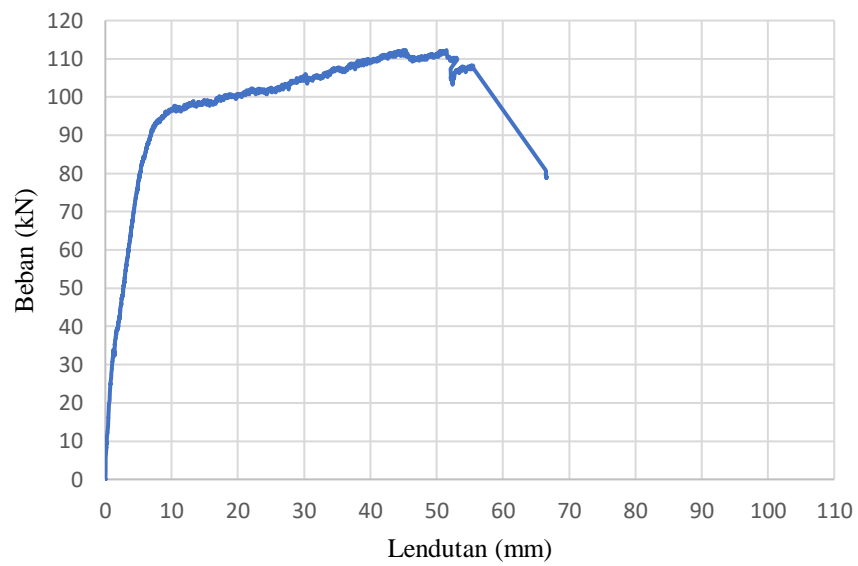
Gambar 5. 5 Beban (kN) - Lendutan (mm) BK 1

2. Balok Kontrol 2 (BK 2)

Balok ini memiliki berat 3,014 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000$ mm, hasil pengujian serta grafik BK 2 terdapat pada Gambar 5. 6 dan Gambar 5. 7



Gambar 5. 6 Benda Uji Balok Kontrol 2

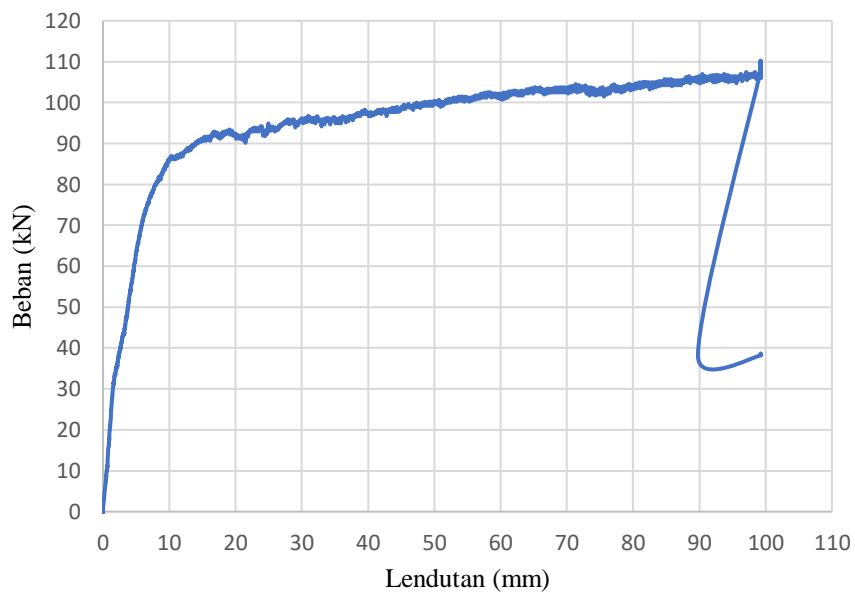


Gambar 5. 7 Beban (kN) - Lendutan (mm) BK 2

- Balok Kontrol 3 (BK 3)
Balok ini memiliki berat 3,01 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000 \text{ mm}$, hasil pengujian serta grafik BK 3 terdapat pada Gambar 5. 8 dan Gambar 5. 9



Gambar 5. 8 Benda Uji Balok Kontrol 3



Gambar 5. 9 Beban (kN) - Lendutan (mm) BK 3

5.2.2 Pengujian Balok Variasi I (BVI)

Pada Balok Variasi 1, pembebanan meningkat hingga terjadi penurunan pertama yang diikuti dengan munculnya retak awal secara tiba-tiba sepanjang sepanjang 15 s.d 20 cm dari sisi bawah ke atas terkadang disertai bunyi ledakan putusnya salah satu tulangan CFRP (Gambar 5. 13). Kemudian setelah terjadi penurunan, beban kembali meningkat hingga terjadi penurunan kedua yang disertai munculnya retak baru sepanjang 15 s.d 20 cm secara tiba-tiba. Hal ini berulang 3 atau 4 kali hingga terjadi beban *ultimite*. Selain retak lentur, juga terdapat retak

horizontal pada beberapa sampel balok variasi dengan tipikal pola keretakanya ditunjukkan pada Gambar 5. 11. Selain retak horizontal, terdapat juga retak geser vertikal pada daerah tumpuan balok (Gambar 5. 11) dan retak geser (Gambar 5.20).

Pada saat *ultimite* tercapai, hanya sampel BV 3 yang tulangan CFRP putus semua (Gambar 5. 21), adapun ketiga sampel lainnya tidak semua tulangan CFRP putus yang secara tipikal ditunjukkan pada (Gambar 5. 13, Gambar 5. 16 dan Gambar 5. 26). Fenomena ini (tidak putusnya tulangan saat beban *ultimite*) mengindikasikan terjadinya slip antara tulangan CFRP dengan beton.

Setelah beban *ultimite* tercapai, balok beton bertulang CFRP mengalami keruntuhan lentur ditandai dengan menurunnya nilai beban secara mendadak dan signifikan. Kondisi beton tekan pada beban *ultimite* tidak mengalami kerusakan.

1. Balok Variasi I - 1 (BVI-1)

Balok ini memiliki berat 3,01 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000$ mm, hasil pengujian serta grafik BVI-1 terdapat pada Gambar 5. 10 s.d Gambar 5. 14.



Gambar 5. 10 Benda Uji Balok Variasi I - 1



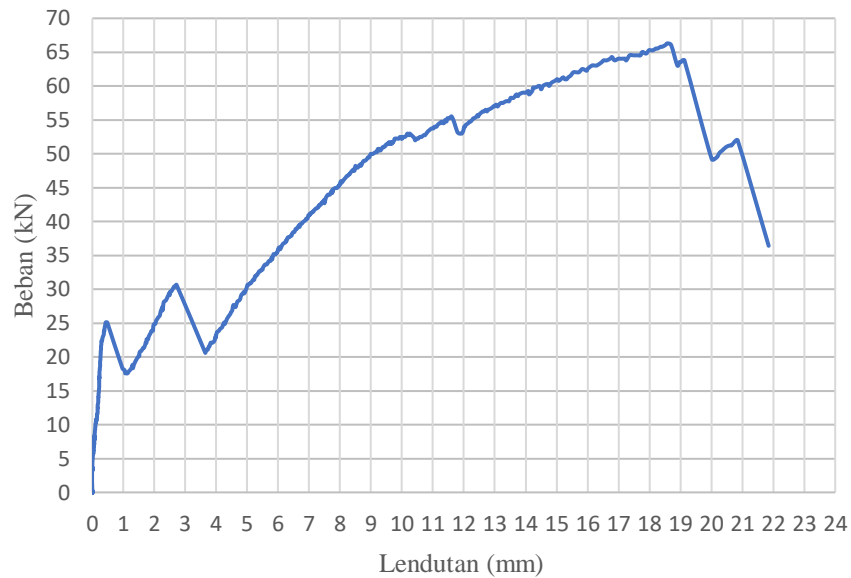
Gambar 5. 11 Pola Retak Balok Variasi I – 1



Gambar 5. 12 Pola Retak Balok Variasi I – 1



Gambar 5. 13 Keruntuhan dan Detail Melintang Balok Variasi I - 1



Gambar 5. 14 Beban (kN) - Lendutan (mm) BV I - 1

2. Balok Variasi I - 2 (BVI-2)

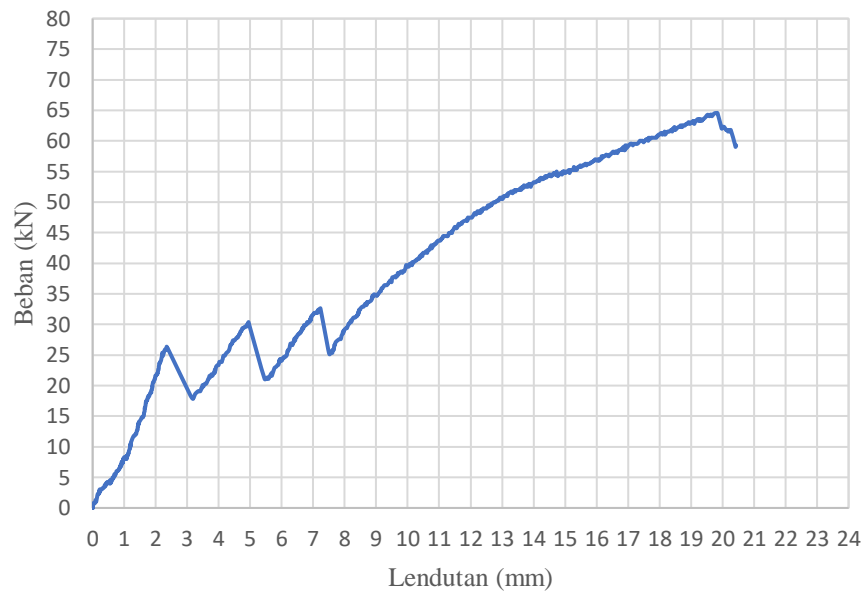
Balok ini memiliki berat 3,01 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000$ mm, hasil pengujian serta grafik BVI-2 terdapat pada Gambar 5. 15 s.d Gambar 5. 17.



Gambar 5. 15 Benda Uji Balok Variasi I - 2



Gambar 5. 16 Detail Keruntuhan Balok Variasi I - 2



Gambar 5. 17 Beban (kN) - Lendutan (mm) BV I - 2

3. Balok Variasi I - 3 (BVI-3)

Balok ini memiliki berat 2,76 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000 \text{ mm}$, hasil pengujian serta grafik BVI-3 terdapat pada Gambar 5. 18 s.d Gambar 5. 22.



Gambar 5. 18 Benda Uji Balok Variasi I - 3



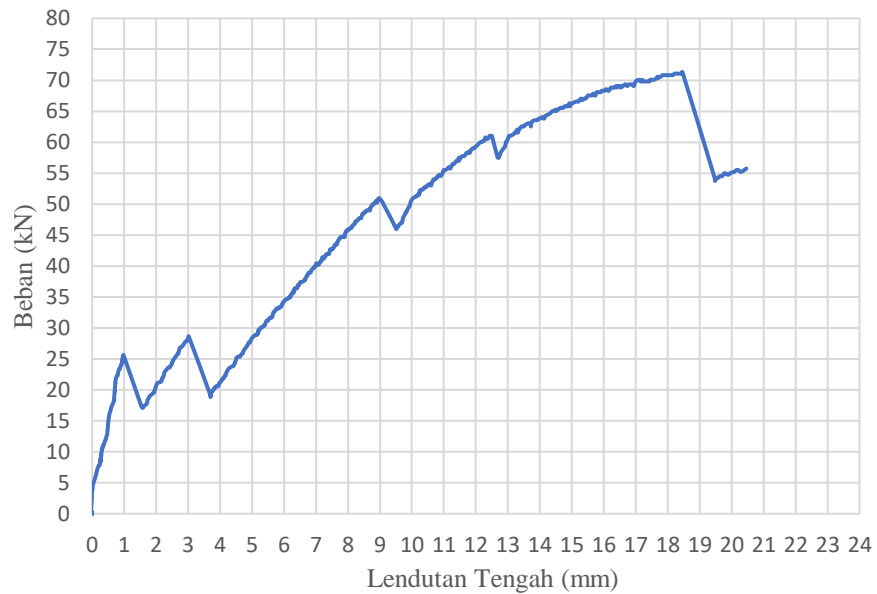
Gambar 5. 19 Pola Retak Lentur Balok Variasi I - 3



Gambar 5. 20 Pola Retak Geser Balok Variasi I – 3



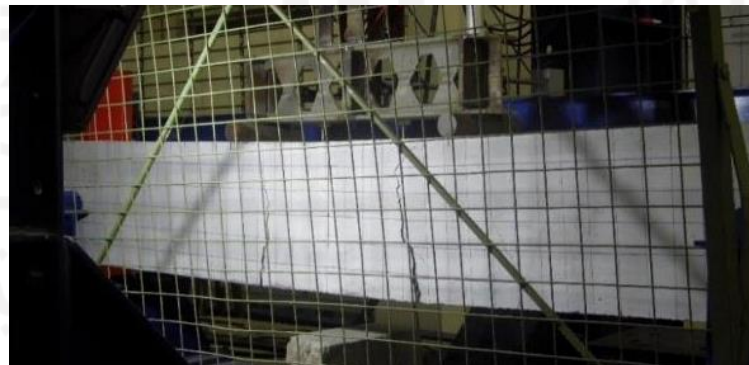
Gambar 5. 21 Detail Keruntuhan Balok Variasi I - 3



Gambar 5. 22 Beban (kN) vs Lendutan (mm) BV I - 3

4. Balok Variasi I - 4 (BVI-4)

Balok ini memiliki berat 3,01 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000$ mm, hasil pengujian serta grafik BVI-4 terdapat pada Gambar 5. 23 s.d Gambar 5. 27.



Gambar 5. 23 Benda Uji Balok Variasi I - 4



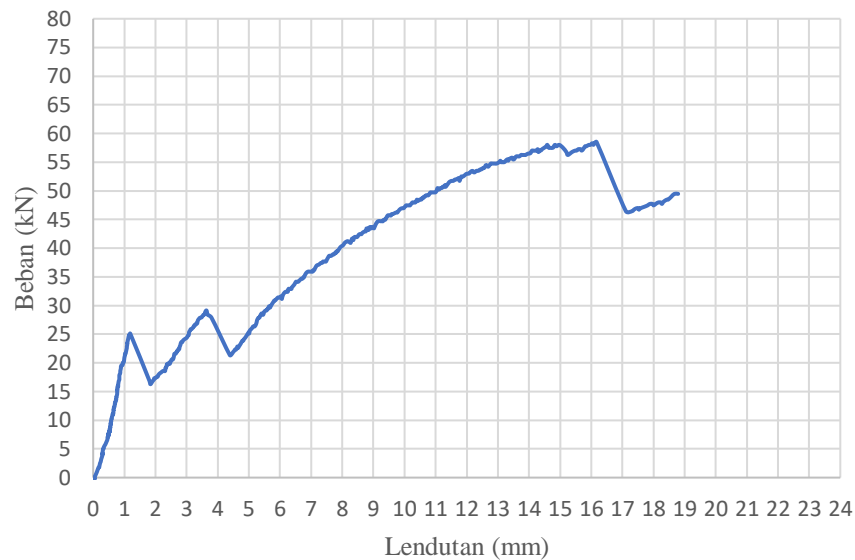
Gambar 5. 24 Keruntuhan Balok Variasi I - 4



Gambar 5. 25 Pola Retak Tumpuan Balok Variasi I – 4



Gambar 5. 26 Detail Keruntuhan Balok Variasi I - 4



Gambar 5. 27 Beban (kN) vs Lendutan (mm) BV I - 4

5.2.3 Pengujian Balok Variasi II (BVII)

Pada balok variasi 2 ini terjadi perilaku yang serupa dengan balok variasi 1, retak lentur terjadi secara tiba tiba dan memanjang dari bawah ke atas, juga terdengar bunyi ledakan CFRP putus dan pembebanan langsung menurun. Hal ini berulang 3 atau 4 kali hingga terjadi beban *ultimite*. Pada balok variasi 2, selain mengalami retak lentur juga mengalami retak geser horizontal yang lebih lebar dari pada balok variasi I (Gambar 5. 29) namun tidak mengalami retak geser pada tumpuan.

Pada saat mengalami keruntuhan, tulangan CFRP secara kasat mata terlihat seperti tidak putus (Gambar 5. 30), akan tetapi setelah lapisan selimut beton di bongkar, terlihat bahwa tulangan CFRP telah putus semua namun pada lokasi yang berbeda-beda (Gambar 5. 31).

1. Balok Variasi II-1 (BVII-1)

Balok ini memiliki berat 3,01 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000 \text{ mm}$, hasil pengujian serta grafik BVII-1 terdapat pada Gambar 5. 28 s.d Gambar 5.



Gambar 5. 28 Benda Uji Balok Variasi II – 1



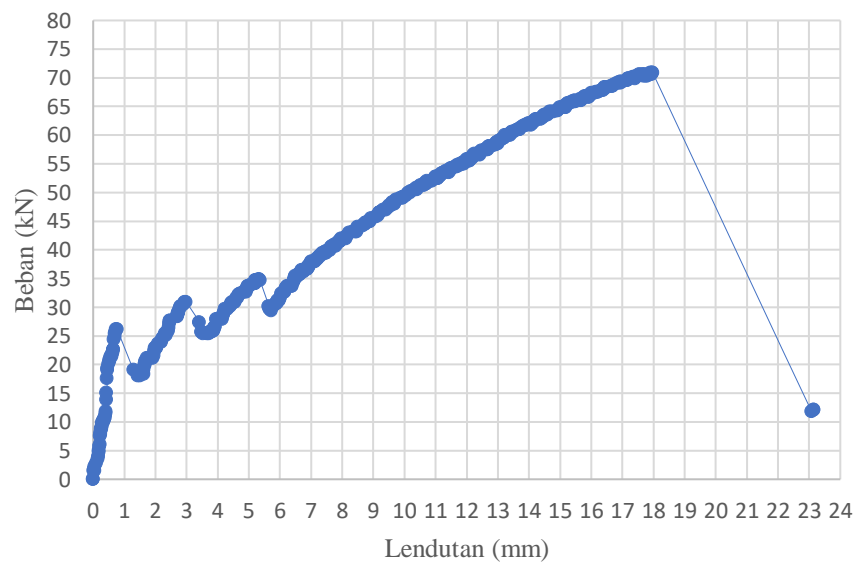
Gambar 5. 29 Pola Retak Balok Variasi II – 1



Gambar 5. 30 Detail Melintang Balok Variasi II – 1



Gambar 5. 31 Kondisi BVII-1 CFRP Setelah Balok Dibongkar



Gambar 5. 32 Beban (kN) - Lendutan (mm) BVII – 1

2. Balok Variasi II-2 (BVII-2)

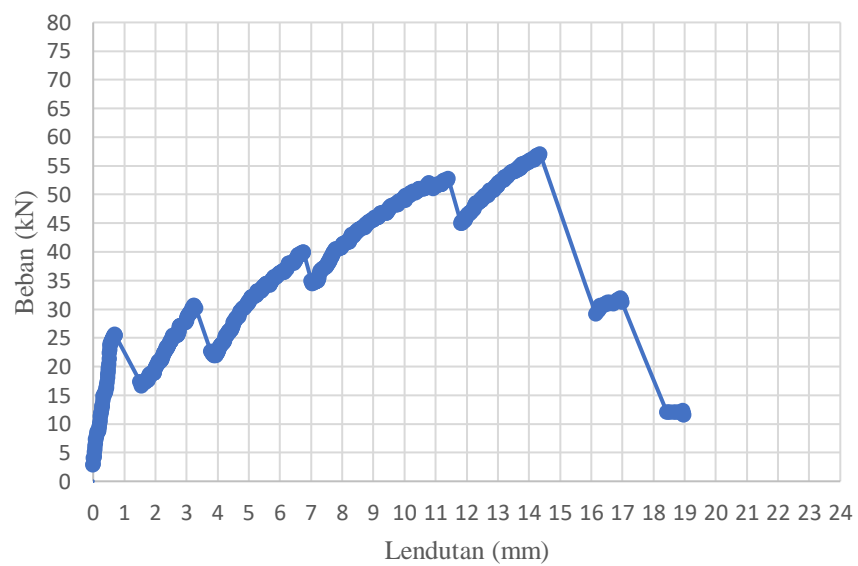
Balok ini memiliki berat 2,76 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000 \text{ mm}$, hasil pengujian serta grafik BVII-2 terdapat pada Gambar 5. 33 s.d Gambar 5. 35.



Gambar 5.33 Benda Uji Balok Variasi II - 2



Gambar 5.34 Detail Pola Retak Balok Variasi II - 2



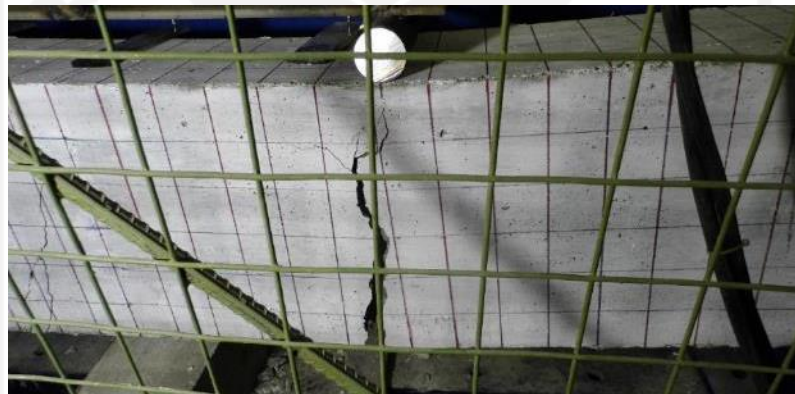
Gambar 5.35 Beban (kN) - Lendutan (mm) BVII - 2

3. Balok Variasi II-3 (BVII-3)

Balok ini memiliki berat 3,01 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000$ mm, hasil pengujian serta grafik BVII-3 terdapat pada Gambar 5. 36 s.d Gambar 5. 39.



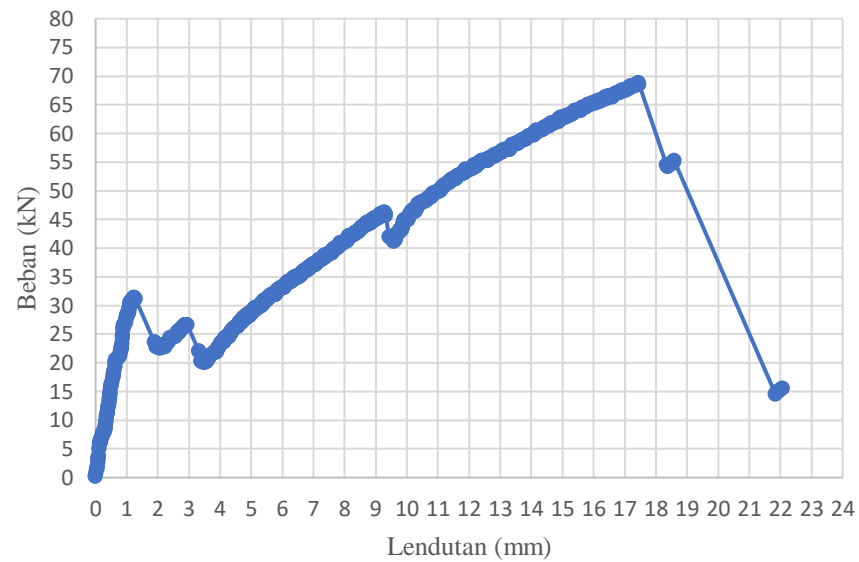
Gambar 5. 36 Benda Uji Balok Variasi II - 3



Gambar 5. 37 Pola Retak Lentur Balok Variasi II - 3



Gambar 5. 38 Kondisi BVII-1 CFRP Setelah Balok Dibongkar



Gambar 5. 39 Beban (kN) vs Lendutan (mm) BV II – 3

4. Balok Variasi II-4 (BVII-4)

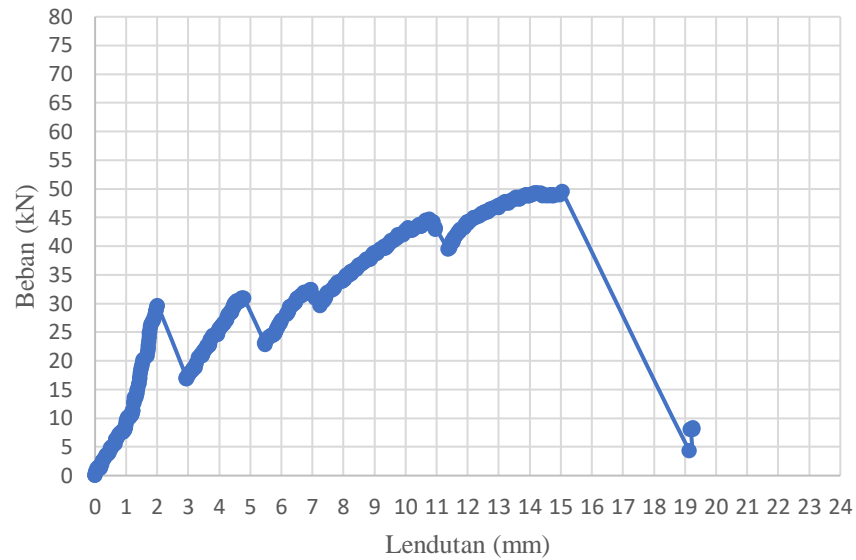
Balok ini memiliki berat 3,01 kN dan berdimensi $200 \times 300 \times 2000 \text{ mm}$, hasil pengujian serta grafik BVII-4 terdapat pada Gambar 5. 40 s.d Gambar 5. 42.



Gambar 5. 40 Benda Uji Balok Variasi II – 4



Gambar 5. 41 Kondisi CFRP Balok Variasi II - 4



Gambar 5. 42 Beban (kN) vs Lendutan (mm) BV I – 4

5.3 Pengaruh CFRP Terhadap Kapasitas Lendutan Maksimum Balok

Hasil kapasitas lendutan maksimum balok bertulang biasa maupun balok tulangan CFRP terdapat pada Tabel 5. 4.

Tabel 5. 4 Hasil Rekapitulasi Kapsitas Lendutan Maksimum Balok

Kode balok	Kapasitas Lendutan Maksimum (mm)	Rerata Kapasitas Lendutan Maksimum (mm)
BK 1	94,62	81,79
BK 2	51,49	
BK 3	99,25	
BVI-1	18,58	18,26
BVI-2	19,84	
BVI-3	18,45	
BVI-4	16,17	
BVII-1	17,91	16,1875
BVII-2	14,36	
BVII-3	17,43	
BVII-4	15,05	

Dari tabel diatas diperoleh hasil bahwa kapasitas lendutan maksimum balok variasi lebih rendah daripada balok kontrol. Menunjukkan bahwa balok memiliki sifat getas sehingga membahayakan apabila diterapkan pada struktur sebenarnya.

5.4 Pengaruh CFRP Terhadap Keruntuhan Balok

Berikut merupakan hasil keruntuhan balok bertulang biasa maupun balok tulangan CFRP

Pada balok kontrol memiliki pola runtuh yang identik dengan pola lentur pada 1 atau 2 titik yang ditandai dengan membesarnya retak lentur pada bagian bawah atau tarik balok yang letaknya berada pada arah beban bekerja namun setelah dibongkar kondisi tulangan ternyata belum putus pada satu atau kedua titik tersebut. Balok tersebut runtuh setelah menerima beban *ultimite*.

Pada balok variasi 1 dan 2 memiliki pola runtuh beraneka macam.

1. BVI-1 ini runtuh dengan pola lentur pada 1 titik dibagian kiri. Ditandai dengan retak lentur yang membesar pada bagian bawah atau tarik balok yang letaknya berada pada arah beban bekerja. Balok tersebut runtuh setelah menerima beban 66,3 kN dan melendut sebesar 18,58 mm dan setelah dibongkar pada bagian kanan ternyata CFRP hanya putus pada bagian tengah, pada bagian smping kanan kiri terlihat masih tersambung, hal ini menandakan ada kemungkinan slip antara CFRP dengan lekatan si beton.
2. BVI-2 ini runtuh dengan pola lentur pada 1 titik dibagian kiri arah beban bekerja. Ditandai dengan retak lentur yang membesar pada bagian bawah atau tarik balok. Balok tersebut runtuh setelah menerima beban 64,54 kN dan melendut sebesar 19,84 mm. Dan setelah dibongkar pada bagian kanan ternyata CFRP putus pada bagian kiri dan kanan, untuk bagian tengah CFRP tetap tersambung.
3. Pembebanan BVI-3 ini naik mencapai 71,07 kN dengan lendutan 18,45 mm balok mengalami retak horizontal disertai suara CFRP putus, lalu pembebanan menurun dan saat mencapai 55, 75 kN balok tersebut runtuh dengan kondisi lentur pada bagian kanan arah beban bekerja juga terlihat bahwa seluruh CFRP telah putus.

4. BVI-4 tersebut runtuh dengan keadaan putus setelah menerima beban sebesar 49,47 kN dengan lendutan sebesar 18,79 mm. seluruh retakan yang terjadi merupakan retak lentur, tidak ditemukan retak geser maupun retak horizontal dan tidak terjadi retak pada *joint*.
5. Pada BVII-1 terjadi retak lekatan dan seluruh CFRP mengalami putus namun tidak berada pada retakan beton. Meski demikian keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur. Balok tersebut runtuh setelah menerima beban 70,82 kN dengan lendutan sebesar 17,91 mm.
6. BVII-2 kondisi CFRP serupa dengan BVII-1 yakni semua putus namun tidak berada pada retakan beton, serta tidak ditemukan retak lekatan, retak geser, retak joint. Hanya terjadi retak lentur, BVII-2 runtuh setelah menerima beban 57,01 kN dengan lendutan sebesar 14,36 mm.
7. BVII-3 mengalami hal yang serupa dengan BVII-2 mulai dari kondisi CFRP, kondisi retak dan pola keruntuhan. BVII-3 runtuh setelah menerima beban 68,81 kN dengan lendutan sebesar 17,43 mm.
8. Pada BVII-4 seluruh CFRP putus bersamaan dan langsung runtuh pada sebelah kanan pembebanan, retakan dan keruntuhan yang terjadi adalah pola lentur. BVII-4 runtuh setelah menerima beban 49,47 kN dengan lendutan sebesar 15,05 mm.

5.5 Pengaruh CFRP Kekakuan Balok dan Kapasitas Lendutan Balok

Nilai kekakuan balok dihitung dengan cara beban dibagi dengan besarnya lendutan ketika balok mengalami retak pertama dan saat *ultimite*. Berikut penjelasan lebih lanjut mengenai analisis kekakuan pada kondisi retak pertama maupun *ultimite*.

1. BK 1 (Balok Kontrol 1)
 - a. Kondisi saat retak pertama

Beban	= 33,65 kN
Lendutan	= 1,31 mm
Kekakuan	= $33,65 / 1,31$
	= 25,69 kN/mm

b. Kondisi saat *ultimite*

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 113,51 \text{ kN} \\ \text{Lendutan} &= 94,62 \text{ mm} \\ \text{Kekakuan} &= 113,51 / 94,62 \\ &= 1,20 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

2. BK 2 (Balok Kontrol 2)

a. Kondisi saat retak pertama

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 33,15 \text{ kN} \\ \text{Lendutan} &= 1,32 \text{ mm} \\ \text{Kekakuan} &= 33,15 / 1,32 \\ &= 25,1 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

b. Kondisi saat *ultimite*

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 112,26 \text{ kN} \\ \text{Lendutan} &= 51,49 \text{ mm} \\ \text{Kekakuan} &= 112,26 / 51,49 \\ &= 2,18 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

Perhitungan pada BK 3 hingga BVII-4 dilakukan dengan analisis perhitungan dengan cara yang sama seperti diatas. Hasil rekapitulasi kekakuan balok terdapat pada Tabel 5. 1 sebagai berikut

Tabel 5. 5 Hasil Rekapitulasi Kekakuan Balok

Kode balok	Pertama Retak				<i>Ultimite</i>			
	Beban (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Rerata kekuan (kN/mm)	Beban (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Rerata kekuan (kN/mm)
BK 1	33,65	1,31	25,69	23,60	113,51	94,62	1,20	1,50
BK 2	33,15	1,32	25,11		112,26	51,49	2,18	
BK 3	30,39	1,52	19,99		110,25	99,25	1,11	
BVI-1	5,78	0,04	144,50	82,63	66,3	18,58	3,57	3,58
BVI-2	4,27	0,47	9,09		64,54	19,84	3,25	
BVI-3	4,77	0,03	159,00		71,07	18,45	3,85	
BVI-4	5,02	0,28	17,93		58,76	16,17	3,63	

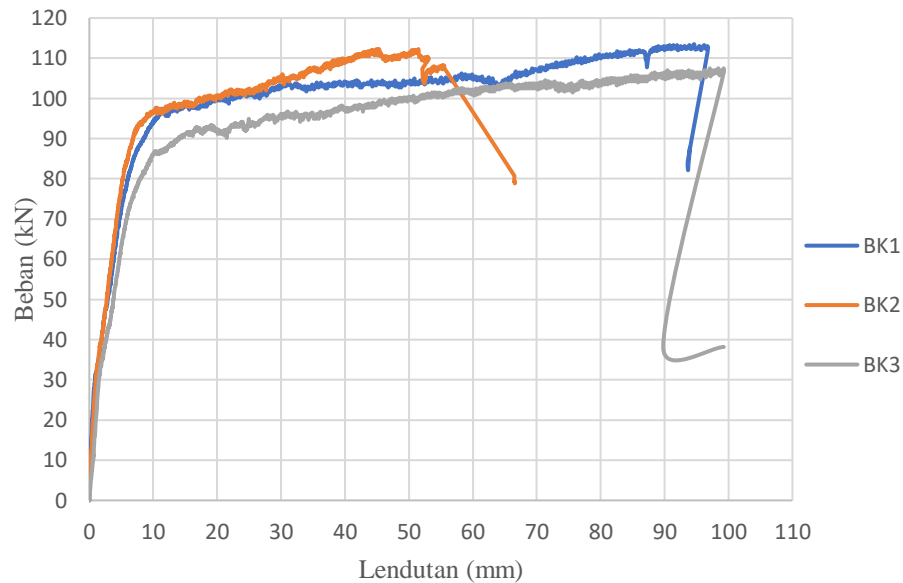
Lanjutan Tabel 5. 5 Hasil Rekapitulasi Kekakuan Balok

Kode balok	Pertama Retak				<i>Ultimite</i>			
	Beban (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Rerata kekuan (kN/mm)	Beban (kN)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Rerata kekuan (kN/mm)
BVII-1	2,26	0,06	37,67	72,41	70,82	17,91	3,95	3,79
BVII-2	4,02	0,02	201,00		57,01	14,36	3,97	
BVII-3	5,02	0,12	41,83		68,81	17,43	3,95	
BVII-4	2,01	0,22	9,14		49,47	15,05	3,29	

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai kekakuan balok tulangan baja memiliki nilai yang identik sama, namun pada balok tulangan CFRP nilai kekakuan yang dimiliki saat retak pertama memiliki nilai yang berbeda beda meskipun nilai kekakuan yang dimiliki saat *ultimite* cenderung sama. Pada saat retak pertama diperoleh hasil bahwa kekakuan balok variasi 1 dan variasi 2 meningkat sebesar 250,13% dan 206,82%, serta saat *ultimite* meningkat 138,67% dan 152,67% dari balok kontrol dan kapasitas lendutan maksimum terjadi pada balok variasi lebih rendah sebesar 77,67% (BVI) dan 80,21% (BVII) dari balok kontrol. Hasil kapasitas lendutan maksimum balok dan kekakuan pada penelitian ini sesuai dengan dengan pendapat Puluhulawa (2011), bahwa dengan balok yang memiliki kekakuan tinggi maka lendutan yang terjadi akan mengecil dan begitu juga sebaliknya.

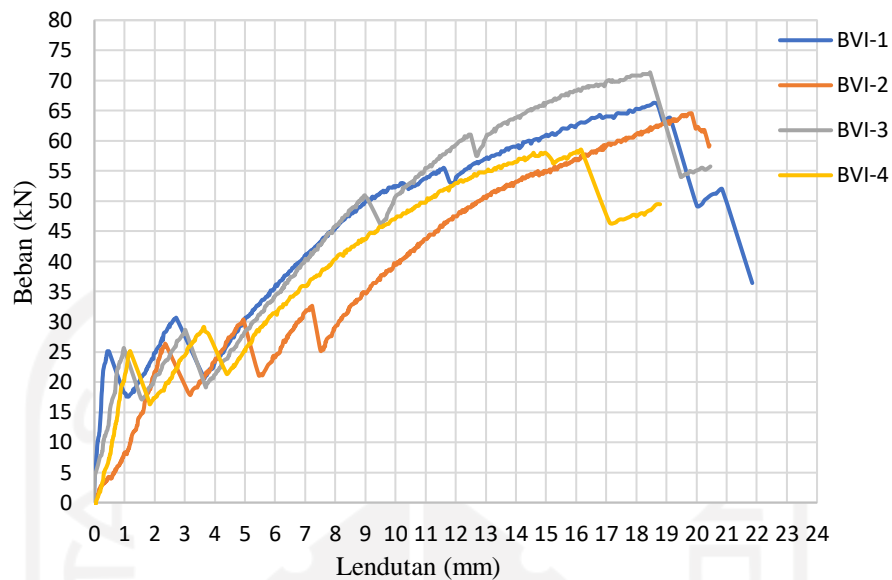
5.6 Pembahasan Secara Keseluruhan

Setelah mendapatkan hasil dan analisis pengujian maka diperoleh pembahasan secara keseluruhan antara perbandingan beton menggunakan tulangan baja dengan balok menggunakan CFRP. Hasil perbandingan balok baja tulangan dengan balok CFRP terdapat pada Gambar 5. 43, Gambar 5. 44 dan Gambar 5. 45.

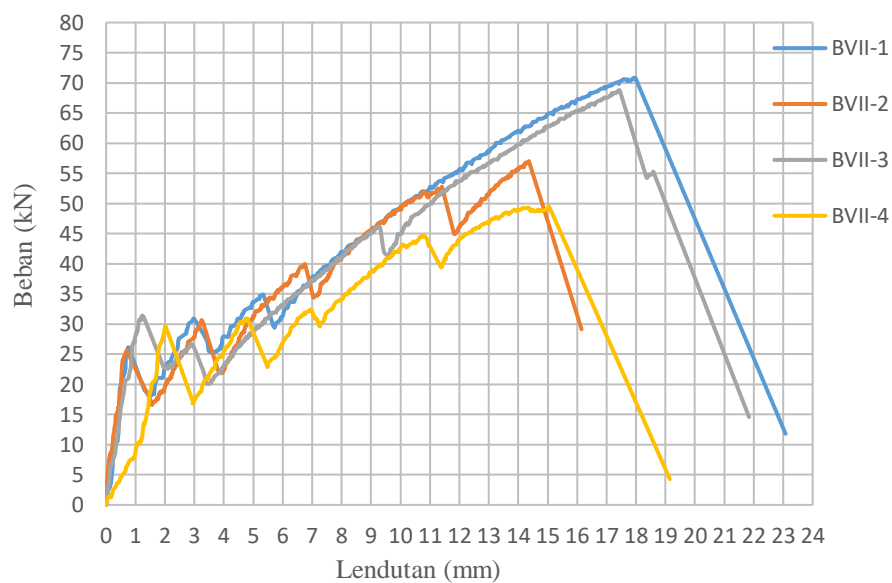


Gambar 5. 43 Beban (kN) vs Lendutan (mm) Balok Kontrol

Berdasarkan Gambar 5. 43, pada pembebanan awal hingga mencapai batas leleh (zona elastis), retakan lentur muncul satu persatu yang dimulai dari daerah tarik menuju daerah tekan. Setelah ini pada kondisi batas leleh hingga *ultimite* (zona plastis), peningkatan pembebanan balok tidak signifikan namun lendutan yang dialami balok terus bertambah (baja telah leleh) menandakan bahwa balok bersifat duktail. Setelah beban mencapai *ultimite* kondisi balok kontrol langsung mengalami keruntuhan berupa lentur yang ditandai dengan hancurnya beton pada daerah tekan dan pembebanan yang diterima menurun secara drastis, hal ini dikarenakan tidak adanya tulangan pada daerah tekan sehingga pada saat beban mencapai *ultimite* balok langsung mengalami keruntuhan secara tiba tiba. Dapat disimpulkan bahwa balok kontrol memiliki kekakuan awal yang sama. Hal ini ditandai dengan kemiringan grafik pada fase linier, saling berhimpit. Gambar ini juga menunjukkan bahwa kondisi balok kontrol adalah *under reinforced* karena terdapat beban leleh (beban tidak mengalami peningkatan secara signifikan, namun lendutan bertambah).



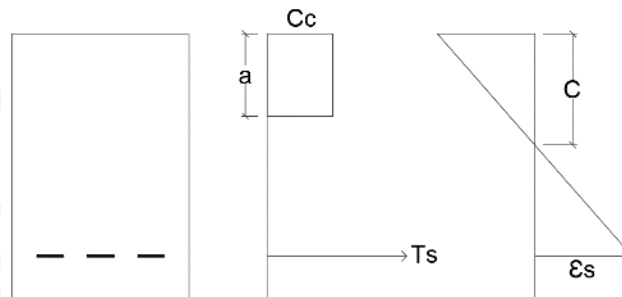
Gambar 5. 44 Beban (kN) vs Lendutan (mm) Balok Variasi I



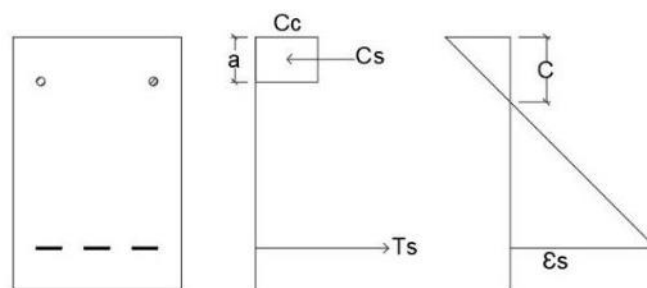
Gambar 5. 45 Beban (kN) vs Lendutan (mm) Balok Variasi II

Fenomena zig zag pada Gambar 5. 44 dan Gambar 5. 45 terjadi karena CFRP yang putus tidak bersamaan dan terjadi slip antara CFRP dengan beton. Lalu pada balok variasi, setelah salah satu tulangan CFRP putus (grafik zig zag di awal), balok mengalami peningkatan beban lentur hingga mencapai puncak. Hal ini diakibatkan oleh tulangan CFRP yang terakhir bertahan mampu mencapai nilai $f_u = 600$ MPa, sedangkan kedua tulangan lainnya tidak. Seperti yang terjadi pada hasil pengujian

tarik CFRP yang memiliki nilai f_u yang tidak konsisten. Setelah mencapai beban puncak, terjadi penurunan beban secara drastis yang diikuti dengan defleksi balok yang tiba tiba bahkan hingga putus.



Gambar 5. 46 Diagram Regangan Tegangan Balok Variasi 1



Gambar 5. 47 Diagram Regangan Tegangan Balok Variasi 2

Pada balok variasi 2 terjadi fenomena zig zag yang lebih banyak, mengindikasikan terjadi slip lebih besar daripada balok variasi 1. Hal ini terkonfirmasi pada foto hasil pengujian balok variasi 2 yang menunjukkan retak geser horizontal yang lebih lebar. Hal tersebut dikarenakan adanya tulangan rangkap pada balok variasi 2 menyebabkan regangan tariknya lebih besar daripada balok variasi 1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. 46 dan Gambar 5. 47.

Berdasarkan grafik perbandingan pada pengujian lentur balok diketahui bila penggunaan CFRP sebagai pengganti baja tulangan tidak menaikkan kekuatan balok, dan membuat beton bertulang tersebut memiliki lendutan sangat kecil, retak lentur yang ditimbulkan sangat tiba tiba yang bersifat langsung menjalar 15-20 cm dan terkadang disertai bunyi putus dari CFRP. Selain itu lekatan yang terjadi antara CFRP dengan beton kurang sempurna, ditandai dengan retak lekatan horizontal

(*debonding failure*) pada beberapa titik, juga diketahui CFRP tidak mampu sebagai kait untuk sengkang sehingga mengakibatkan retak geser. Kekakuan pada balok CFRP memiliki nilai yang berbeda, selain itu pada saat beton mengalami retak dan terdapat bunyi putus dari CFRP pembebanan yang diterima menurun setelah itu meningkat lagi dan ketika terjadi kembali retakan atau terdengar bunyi CFRP putus pembebanan yang diterima menurun kembali dan seterusnya hingga runtuh. Pola keruntuhan pada seluruh balok CFRP mengalami keruntuhan lentur namun kondisi CFRP saat runtuh beraneka macam (ada yang putus semua, ada yang hanya sebagian yang putus).

Kondisi pola retak balok variasi berbeda dengan penelitian terdahulu Norazman Mohamad Nor (2013) dimana pola retak balok CFRP hanya retak lentur yang berada pada bagian tengah bentang. Hal ini dikarenakan bentuk CFRP yang berbeda dan dimensi sampel balok pada penelitian Norazman Mohamad Nor (2013) lebih kecil. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu Djamaluddin, Irmawati, & Didipu (2013) terjadi berupa pola retakan yang sama yakni *de bonding failure* yang ditandai dengan rekatan horizontal. Menurut Nuryani (2005) hal ini karena lekatan CFRP dan beton kurang sempurna yang ditunjukkan dengan peristiwa *transverse failure* (tegangan tarik yang tidak dapat ditahan) dan *splitting failure* (tegangan radial geser yang tidak dapat ditahan).

Saat fenomena CFRP putus, pada penelitian Djamaluddin, Irmawati, & Didipu (2013) dan Norazman Mohamad Nor (2013) terjadi secara bersamaan dengan bentuk CFRP yang berupa pelat. Hal ini berbeda dengan hasil penelitian penulis yang mengalami fenomena putus satu persatu karena CFRP yang memiliki bentuk seperti tulangan. Sehingga penggunaan CFRP dengan model tulangan tidak menguntungkan karena mengakibatkan tulangan CFRP putus satu persatu dan terjadi slip yang ditandai grafik mengalami zig zag.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan diperoleh hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat kami simpulkan bahwa.

1. Penggunaan CFRP menurunkan kapasitas lendutan maksimum sebesar 77,67% untuk balok variasi 1 dan 80,21% untuk balok variasi 2, sehingga lendutan pada balok CFRP jauh lebih kecil daripada balok kontrol.
2. Pada balok CFRP terdapat retak geser menandakan bahwa CFRP tidak mampu sebagai material untuk mengaitkan sengkang, serta retak horizontal yang menandakan bahwa lekatan antara CFRP dengan beton tidak sempurna dan sebagian terjadi retak pada tumpuan. Pada kontrol hanya terjadi retak lentur. Meski demikian, pada semua balok keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur.
3. Kekakuan balok CFRP berbeda beda pada kondisi retak pertama, namun relatif sama pada kondisi *ultimite* . Nilai kekakuan balok CFRP pada kondisi retak pertama meningkat sebesar 250,13% untuk balok variasi 1 dan 206,82% untuk balok variasi 2, serta pada kondisi *ultimite* meningkat sebesar 138,67% untuk balok variasi 1 dan 152,67% untuk balok variasi 2 dari balok kontrol. Sehingga kekakuan pada balok menggunakan CFRP jauh lebih besar daripada balok menggunakan baja tulangan.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, untuk memperoleh hasil penelitian yang lebih baik maka diperlukan beberapa saran. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

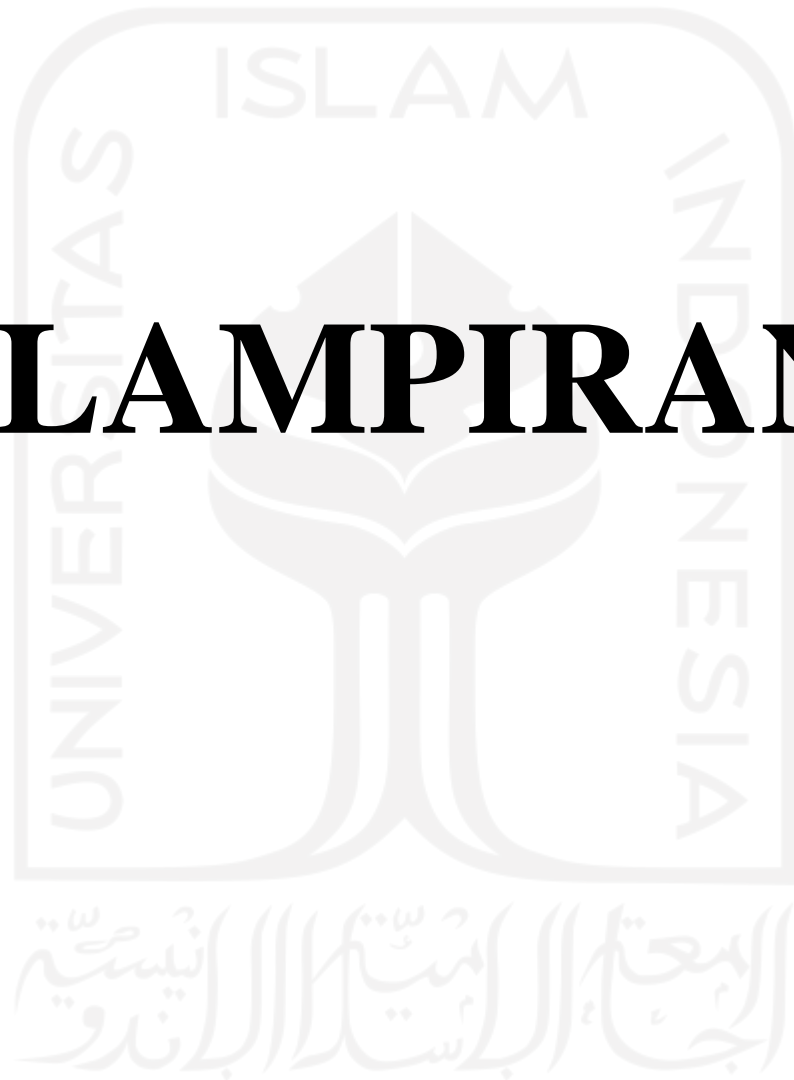
1. Pemasangan tulangan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) yang berbeda sehingga diperoleh nilai inersia yang lebih tinggi dan pengerjaan yang lebih aplikatif.
2. Dalam pembuatan sebaiknya disiapkan cetakan yang lebih memadai dan metode pembuatan CFRP memakai metode *vacuum bagging* agar ketebalan resin dan *carbon fiber* lebih terkontrol.
3. *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) digunakan tidak sebagai pengganti baja tulangan namun sebagai perkuatan pada lentur dengan berbagai variasi bentuk atau model.
4. Balok yang diuji lentur diuji menggunakan tulangan dari serat karbon asli tanpa adanya tambahan resin. Karena belum tentu apabila serat karbon lemah jika diuji tarik bisa jadi ketika dikompositkan dengan balok dapat meningkatkan kekuatannya.
5. Penggunaan serat gelas (*Fiber Glass*) pada bagian lapis terluar CFRP, karena dengan menggunakan serat gelas dapat meningkatkan lekatan antara beton dengan material tulangan tersebut sehingga meminimalisir terjadinya slip.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2002, Desember 1). *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials ASTM D3039 / D3039M*. Dipetik Februari 5, 2021, dari <https://www.astm.org/Standards/D3039>
- BSN. (1991). *Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton SNI 07-2529-1991* (1 ed.). Jakarta: BSN.
- BSN. (1997). *Pengujian Kuat Tekan Elemen Struktur Beton Dengan Alat Palu Beton Tipe N dan NR SNI 03-4430-1997* (1 ed.). Jakarta: BSN.
- BSN. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder SNI 1974:2011* (1 ed.). Jakarta: BSN.
- BSN. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2019*. Jakarta: BSN.
- Djamaluddin, R., Irmawati, R., & Didipu, N. L. (2013). *Pengaruh Lapisan Hybrid Serat Karbon Dan Serat Gelas Pada Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang*. Makasar: Universitas Hasanudin.
- Gibson, R. F. (1994). *Principle Of Composite Material Mechanic*. New York: Mc Graw Hill.
- KADARNINGSIH, R. (2012). PERENCANAAN BALOK BERTULANGAN. 1-16.
- MacCormac, J. (2001). *Desain Beton Bertulang* (1 ed.). Jakarta: Erlangga.
- Made, D. A., Nyoman, D. P., & Eddy, P. (2015). Uji Kuat Tarik Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Sebagai Alternative Pengganti Tulangan Lentur Pada Struktur Beton. *Seminar Nasional "Research Month" 2015* (hal. 18-29). Surabaya : UPN Veteran Jawa Timur.
- Norazman Mohamad Nor, M. H. (2013). Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) as Reinforcement for. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 6-10.

- Nuryani, T. (2005). Pengaruh Rasio Tulangan Pada Berbagai Mutu Beton Terhadap Penguatan Tarik Tulangan Baja Beton Bertulang. *Tesis*.
- Önal, M. M. (2009). Reinforcement Of Beams By Using Carbon Fiber. *Full Length Research Paper*, 1136-1145.
- Petrico, I. (2017). *Perbandingan Kekuatan*. Jakarta: Brawijaya.
- Puluhulawa, I. (2011). *Kapasitas Lentur Perkuatan Pelat Beton Bertulang Menggunakan Kabel Baja dan Mortar*. Yogyakarta: Pascasarjana Universitas Gajah Mada.
- Rizky Fajar Pratama, S. P. (2016). *Analisis Kekakuan Struktur Balok Beton Bertulang Dengan Lubang Hollow Core Pada Tengah Balok*. Malang: Universitas brawijaya.
- Sianipar, M. T. (2009). *Analisa Kolom Beton Bertulang Yang Diperkuat Dengan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- StructX. (2021, Agustus 18). *About Simple Beam - Two Point Loads Equally Spaced*. Retrieved from StructX: http://www.structx.com/Beam_Formulas_009.html
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Methods)*. Bandung: Alfabeta.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Hasil Pengujian Desak Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta

Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI DESAK SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

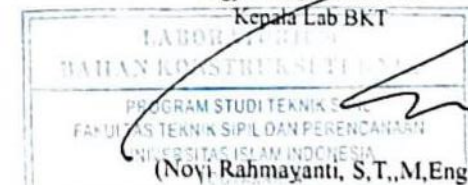
Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226)
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab BKT

Dibuat Tanggal : 17 Nopember 2020
Diuji Tanggal : 18 Desember 2020

No	Kode Silinder	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Beban Maks (kN)
1	Silinder <i>Mix</i> <i>Desain 1</i>	150,65	300,97	420,4
2	Silinder <i>Mix</i> <i>Desain 1</i>	148,9	301,55	431,2
3	Silinder <i>Mix</i> <i>Desain 1</i>	151,05	303,53	431,4

Yogyakarta, 22 Juli 2021

Kepala Lab BKT



(Noyi Rahmayanti, S.T.,M,Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta

Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI DESAK SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

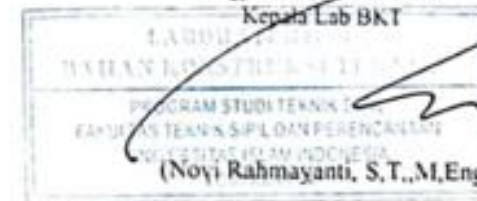
Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226)
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab BKT

Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
Diuji Tanggal : 15 Maret 2021

No	Kode Balok	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Beban Maks (kN)	
1	SK1	1	149,4	305,8	560,00
2		2	150,8	304	570,00
3		3	149,8	304,8	690,00
4	SK2	1	150,3	303,7	440,00
5		2	149,1	304,5	520,00
6		3	149,9	304,5	565,00
7	SK3	1	151,6	303,8	475,00
8		2	149,9	303,2	490,00
9		3	151,1	298,2	590,00

Yogyakarta, 22 Juli 2021

Kepala Lab BKT





DATA UJI DESAK SILINDER BETON
(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

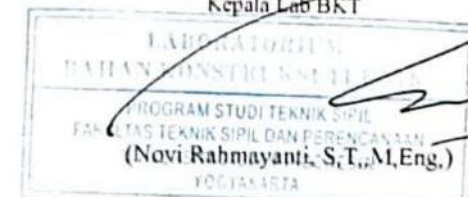
Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226)
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab BKT

Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
Diuji Tanggal : 15 Maret 2021

No	Kode Balok		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Beban Maks (kN)
1	SBV-1	A	149,7	301,7	600,00
2		B	149,6	304,8	555,00
3	SBV-2	A	150,2	298,8	450,00
4		B	150,5	303,1	460,00
5		C	151	302,4	580,00
7	SBV-3	A	150,1	303,1	360,00
8		B	149,4	302	570,00
9		C	149,7	304,6	580,00
10	SBV-4	A	150,3	304,2	620,00
11		B	149,9	299,6	540,00

Yogyakarta, 22 Juli 2021

Kepala Lab BKT





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta

Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI DESAK SILINDER BETON

(BERDASARKAN SNI 1974:2011)

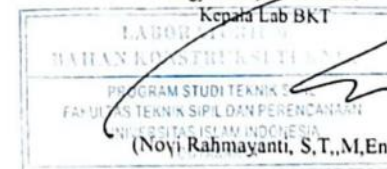
Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226)
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab BKT

Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
Diuji Tanggal : 15 Maret 2021

No	Kode Balok		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Beban Maks (kN)
1	SBVII-1	A	152	302,1	340
2		B	150	300,8	535
3	SBVII-2	A	149,8	301,9	530
4		B	150,1	302,2	550
5		C	149,4	302,2	380
7	SBVII-3	A	151,3	304	490
8		B	150,6	301,4	630
9		C	150,2	305	600
10	SBVII-4	A	150,2	304,2	560
11		B	151,1	301,8	530
12		C	150,3	304,5	560

Yogyakarta, 22 Jan 2021

Kepala Lab BKT



Lampiran 2 Hammer Test Balok Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

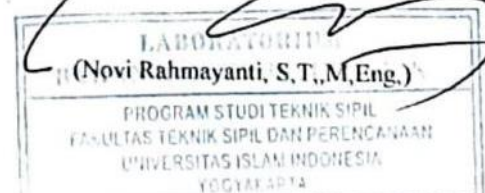
DATA HAMMER TEST BALOK BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Kontrol I	
	'-90°	'-90°
Sudut Pukulan	Nilai Lenting	Nilai Lenting
	Kanan	Kiri
Pukulan ke	(R)	(R)
1	31	38
2	30	34
3	36	32
4	39	38
5	38	32
6	39	40
7	30	35
8	30	34
9	35	35
10	44	41
Jumlah Data	10	10
R maksimum	44	41
R minimum	30	32
R rata-rata	35,2	35,9
Simpangan Baku	4,87	3,18
Koefisien Variasi	13,84	8,85
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	37	38,1

Yogyakarta, 22 Juli 2021
Kepala Lab BKT





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA HAMMER TEST BALOK BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon
 Instansi
 Pekerjaan
 Lokasi

: Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226)
 : Teknik Sipil/FTSP/UII
 : Mahasiswa
 : Lab BKT

Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Diuji Tanggal : 15 Maret 2021

Elemen Struktur	Balok Kontrol 2	
	'-90°	'-90°
Sudut Pukulan	Nilai Lenting Kanan	Nilai Lenting Kiri
	(R)	(R)
1	36	34
2	33	35
3	32	32
4	36	34
5	36	36
6	41	37
7	31	37
8	33	35
9	33	32
10	32	38
Jumlah Data	10	10
R maksimum	41	38
R minimum	31	32
R rata-rata	34,3	35
Simpangan Baku	2,98	2,05
Koefisien Variasi	8,70	5,87
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	36	38

Yogyakarta, 22 Juli 2021
 Kepala Lab BKT

(Novi Rahmayanti, S.T.,M.Eng.)

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kalirejo Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA HAMMER TEST BALOK BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Kontrol 3		
	Sudut Pukulan	'-90°	'-90°
Pukulan ke	Nilai Lenting	Nilai Lenting	
	Kanan	Kiri	
	(R)	(R)	
1	36	35	
2	33	35	
3	32	34	
4	33	31	
5	37	33	
6	32	35	
7	41	38	
8	38	32	
9	39	41	
10	33	35	
Jumlah Data	10	10	
R maksimum	41	41	
R minimum	32	31	
R rata-rata	35,4	34,9	
Simpangan Baku	3,24	2,88	
Koefisien Variasi	9,15	8,27	
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	37,5	38,5	

Yogyakarta, 22 Juli 2021
 Kepala Lab BKT

LABORATORIUM
 BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 (Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)
 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA HAMMER TEST BALOK BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Penyohon : Yusranda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Variasi I	
	'-90°	'-90°
Sudut Pukulan		
Pukulan ke	Nilai Lenting	Nilai Lenting
	Kanan	Kiri
	(R)	(R)
1	29	30
2	34	28
3	30	31
4	32	30
5	34	31
6	35	37
7	34	33
8	34	34
9	38	28
10	34	34
Jumlah Data	10	10
R maksimum	38	37
R minimum	29	28
R rata-rata	33,4	31,6
Simpangan Baku	2,55	2,88
Koefisien Variasi	7,63	9,10
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	32	36

Yogyakarta, 22 Juli 2021

Kepala Lab BKT





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,1 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA HAMMER TEST BALOK BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Variasi 2	
	'-90°	'-90°
Sudut Pukulan	Nilai	Nilai
	Lenting	Lenting
	Kanan	Kiri
Pukulan ke	(R)	(R)
1	35	34
2	33	32
3	34	36
4	31	30
5	32	32
6	31	35
7	30	34
8	30	35
9	35	33
10	34	31
Jumlah Data	10	10
R maksimum	35	36
R minimum	30	30
R rata-rata	32,5	33,2
Simpangan Baku	1,96	1,93
Koefisien Variasi	6,02	5,82
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	33,8	34,2

Yogyakarta, 22 Juli 2021
 Kepala Lab BKT





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA HAMMER TEST BALOK BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Variasi 3	
	'-90°	'-90°
Sudut Pukulan	Nilai Lenting	Nilai Lenting
	Kanan	Kiri
Pukulan ke	(R)	(R)
1	30	28
2	33	30
3	34	28
4	32	30
5	31	32
6	33	28
7	28	30
8	36	29
9	30	31
10	34	30
Jumlah Data	10	10
R maksimum	36	32
R minimum	28	28
R rata-rata	32,1	29,6
Simpangan Baku	2,38	1,35
Koefisien Variasi	7,41	4,56
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	33	28,3

Yogyakarta, 22 Juli 2021
 Kepala Lab BKT





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

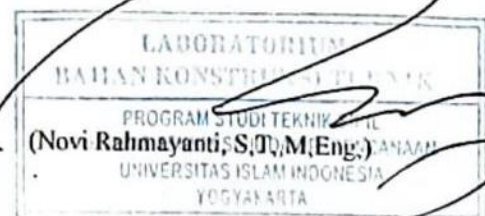
DATA HAMMER TEST BALOK BETON

(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Variasi 4	
	'-90°	'-90°
Sudut Pukulan	Nilai Lenting	Nilai Lenting
	Kanan	Kiri
	(R)	(R)
1	32	37
2	36	40
3	33	35
4	35	35
5	36	35
6	37	35
7	42	32
8	35	29
9	44	36
10	43	35
Jumlah Data	10	10
R maksimum	44	40
R minimum	32	29
R rata-rata	37,3	34,9
Simpangan Baku	4,22	2,88
Koefisien Variasi	11,31	8,27
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	41	37,5

Yogyakarta, 22 Juli 2021
 Kepala Lab BKT





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA HAMMER TEST BALOK BETON

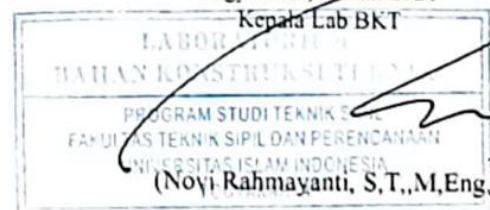
(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Variasi II - 1	
	'-90°	'-90°
Sudut Pukulan	Nilai Lenting	Nilai Lenting
	Kanan	Kiri
Pukulan ke	(R)	(R)
1	31	34
2	32	35
3	30	32
4	34	40
5	32	31
6	35	39
7	34	31
8	30	34
9	35	39
10	40	34
Jumlah Data	10	10
R maksimum	40	40
R minimum	30	31
R rata-rata	33,3	34,9
Simpangan Baku	3,02	3,35
Koefisien Variasi	9,07	9,59
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	35,2	37,6

Yogyakarta, 22 Juli 2021

Kepala Lab BKT





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA HAMMER TEST BALOK BETON

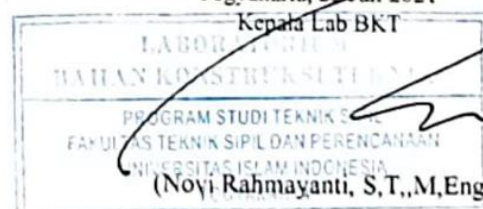
(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Variasi II - 2		
	Sudut Pukulan	'-90°	'-90°
Pukulan ke	Nilai Lenting	Nilai Lenting	Nilai Lenting
	Kanan	Kiri	
	(R)	(R)	
1	34	36	
2	32	35	
3	35	28	
4	36	30	
5	30	32	
6	34	34	
7	32	36	
8	35	35	
9	39	30	
10	42	32	
Jumlah Data	10	10	
R maksimum	42	36	
R minimum	30	28	
R rata-rata	34,9	32,8	
Simpangan Baku	3,51	2,82	
Koefisien Variasi	10,06	8,60	
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	37	33,4	

Yogyakarta, 22 Juli 2021

Kepala Lab BKT





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA HAMMER TEST BALOK BETON

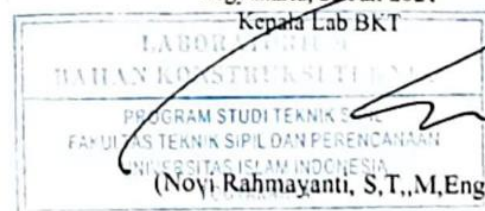
(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Variasi II - 3	
	↳-90°	↳-90°
Sudut Pukulan	Nilai Lenting	Nilai Lenting
	Kanan	Kiri
Pukulan ke	(R)	(R)
1	34	36
2	42	37
3	38	32
4	36	42
5	37	36
6	37	36
7	36	35
8	36	36
9	39	34
10	41	42
Jumlah Data	10	10
R maksimum	42	42
R minimum	34	32
R rata-rata	37,6	36,6
Simpangan Baku	2,46	3,17
Koefisien Variasi	6,54	8,66
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	41,5	39,5

Yogyakarta, 22 Juli 2021

Kepala Lab BKT




LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA HAMMER TEST BALOK BETON

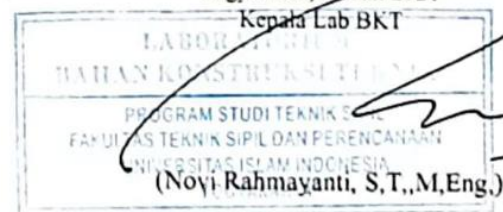
(BERDASARKAN SNI 03-4430-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 15 Maret 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab BKT

Elemen Struktur	Balok Variasi II - 4	
	°-90°	°-90°
Sudut Pukulan	°-90°	°-90°
Pukulan ke	Nilai Lenteng	Nilai Lenteng
	Kanan	Kiri
	(R)	(R)
1	35	35
2	30	39
3	31	33
4	34	33
5	34	36
6	37	36
7	34	36
8	36	33
9	35	37
10	40	40
Jumlah Data	10	10
R maksimum	40	40
R minimum	30	33
R rata-rata	34,6	35,8
Simpangan Baku	2,84	2,44
Koefisien Variasi	8,20	6,82
Perkiraan Kuat Tekan Beton terkoreksi (Mpa)	36,2	38,1

Yogyakarta, 22 Juli 2021

Kepala Lab BKT



Lampiran 3 Hasil Pengujian Lentur Balok



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta

Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226)
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Dibuat Tanggal : 16 Januari 2020
 Diuji Tanggal : 24 Februari 2021

Keterangan	satuan	BK 1	BK 2	BK 3	BVI-1	BVI-2	BVI-3	BVI-4	BVII-1	BVII-2	BVII-3	BVII-4
Lebar Benda Uji	mm	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Tinggi Benda Uji	mm	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Panjang Benda Uji	mm	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Berat benda uji	kN	3,01	3,014	3,01	3,01	3,01	2,76	3,01	-	2,76	3,01	3,01
Jarak beban P1 ke tumpuan	mm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Jarak beban P2 ke tumpuan	mm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Beban Retak Pertama	kN	33,65	33,15	30,39	5,78	4,27	4,77	5,02	2,26	4,02	5,02	2,01
Lendutan Saat Beban Retak Pertama	mm	1,31	1,32	1,52	0,04	0,47	0,03	0,28	0,06	0,02	0,12	0,22
Beban Maksimum	kN	113,51	112,26	110,25	66,3	64,54	71,32	58,51	70,82	57,01	68,81	49,47
Lendutan Saat Beban Maks	mm	94,62	51,49	99,25	18,58	19,84	18,46	16,17	17,91	14,36	17,43	15,05

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur



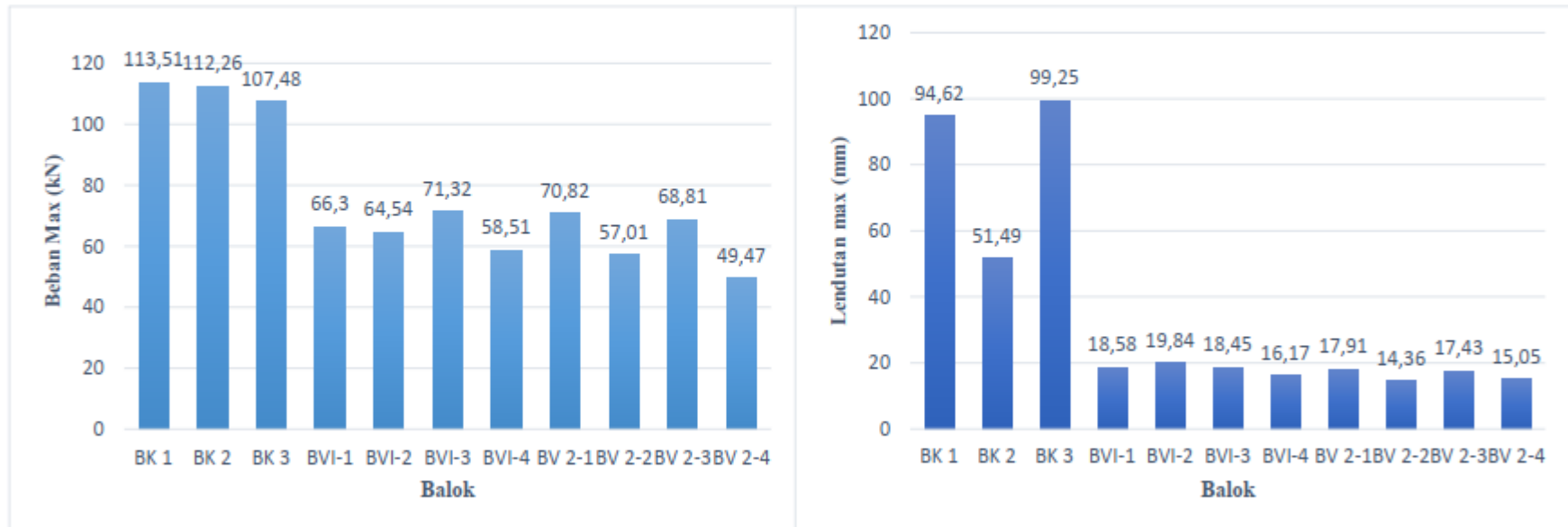


DIAGRAM UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226)
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab Struktur

Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
Diuji Tanggal : 24 Februari 2021



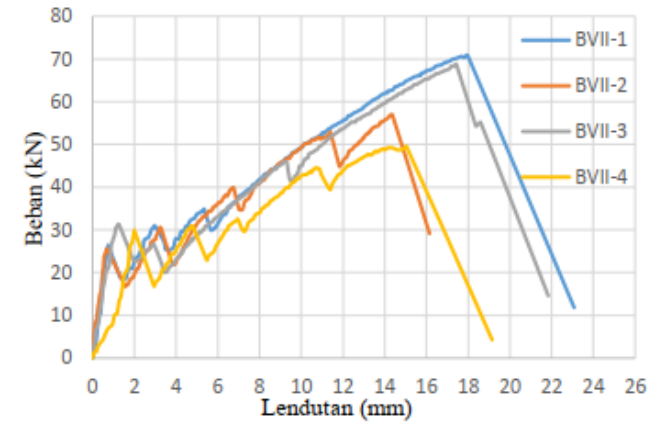
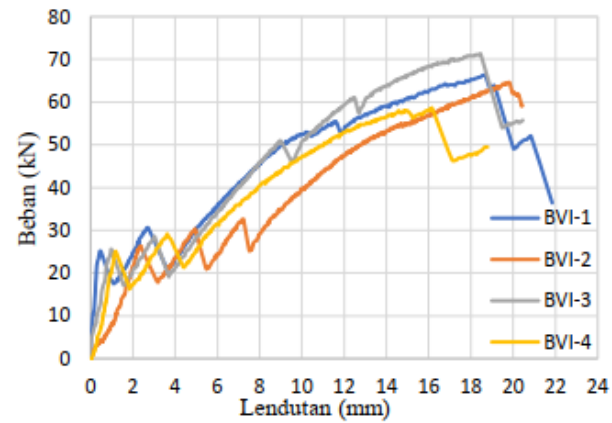
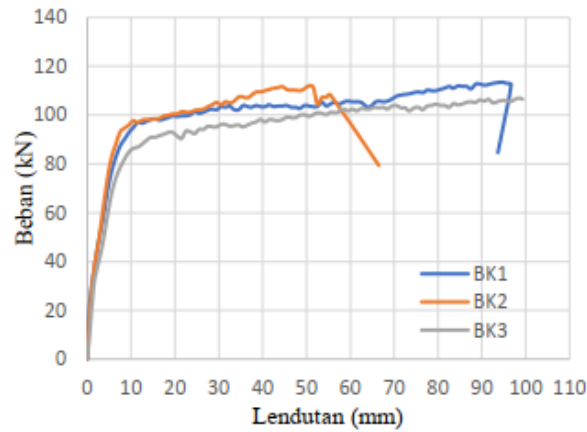
Yogyakarta, 19 Juli 2021
Kepala Lab Struktur
LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



GRAFIK UJI LENTUR BALOK
(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226)
Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII
Pekerjaan : Mahasiswa
Lokasi : Lab Struktur

Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
Diuji Tanggal : 24 Februari 2021



Yogyakarta, 19 Juli 2021
Kepala Lab Struktur
**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**
JJURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Kontrol 1				Balok Kontrol 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0	-0.01	-0.01	0	101.46	22.18	24.56	23.49
21.6	0.51	0.5	0.48	100.7	22.92	25.49	24.31
35.91	1.5	1.5	1.43	101.21	23.75	26.43	25.24
47.46	2.46	2.51	2.45	101.96	24.68	27.47	26.23
56.5	3.3	3.5	3.39	102.46	25.49	28.42	27.09
67.81	4.27	4.5	4.36	102.21	26.51	29.58	28.23
76.59	5.19	5.5	5.33	103.47	27.31	30.47	29.07
82.62	6.05	6.49	6.33	103.21	28.33	31.58	30.1
87.39	6.99	7.5	7.37	103.72	29.24	32.48	31.03
90.16	7.95	8.52	8.41	102.21	30.29	33.53	31.97
92.92	8.82	9.52	9.39	102.21	31.42	34.55	32.92
94.93	9.8	10.52	10.41	103.97	32.47	35.58	33.94
96.94	10.67	11.52	11.44	103.47	33.56	36.61	34.93
96.69	11.42	12.51	12.46	103.21	34.58	37.5	35.68
97.44	12.28	13.54	13.48	103.97	35.73	38.47	36.52
98.19	13.04	14.51	14.46	103.47	36.79	39.47	37.49
98.44	13.88	15.45	15.39	103.47	37.97	40.57	38.53
97.94	14.77	16.52	16.26	104.22	38.97	41.45	39.39
98.44	15.7	17.51	17.04	103.47	40.04	42.51	40.44
98.95	16.56	18.44	17.81	103.72	41.07	43.41	41.23
99.7	17.56	19.53	18.76	103.72	42.3	44.51	42.22
99.45	18.44	20.46	19.58	103.97	43.44	45.51	43.02
99.7	19.42	21.51	20.59	103.21	44.53	46.47	43.94
99.7	20.27	22.45	21.52	103.21	45.68	47.57	44.98
100.2	21.26	23.58	22.56	102.71	46.6	48.44	45.82

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Kontrol 1				Balok Kontrol 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
103.97	47.8	49.57	46.82	109.24	67.1	74.51	66.88
103.72	48.81	50.58	47.72	109.49	68.09	75.59	69.64
103.47	49.74	51.49	48.47	109.24	69.01	76.66	71.65
103.47	50.72	52.43	49.26	110.25	69.86	77.52	72.81
105.22	51.63	53.46	50.13	109.99	70.79	78.48	74.13
103.72	52.62	54.55	51.17	109.99	71.71	79.5	75.36
104.72	53.55	55.62	52.16	110.5	72.54	80.42	76.4
105.22	54.21	56.46	52.91	111	73.5	81.43	77.46
104.47	54.63	57.4	53.76	111.75	74.51	82.58	78.39
105.47	54.97	58.64	54.96	111	75.33	83.46	79.12
105.73	55.29	59.41	55.68	112	76.31	84.55	80
105.47	55.56	60.45	56.68	111.75	77.28	85.59	80.79
105.47	56.11	61.45	57.68	111.75	78.17	86.56	81.64
105.22	56.88	62.52	58.81	110.75	78.97	87.52	82.22
103.72	57.56	63.48	59.91	112.76	80.01	88.63	83.04
103.21	58.26	64.41	60.9	112.76	80.9	89.48	83.67
105.22	59.23	65.6	61.6	112.26	81.83	90.53	84.44
105.73	59.95	66.48	62.03	112.51	82.71	91.46	85.09
105.47	60.75	67.46	61.59	113.01	83.49	92.53	85.84
105.73	61.55	68.43	61.67	113.51	84.52	94.62	87.47
106.48	62.38	69.37	62.18	113.01	85.06	95.46	88.11
107.73	63.43	70.49	63.19	112.26	85.76	96.66	89
108.24	64.42	71.56	64.17	84.63	68.25	93.65	91.53
108.49	65.28	72.47	64.88				
108.74	66.22	73.51	65.85				

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Mariadi Yulfianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Kontrol 2				Balok Kontrol 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0	0.04	0	0	101.96	20.76	24.54	24.5
17.83	0.57	0.5	0.5	102.21	21.59	25.55	25.5
36.41	1.44	1.5	1.45	102.46	22.35	26.53	26.45
47.46	2.34	2.5	2.46	103.47	23.3	27.51	27.41
60.27	3.3	3.51	3.43	104.22	24.17	28.51	28.33
72.83	4.24	4.5	4.37	105.22	25.03	29.45	29.16
82.62	5.15	5.51	5.42	104.22	25.99	30.54	30.19
87.9	6.01	6.49	6.47	105.47	26.81	31.51	31.16
93.17	6.84	7.5	7.59	104.97	27.65	32.52	32.18
94.68	7.71	8.53	8.75	105.73	28.54	33.51	33.17
95.93	8.52	9.51	9.91	107.48	29.47	34.53	34.15
97.69	9.31	10.47	10.87	107.48	30.34	35.49	35.05
96.94	10.13	11.47	11.81	106.98	31.18	36.49	36.09
97.94	10.93	12.48	12.7	108.24	32.05	37.51	37.09
98.19	11.75	13.52	13.7	109.49	32.88	38.49	38.1
98.19	12.57	14.51	14.67	109.49	33.7	39.48	39.11
98.44	13.35	15.5	15.65	109.99	34.57	40.5	40.13
98.69	14.2	16.5	16.65	110.5	35.35	41.47	41.11
99.7	14.98	17.5	17.68	111	36.24	42.52	42.14
99.95	15.82	18.5	18.69	111.25	37.07	43.51	43.12
100.45	16.66	19.5	19.68	111.75	37.86	44.5	44.15
100.45	17.47	20.48	20.65	110.5	38.65	45.49	45.14
101.46	18.29	21.51	21.72	110.25	39.41	46.49	46.33
101.21	19.09	22.5	22.54	110.25	40.17	47.49	47.38
101.21	19.89	23.51	23.53	109.99	40.89	48.49	48.42

Yogyakarta, 19 Juli 2021

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

Kepala Lab Struktur

 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Kontrol 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
110.75	41.67	49.5	49.49
112	42.47	50.51	50.52
111.5	43.2	51.52	51.55
104.47	44.27	52.5	55.32
107.23	45.12	53.51	56.55
107.23	46.03	54.49	57.66
108.24	47.07	55.47	58.91
79.36	46.75	66.51	60.35

 Yogyakarta, 19 Juli 2021
 Kepala Lab Struktur


(Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSANTEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Kontrol 3				Balok Kontrol 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0	0	0	0	92.42	23.74	24.5	22.36
9.29	0.45	0.5	0.55	94.17	24.82	25.53	23.17
30.14	1.46	1.49	1.54	94.17	25.96	26.53	23.93
39.18	2.43	2.5	2.6	95.43	26.95	27.48	24.71
46.96	3.38	3.5	3.58	95.18	28	28.52	25.55
57.76	4.31	4.51	4.56	95.18	29.07	29.52	26.31
67.55	5.26	5.5	5.53	96.18	30.04	30.47	27.12
74.08	6.27	6.51	6.51	96.18	31.07	31.5	27.93
78.6	7.27	7.51	7.48	95.43	32.13	32.49	28.71
81.87	8.24	8.47	8.4	95.68	33.23	33.5	29.48
84.88	9.28	9.51	9.41	95.93	34.27	34.51	30.27
86.39	10.21	10.5	10.28	95.18	35.34	35.48	30.98
86.89	11.15	11.52	11.27	95.93	36.53	36.54	31.79
88.15	11.98	12.52	12.23	96.69	37.66	37.52	32.56
89.65	12.94	13.51	13.11	97.19	38.75	38.49	33.3
90.91	13.92	14.51	14.03	98.19	39.71	39.48	34.14
90.91	14.86	15.51	14.98	97.19	40.81	40.51	34.95
91.66	15.94	16.51	15.83	98.19	41.81	41.54	35.87
92.16	16.96	17.51	16.72	97.94	42.81	42.53	36.69
92.92	17.97	18.48	17.51	97.69	43.84	43.49	37.44
92.92	18.99	19.49	18.31	98.19	44.91	44.51	38.21
91.41	19.95	20.49	19.07	99.2	46.03	45.54	39.04
90.41	20.91	21.5	19.88	98.95	46.93	46.47	39.81
93.42	21.81	22.48	20.72	98.95	47.99	47.51	40.71
93.17	22.74	23.5	21.53	99.95	49.07	48.49	41.5

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur



(Haris Yudianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Kontrol 3				Balok Kontrol 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
100.2	50.13	49.46	42.3	102.96	74.18	74.51	66.54
99.45	51.11	50.48	43.19	103.21	75.02	75.53	67.69
100.2	52.02	51.51	44.25	102.21	75.77	76.48	68.82
100.95	52.96	52.54	45.23	103.72	76.69	77.53	69.94
100.7	53.85	53.46	46.14	103.97	77.59	78.57	71.1
100.2	54.82	54.52	47.17	104.47	78.44	79.5	72.06
101.21	55.78	55.54	48.15	103.97	79.42	80.54	73.09
100.95	56.71	56.47	48.94	103.97	80.41	81.54	73.98
101.46	57.74	57.51	49.94	103.21	81.38	82.51	74.86
102.46	58.68	58.48	50.82	104.72	82.43	83.54	75.78
101.71	59.71	59.49	51.66	104.22	83.32	84.41	76.5
102.46	60.63	60.46	52.66	104.47	84.4	85.42	77.35
101.71	61.52	61.45	53.68	105.22	85.52	86.5	78.32
102.71	62.46	62.45	54.59	105.47	86.46	87.45	79.15
102.46	63.45	63.46	55.59	105.22	87.22	88.57	80.15
102.46	64.46	64.51	56.59	106.23	87.22	89.55	81.05
103.21	65.37	65.44	57.46	105.73	87.22	90.57	81.92
102.96	66.43	66.51	58.47	106.48	87.23	91.51	82.74
103.21	67.52	67.51	59.34	104.97	87.22	92.52	83.67
102.46	68.53	68.43	60.08	105.47	87.22	93.48	84.55
103.72	69.67	69.5	61.09	105.98	87.23	94.49	85.52
103.97	70.62	70.51	62.08	105.98	87.22	95.53	86.5
102.96	71.58	71.53	63.11	105.47	87.23	96.48	87.39
102.96	72.45	72.49	64.13	106.48	87.22	97.55	88.39
101.71	73.25	73.42	65.26	106.98	87.22	98.51	89.11

Yogyakarta, 16 Januari 2021

 LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA

 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Haradi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 1				Balok Variasi 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0	0	0	0	29.88	2.13	2.58	2.98
11.05	0.18	0.15	0.08	30.39	2.15	2.64	3.01
18.58	0.29	0.25	0.27	30.39	2.17	2.68	3.02
23.1	0.44	0.35	0.33	30.64	2.19	2.72	3.04
25.11	0.49	0.45	0.41	20.59	3.35	3.65	3.71
25.11	0.5	0.47	0.42	21.09	3.44	3.73	3.78
25.11	0.51	0.48	0.53	22.1	3.59	3.82	3.83
24.86	0.53	0.5	0.55	22.35	3.67	3.94	3.89
18.33	0.87	0.97	1.06	23.61	3.78	4.02	4
18.08	0.92	1.04	1.15	24.11	3.92	4.12	4.08
17.58	0.97	1.14	1.3	24.61	3.98	4.21	4.14
18.33	1.08	1.26	1.41	25.62	4.13	4.35	4.24
18.83	1.14	1.34	1.54	26.12	4.19	4.42	4.26
19.84	1.2	1.45	1.6	26.87	4.28	4.52	4.42
20.84	1.31	1.55	1.77	27.62	4.44	4.61	4.48
21.35	1.39	1.66	1.83	28.38	4.52	4.75	4.53
22.1	1.48	1.75	1.99	29.13	4.64	4.81	4.6
23.36	1.54	1.86	2.09	29.38	4.72	4.91	4.67
23.86	1.59	1.95	2.22	30.64	4.92	5.01	4.76
25.11	1.7	2.05	2.31	30.89	4.99	5.12	4.85
25.87	1.73	2.13	2.5	31.39	5.08	5.21	4.94
27.12	1.85	2.24	2.56	32.14	5.22	5.31	4.99
28.38	1.95	2.38	2.71	32.65	5.31	5.43	5.09
29.13	1.98	2.46	2.74	32.9	5.43	5.5	5.23
29.63	2.12	2.54	2.96	33.65	5.55	5.63	5.31

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA
 (Hariadi Yuhanto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 1				Balok Variasi 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
34.15	5.67	5.74	5.42	46.96	8.29	8.31	7.91
34.66	5.75	5.8	5.52	47.71	8.4	8.44	7.97
35.16	5.86	5.91	5.57	48.22	8.46	8.5	8.07
35.91	5.97	6	5.72	48.22	8.59	8.61	8.22
36.66	6.13	6.15	5.8	48.72	8.72	8.73	8.27
36.92	6.18	6.24	5.91	48.97	8.76	8.81	8.34
37.67	6.32	6.32	6.03	49.47	8.88	8.9	8.44
37.92	6.41	6.42	6.08	49.97	9.03	9.06	8.63
38.42	6.5	6.52	6.21	50.23	9.08	9.14	8.67
38.93	6.61	6.61	6.28	50.48	9.15	9.2	8.73
39.43	6.69	6.71	6.36	50.48	9.25	9.31	8.9
39.93	6.81	6.81	6.49	50.98	9.38	9.43	8.99
40.43	6.88	6.91	6.52	51.48	9.46	9.52	9.04
40.93	6.98	7	6.7	51.48	9.53	9.6	9.14
41.44	7.1	7.11	6.75	51.73	9.65	9.71	9.24
41.94	7.22	7.23	6.81	52.24	9.76	9.85	9.41
42.19	7.28	7.32	6.94	52.24	9.8	9.91	9.45
42.69	7.44	7.42	7.04	52.49	9.92	10.01	9.52
42.69	7.49	7.5	7.13	52.49	9.99	10.1	9.68
43.95	7.61	7.61	7.23	52.74	10.14	10.23	9.78
44.2	7.7	7.7	7.28	52.74	10.21	10.31	9.88
44.95	7.8	7.84	7.47	52.24	10.24	10.41	9.96
44.95	7.89	7.91	7.5	52.24	10.35	10.5	10.1
45.45	7.97	8	7.56	52.49	10.45	10.64	10.24
46.21	8.11	8.13	7.74	52.74	10.51	10.74	10.32

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Huriadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 1				Balok Variasi 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
53.24	10.63	10.83	10.46	57.01	12.93	13	12.36
53.74	10.73	10.96	10.58	57.01	13.01	13.1	12.5
53.74	10.77	11.02	10.67	57.51	13.12	13.2	12.53
53.99	10.88	11.12	10.71	57.76	13.25	13.36	12.73
54.5	10.97	11.21	10.8	57.76	13.32	13.43	12.76
54.5	11.09	11.35	10.97	58.26	13.44	13.51	12.84
55	11.14	11.4	10.99	58.26	13.52	13.61	12.98
55.25	11.23	11.5	11.08	58.76	13.64	13.7	13.02
55.25	11.26	11.55	11.14	58.76	13.73	13.78	13.1
55.5	11.33	11.61	11.2	59.02	13.82	13.9	13.22
54.5	11.45	11.7	11.25	59.02	13.96	14	13.29
53.24	11.58	11.79	11.29	59.27	14.06	14.09	13.41
52.99	11.67	11.85	11.35	58.76	14.09	14.11	13.44
52.99	11.71	11.91	11.39	59.27	14.16	14.21	13.51
53.49	11.78	11.99	11.48	59.77	14.29	14.3	13.61
53.99	11.84	12.01	11.49	60.02	14.39	14.45	13.72
54.5	11.96	12.14	11.56	59.52	14.44	14.5	13.74
54.75	12.1	12.22	11.69	60.27	14.65	14.66	13.89
55.25	12.19	12.31	11.74	60.27	14.74	14.73	13.97
55.5	12.25	12.41	11.8	60.52	14.85	14.84	14.04
55.75	12.41	12.49	11.93	60.77	14.95	14.95	14.16
56.25	12.48	12.61	12.01	61.02	15.05	15.02	14.22
56.5	12.57	12.71	12.09	61.28	15.21	15.21	14.38
56.5	12.71	12.79	12.22	61.02	15.34	15.33	14.49
56.76	12.78	12.9	12.27	61.53	15.48	15.45	14.57

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab. Struktur

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Heriadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 1				Balok Variasi 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
62.03	15.6	15.54	14.73	65.29	18.19	17.98	16.76
62.03	15.67	15.65	14.75	65.29	18.25	18.03	16.86
62.03	15.72	15.72	14.8	65.29	18.36	18.12	16.96
62.53	15.92	15.84	14.96	65.54	18.45	18.2	17
62.28	15.99	15.95	14.99	65.8	18.6	18.36	17.16
62.53	16.08	16	15.06	65.8	18.66	18.41	17.18
63.03	16.2	16.14	15.19	66.05	18.74	18.51	17.27
63.03	16.26	16.22	15.23	66.3	18.87	18.58	17.43
63.03	16.34	16.26	15.28	66.05	18.96	18.7	17.49
63.03	16.41	16.3	15.41	63.03	19.06	18.9	17.75
63.54	16.49	16.46	15.48	63.54	19.17	19.02	17.94
63.79	16.58	16.51	15.52	63.79	19.22	19.13	17.99
63.79	16.71	16.62	15.65	49.22	19.92	20.01	19.12
64.04	16.82	16.73	15.75	49.47	19.96	20.17	19.19
63.79	16.97	16.87	15.86	49.97	20	20.24	19.26
64.04	17.11	16.99	15.96	50.48	20.12	20.35	19.45
64.04	17.17	17.04	15.99	50.98	20.21	20.47	19.56
64.04	17.23	17.14	16.03	51.23	20.32	20.59	19.7
64.04	17.34	17.22	16.11	51.23	20.35	20.65	19.74
64.54	17.51	17.36	16.27	51.73	20.46	20.74	19.87
64.54	17.66	17.48	16.39	51.98	20.51	20.85	19.96
64.54	17.74	17.57	16.44	36.41	21.47	21.85	20.96
64.54	17.79	17.62	16.47	-0.25	25.63	27.93	29.26
64.54	17.92	17.71	16.57	0.25	25.72	27.87	29.25
64.79	18.09	17.89	16.73	2.01	25.97	28.2	29.64

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur




LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 2				Balok Variasi 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0.25	0	0	0	12.05	1.39	1.37	1.23
1.26	0.07	0.1	0.03	12.56	1.42	1.4	1.25
2.26	0.21	0.16	0.11	13.81	1.46	1.45	1.33
2.51	0.27	0.2	0.22	14.31	1.52	1.51	1.4
3.01	0.33	0.25	0.25	14.82	1.54	1.56	1.41
3.26	0.39	0.32	0.28	14.82	1.56	1.6	1.44
3.77	0.46	0.39	0.32	15.82	1.63	1.65	1.51
4.02	0.53	0.45	0.38	17.33	1.72	1.7	1.57
4.02	0.55	0.51	0.41	18.33	1.79	1.79	1.66
4.02	0.56	0.55	0.43	19.84	1.88	1.9	1.78
4.52	0.65	0.6	0.48	21.6	1.98	2.01	1.86
4.77	0.72	0.65	0.55	22.85	2.02	2.1	1.99
5.52	0.78	0.7	0.59	24.36	2.15	2.18	2.04
6.03	0.81	0.76	0.64	25.87	2.22	2.29	2.17
6.03	0.88	0.8	0.69	25.87	2.23	2.34	2.19
6.53	0.96	0.85	0.75	26.12	2.24	2.37	2.21
6.78	1.03	0.9	0.78	26.12	2.25	2.38	2.22
7.53	1.07	0.95	0.88	18.33	2.8	3.11	2.83
8.29	1.13	1	0.97	17.83	2.86	3.18	2.9
8.04	1.15	1.07	0.98	18.33	2.95	3.23	3.01
8.54	1.17	1.1	1	19.09	2.99	3.35	3.05
9.04	1.2	1.15	1.01	19.09	3.02	3.42	3.1
10.05	1.24	1.2	1.1	19.84	3.14	3.51	3.24
11.05	1.32	1.24	1.15	20.34	3.19	3.61	3.29
11.8	1.38	1.31	1.21	21.35	3.26	3.7	3.43

 Yogyakarta, 19 Juli 2021
 Kepala Lab Struktur

 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 2				Balok Variasi 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
21.6	3.37	3.8	3.48	25.62	5.89	6.18	5.48
22.35	3.44	3.89	3.58	25.62	5.91	6.2	5.5
23.36	3.5	3.97	3.7	26.62	6.02	6.32	5.6
23.86	3.54	4.02	3.74	27.62	6.11	6.4	5.68
23.86	3.61	4.1	3.78	28.38	6.25	6.52	5.78
24.86	3.71	4.19	3.88	28.63	6.3	6.6	5.81
25.36	3.74	4.25	3.98	29.13	6.43	6.66	5.91
25.62	3.74	4.31	4.01	29.88	6.5	6.77	5.98
26.62	3.85	4.39	4.08	30.39	6.53	6.85	6.01
26.87	3.9	4.43	4.12	31.14	6.71	6.93	6.1
27.62	3.95	4.54	4.21	31.89	6.81	7.05	6.23
27.88	3.99	4.61	4.23	32.4	6.92	7.17	6.28
28.63	4.04	4.68	4.33	32.4	6.95	7.21	6.32
29.38	4.15	4.75	4.44	25.87	7.11	7.48	6.82
29.63	4.19	4.83	4.49	25.11	7.13	7.52	6.88
29.88	4.24	4.91	4.54	25.36	7.2	7.61	6.95
30.14	4.32	4.96	4.61	26.87	7.27	7.7	7.11
21.09	5.07	5.46	4.98	27.62	7.37	7.84	7.23
21.35	5.19	5.55	5.02	28.13	7.43	7.9	7.27
21.6	5.23	5.63	5.04	29.38	7.56	8.05	7.49
22.85	5.42	5.77	5.17	29.88	7.61	8.11	7.55
23.1	5.5	5.83	5.22	30.64	7.72	8.2	7.69
23.61	5.58	5.91	5.3	25.62	5.89	6.18	5.48
24.11	5.73	6.01	5.38	25.62	5.91	6.2	5.5
24.61	5.75	6.1	5.41	26.62	6.02	6.32	5.6

Yogyakarta, 16 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Harjadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 2				Balok Variasi 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
27.62	6.11	6.4	5.68	34.66	8.31	8.9	8.43
28.38	6.25	6.52	5.78	34.66	8.41	9.02	8.52
28.63	6.3	6.6	5.81	35.41	8.48	9.12	8.6
29.13	6.43	6.66	5.91	35.91	8.59	9.2	8.73
29.88	6.5	6.77	5.98	36.41	8.67	9.3	8.78
30.39	6.53	6.85	6.01	36.92	8.73	9.41	8.92
31.14	6.71	6.93	6.1	37.67	8.85	9.51	9.02
31.89	6.81	7.05	6.23	37.92	8.98	9.61	9.09
32.4	6.92	7.17	6.28	38.17	9.08	9.71	9.25
32.4	6.95	7.21	6.32	38.67	9.14	9.8	9.29
25.87	7.11	7.48	6.82	39.18	9.27	9.93	9.43
25.11	7.13	7.52	6.88	39.43	9.34	10.03	9.55
25.36	7.2	7.61	6.95	39.93	9.42	10.11	9.63
26.87	7.27	7.7	7.11	40.18	9.51	10.2	9.76
27.62	7.37	7.84	7.23	40.68	9.55	10.3	9.82
28.13	7.43	7.9	7.27	40.93	9.72	10.4	9.95
29.38	7.56	8.05	7.49	41.69	9.79	10.49	10.05
29.88	7.61	8.11	7.55	41.94	9.86	10.61	10.13
30.64	7.72	8.2	7.69	42.69	9.99	10.72	10.26
31.14	7.75	8.29	7.75	42.94	10.04	10.81	10.36
31.39	7.82	8.4	7.84	43.19	10.15	10.9	10.45
32.65	7.99	8.51	8	43.7	10.25	11.04	10.56
32.9	8.02	8.6	8.06	44.2	10.34	11.1	10.67
33.65	8.11	8.71	8.22	44.45	10.48	11.22	10.78
33.9	8.21	8.84	8.27	44.95	10.51	11.31	10.83

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)
 YOGYAKARTA


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 2				Balok Variasi 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
45.2	10.58	11.4	10.94	51.48	12.34	13.2	12.71
45.96	10.73	11.5	11.05	51.48	12.45	13.32	12.77
46.46	10.8	11.62	11.18	51.98	12.5	13.4	12.86
46.46	10.94	11.72	11.29	51.98	12.66	13.53	13
46.96	11	11.82	11.35	51.98	12.72	13.6	13.06
46.96	11.04	11.9	11.43	52.49	12.83	13.73	13.2
47.46	11.17	11.94	11.49	52.74	12.95	13.83	13.24
47.46	11.23	12.02	11.56	52.74	13.02	13.9	13.33
47.97	11.26	12.1	11.64	53.24	13.16	14	13.44
48.22	11.36	12.2	11.75	53.49	13.25	14.11	13.52
48.22	11.44	12.25	11.78	53.74	13.34	14.2	13.66
48.22	11.48	12.31	11.83	53.74	13.44	14.3	13.7
48.47	11.52	12.36	11.91	53.99	13.49	14.4	13.77
48.97	11.58	12.4	11.96	54.24	13.53	14.45	13.81
48.97	11.66	12.51	12.01	54.5	13.63	14.51	13.91
49.22	11.71	12.58	12.08	54.5	13.75	14.61	14
49.47	11.72	12.6	12.11	54.5	13.88	14.71	14.11
49.72	11.77	12.65	12.18	54.5	13.97	14.82	14.21
49.72	11.81	12.68	12.22	54.5	14.01	14.9	14.25
49.97	11.89	12.73	12.26	54.75	14.2	15.01	14.38
50.23	11.98	12.83	12.34	55	14.23	15.1	14.42
50.48	12.03	12.9	12.42	55.25	14.38	15.22	14.53
50.48	12.07	12.95	12.46	55.25	14.45	15.31	14.62
50.48	12.15	13.01	12.51	55.75	14.55	15.41	14.72
50.98	12.22	13.12	12.62	55.75	14.67	15.51	14.79

Yogyakarta, 19 Juli 2021

 LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
 Kepala Lab Struktur

 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA
 (Haridi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 2				Balok Variasi 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
56	14.74	15.6	14.89	60.52	17	17.83	17
56.25	14.85	15.7	15.02	60.52	17.06	17.9	17.04
56.5	14.98	15.82	15.1	61.02	17.22	17.96	17.16
56.76	15.02	15.9	15.15	61.02	17.24	18	17.2
56.76	15.18	16.02	15.28	61.02	17.31	18.09	17.26
57.01	15.23	16.1	15.36	61.02	17.4	18.17	17.34
57.51	15.37	16.21	15.5	61.53	17.44	18.26	17.4
57.76	15.46	16.31	15.55	61.78	17.52	18.38	17.49
57.76	15.51	16.41	15.64	61.53	17.54	18.4	17.5
57.76	15.56	16.44	15.69	62.03	17.59	18.42	17.53
58.26	15.73	16.6	15.84	62.03	17.73	18.54	17.65
58.26	15.83	16.67	15.93	62.28	17.76	18.6	17.7
58.51	15.95	16.76	16	62.53	17.92	18.7	17.81
59.02	16	16.85	16.07	62.53	18	18.81	17.93
59.27	16.08	16.91	16.16	63.03	18.12	18.91	18
59.52	16.22	17.07	16.28	63.03	18.23	19	18.09
59.27	16.29	17.15	16.34	62.78	18.27	19.1	18.18
59.52	16.41	17.2	16.45	63.54	18.4	19.2	18.26
59.52	16.48	17.29	16.49	63.54	18.5	19.3	18.35
60.02	16.53	17.37	16.56	63.79	18.62	19.44	18.48
60.02	16.62	17.46	16.66	64.29	18.73	19.53	18.56
60.02	16.73	17.53	16.72	64.29	18.78	19.61	18.62
60.27	16.77	17.61	16.78	64.29	18.9	19.7	18.72
60.52	16.91	17.68	16.91	64.54	18.99	19.8	18.79
60.52	16.96	17.73	16.96	62.03	19.07	19.97	19.06

 Yogyakarta, 09 Juli 2021
 Kepala Lab Struktur

 LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA
 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
62.28	19.09	20	19.09
61.78	19.18	20.11	19.21
61.78	19.24	20.2	19.34
61.78	19.27	20.26	19.43
59.27	19.32	20.4	19.61
-0.25	35.6	46.49	57.95
0.25	35.64	46.72	57.92
0	35.63	46.69	57.93
0.25	35.55	46.67	57.88
0.25	35.5	46.6	57.84

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 3				Balok Variasi 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0	0	0	0	1.57	1.82	1.98	19.09
0.07	0.03	0.1	4.77	1.6	1.92	2.09	19.59
0.11	0.12	0.19	6.28	1.78	2.04	2.28	21.09
0.2	0.22	0.2	7.79	1.81	2.16	2.33	21.35
0.24	0.25	0.22	8.29	1.85	2.2	2.41	21.85
0.31	0.29	0.29	9.79	2.01	2.34	2.61	23.36
0.32	0.31	0.32	10.3	2.05	2.42	2.64	23.61
0.33	0.35	0.37	11.05	2.11	2.5	2.73	24.36
0.35	0.39	0.39	11.55	2.2	2.61	2.89	25.36
0.39	0.45	0.4	12.56	2.26	2.7	2.96	25.87
0.49	0.5	0.45	14.57	2.36	2.75	3.11	26.87
0.55	0.55	0.51	16.32	2.42	2.83	3.17	27.12
0.58	0.61	0.57	17.33	2.45	2.93	3.19	27.88
0.63	0.68	0.6	18.33	2.46	2.96	3.21	27.88
0.69	0.71	0.63	19.84	2.51	3	3.3	28.38
0.78	0.76	0.7	22.1	2.54	3.02	3.33	28.63
0.81	0.81	0.72	22.85	3.46	3.7	3.75	19.09
0.83	0.86	0.75	23.36	3.54	3.73	3.8	19.59
0.87	0.91	0.79	24.11	3.66	3.83	3.87	20.34
0.91	0.94	0.83	24.86	3.74	3.87	3.92	20.59
0.97	0.98	0.89	25.62	3.78	3.96	3.94	20.84
1.34	1.54	1.65	17.33	3.85	4.03	3.98	21.35
1.38	1.61	1.72	17.33	4.03	4.13	4.12	22.1
1.46	1.71	1.84	17.83	4.13	4.23	4.2	23.1
1.53	1.76	1.94	18.58	4.24	4.31	4.26	23.61

Yogyakarta, 17 Juli 2021

Kepala Lab. Struktur

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

 JJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA
 (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 3				Balok Variasi 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
4.29	4.42	4.31	23.86	6.53	6.46	6.17	36.92
4.46	4.51	4.42	25.11	6.58	6.51	6.25	37.42
4.55	4.62	4.47	25.36	6.63	6.64	6.38	37.67
4.64	4.7	4.54	25.87	6.75	6.71	6.44	38.42
4.8	4.85	4.64	27.12	6.92	6.81	6.59	38.93
4.95	4.95	4.72	27.88	7.01	6.92	6.65	39.68
5.03	5	4.81	28.38	7.1	7.01	6.78	40.43
5.09	5.1	4.89	28.88	7.17	7.1	6.84	40.43
5.23	5.2	4.96	29.63	7.24	7.16	6.89	40.93
5.32	5.3	5.07	30.14	7.29	7.2	6.94	41.44
5.42	5.4	5.16	30.39	7.34	7.27	6.99	41.44
5.56	5.52	5.28	31.39	7.38	7.31	7.06	41.69
5.6	5.61	5.34	31.64	7.48	7.4	7.11	41.94
5.8	5.71	5.47	32.65	7.57	7.51	7.2	42.69
5.86	5.84	5.58	33.15	7.7	7.62	7.32	43.45
5.93	5.9	5.64	33.4	7.8	7.73	7.43	44.45
6.04	5.98	5.74	34.15	7.85	7.8	7.51	44.7
6.08	6.07	5.81	34.66	7.94	7.9	7.59	44.7
6.12	6.1	5.84	34.66	8.07	8.01	7.72	45.96
6.23	6.19	5.9	34.91	8.15	8.12	7.83	46.21
6.26	6.21	5.93	35.16	8.25	8.2	7.9	46.71
6.31	6.28	5.98	35.66	8.36	8.31	8.01	47.46
6.33	6.3	6.02	35.66	8.47	8.41	8.1	47.71
6.38	6.33	6.07	36.16	8.57	8.5	8.2	48.47
6.44	6.41	6.13	36.41	8.63	8.58	8.29	48.97

 LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA

 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

 Yogyakarta, 19 Juli 2021
 Kepala Lab Struktur

(Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 3				Balok Variasi 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
8.71	8.69	8.37	48.97	11	11.32	10.68	56.5
8.8	8.75	8.43	49.72	11.06	11.4	10.75	57.01
8.87	8.81	8.54	49.97	11.23	11.53	10.9	57.51
8.95	8.91	8.64	50.23	11.29	11.63	10.97	57.76
9.04	9	8.69	50.73	11.33	11.7	11.05	58.26
9.08	9.06	8.76	50.48	11.45	11.81	11.15	58.26
9.36	9.49	9.07	46.21	11.53	11.91	11.22	59.02
9.4	9.51	9.12	45.96	11.62	12.05	11.36	59.52
9.47	9.61	9.15	46.71	11.72	12.15	11.43	60.02
9.54	9.71	9.2	47.46	11.8	12.24	11.52	60.27
9.62	9.81	9.33	48.72	11.86	12.3	11.6	60.77
9.72	9.9	9.4	49.47	11.97	12.4	11.68	60.77
9.8	10	9.49	50.73	12.08	12.5	11.8	61.02
9.85	10.13	9.57	51.23	12.32	12.68	11.9	57.51
9.94	10.2	9.64	51.48	12.34	12.71	11.9	57.51
10.07	10.31	9.78	52.24	12.53	12.83	12.02	58.76
10.16	10.4	9.88	52.74	12.58	12.91	12.1	59.27
10.26	10.49	9.92	52.99	12.71	13	12.16	60.52
10.32	10.6	9.99	52.99	12.79	13.07	12.23	61.02
10.45	10.71	10.14	53.99	12.83	13.18	12.29	61.28
10.54	10.8	10.23	54.5	12.92	13.24	12.37	61.53
10.6	10.93	10.33	54.75	13.03	13.31	12.43	61.53
10.74	11	10.42	55.5	13.12	13.43	12.57	62.53
10.81	11.12	10.51	55.75	13.2	13.5	12.62	62.53
10.86	11.2	10.6	55.75	13.29	13.63	12.7	63.03

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Haradi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 3				Balok Variasi 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
13.35	13.69	12.78	63.03	15.65	16.03	14.93	68.31
13.47	13.75	12.88	63.28	15.75	16.13	15.09	68.31
13.52	13.84	12.92	63.54	15.83	16.22	15.16	68.81
13.55	13.91	12.95	63.54	15.96	16.33	15.23	68.81
13.64	14	13.09	63.79	16.06	16.43	15.33	69.06
13.78	14.11	13.17	64.04	16.12	16.53	15.42	69.06
13.83	14.19	13.24	64.29	16.27	16.66	15.52	69.31
13.89	14.29	13.33	64.54	16.4	16.73	15.62	69.06
13.97	14.35	13.38	64.79	16.52	16.88	15.67	69.31
14.03	14.4	13.42	65.04	16.56	16.94	15.72	69.06
14.21	14.52	13.61	65.04	16.62	17	15.82	69.81
14.27	14.64	13.67	65.54	16.76	17.1	15.89	70.07
14.33	14.7	13.71	65.54	16.9	17.2	16	70.07
14.49	14.83	13.86	65.8	16.97	17.31	16.08	69.81
14.57	14.93	13.93	66.3	17.07	17.43	16.17	69.81
14.69	15.02	14.05	66.3	17.23	17.52	16.3	70.07
14.75	15.13	14.13	66.55	17.31	17.65	16.39	70.32
14.81	15.21	14.18	66.55	17.4	17.76	16.44	70.57
14.95	15.3	14.3	67.05	17.51	17.84	16.56	70.82
15.02	15.4	14.38	67.05	17.61	17.98	16.67	70.82
15.12	15.51	14.47	67.55	17.65	18	16.71	70.82
15.27	15.64	14.61	67.55	17.73	18.09	16.76	70.82
15.31	15.7	14.66	67.81	17.84	18.21	16.87	71.07
15.41	15.78	14.72	68.06	17.98	18.32	16.97	71.07
15.53	15.9	14.84	68.06	18.06	18.43	17.09	71.07

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Haridi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
19.48	19.5	17.89	53.99
19.59	19.62	17.95	54.5
19.71	19.7	18.05	54.5
19.93	19.88	18.18	54.75
19.96	19.9	18.19	54.75
20.2	20.09	18.33	55.25
20.29	20.15	18.38	55.5
20.35	20.21	18.42	55.5
20.48	20.32	18.5	55.25
20.57	20.46	18.59	55.75
96.63	87.27	94.52	-0.25

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur



(Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 4				Balok Variasi 4			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0	0.03	-0.02	-0.25	1.76	2.24	2.46	18.58
0	0.08	-0.01	0.5	1.81	2.31	2.52	18.58
0.05	0.12	0.11	1	1.88	2.35	2.64	19.34
0.12	0.2	0.19	2.01	1.93	2.43	2.71	19.84
0.14	0.24	0.21	2.76	1.97	2.52	2.78	20.59
0.19	0.3	0.24	4.27	2.08	2.6	2.91	21.35
0.21	0.33	0.27	5.02	2.13	2.7	3	22.1
0.27	0.43	0.33	6.28	2.2	2.8	3.17	23.1
0.34	0.48	0.44	7.28	2.33	2.93	3.31	24.11
0.34	0.5	0.44	7.53	2.35	3	3.36	24.36
0.38	0.56	0.47	9.29	2.42	3.11	3.56	25.62
0.39	0.6	0.53	10.3	2.53	3.2	3.66	26.12
0.46	0.66	0.66	11.8	2.6	3.31	3.73	26.87
0.53	0.7	0.68	13.06	2.72	3.43	3.9	27.88
0.56	0.75	0.71	14.06	2.8	3.51	3.95	28.13
0.63	0.8	0.77	16.07	2.89	3.6	4.12	28.88
0.65	0.84	0.84	17.08	2.94	3.68	4.15	28.38
0.73	0.91	0.94	19.59	3.08	3.8	4.21	27.88
0.78	0.96	0.95	20.09	3.67	4.39	4.69	21.35
0.82	1	0.98	20.84	3.69	4.46	4.7	21.6
0.85	1.05	1	21.85	3.71	4.49	4.71	21.85
0.91	1.1	1.07	23.36	3.76	4.53	4.73	22.1
0.96	1.15	1.13	24.86	3.85	4.58	4.79	22.35
1.57	2	2.19	17.33	3.91	4.65	4.89	22.6
1.67	2.12	2.35	18.08	3.97	4.74	4.91	23.36

Yogyakarta, 19 Juli 2021
 Kepala Lab Struktur
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 4				Balok Variasi 4			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
4.15	4.88	5.06	24.36	6.23	7.26	7.39	37.17
4.18	4.94	5.12	24.86	6.28	7.31	7.43	37.42
4.21	5	5.14	25.36	6.36	7.4	7.49	37.67
4.33	5.07	5.21	25.87	6.39	7.5	7.58	37.92
4.38	5.14	5.24	26.37	6.57	7.61	7.72	38.67
4.43	5.24	5.37	26.87	6.63	7.7	7.81	38.93
4.52	5.31	5.44	27.88	6.69	7.8	7.89	39.18
4.63	5.41	5.51	28.63	6.82	7.94	8.02	40.18
4.72	5.54	5.64	29.13	6.9	8.05	8.16	40.68
4.84	5.61	5.7	29.38	6.97	8.15	8.24	41.19
4.9	5.73	5.82	30.14	7.07	8.26	8.34	40.93
5.02	5.82	5.94	30.89	7.11	8.3	8.38	41.44
5.1	5.93	6.01	31.39	7.17	8.39	8.48	41.94
5.14	6.01	6.04	31.39	7.31	8.51	8.6	42.19
5.23	6.1	6.18	31.89	7.38	8.61	8.67	42.44
5.36	6.25	6.29	32.4	7.47	8.73	8.77	42.94
5.42	6.3	6.39	32.9	7.62	8.8	8.9	43.19
5.53	6.46	6.51	33.65	7.72	8.94	8.97	43.45
5.61	6.51	6.62	34.15	7.77	9	9.02	43.7
5.71	6.68	6.71	34.66	7.9	9.15	9.16	44.7
5.76	6.72	6.79	34.66	7.99	9.28	9.31	44.7
5.91	6.84	6.94	35.66	8.09	9.37	9.4	44.95
5.95	6.9	7.01	35.91	8.12	9.41	9.43	45.2
5.99	7.01	7.1	35.91	8.23	9.53	9.57	45.71
6.08	7.1	7.16	36.16	8.35	9.63	9.67	45.96

Yogyakarta, 16 Januari 2021

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Hanadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSANTEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 4				Balok Variasi 4			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
8.38	9.72	9.7	46.21	10.64	12.22	12.03	53.24
8.52	9.84	9.88	46.71	10.72	12.31	12.14	53.49
8.62	9.97	9.95	46.96	10.82	12.43	12.18	53.74
8.65	10.01	10.03	47.21	10.9	12.52	12.3	53.99
8.78	10.11	10.14	47.46	10.99	12.62	12.4	54.5
8.88	10.25	10.22	47.97	11.05	12.7	12.43	54.24
8.95	10.31	10.3	47.97	11.15	12.81	12.56	54.75
9.03	10.4	10.4	48.47	11.23	12.91	12.65	54.75
9.11	10.52	10.47	48.47	11.34	13.04	12.75	55
9.18	10.6	10.58	48.72	11.39	13.1	12.85	55
9.32	10.73	10.69	49.22	11.43	13.21	12.9	55
9.4	10.8	10.72	49.47	11.57	13.31	12.99	55.5
9.46	10.92	10.86	49.72	11.67	13.43	13.15	55.75
9.6	11.03	10.93	49.97	11.7	13.52	13.19	55.5
9.67	11.11	11.06	50.23	11.87	13.69	13.38	56
9.72	11.2	11.14	50.48	11.93	13.78	13.45	56.25
9.83	11.3	11.19	50.98	12.01	13.87	13.54	56.25
9.91	11.43	11.31	51.48	12.11	13.97	13.64	56.5
10.08	11.57	11.44	51.73	12.17	14.07	13.71	56.76
10.15	11.67	11.52	51.98	12.25	14.14	13.86	57.01
10.2	11.76	11.62	51.98	12.36	14.28	13.91	57.26
10.27	11.82	11.66	52.49	12.39	14.34	13.95	57.01
10.41	11.94	11.76	52.74	12.47	14.42	14.07	57.26
10.45	12	11.86	52.99	12.6	14.55	14.19	57.76
10.55	12.11	11.94	53.24	12.67	14.63	14.3	57.51

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur

**LABORATORIUM STRUKTUR
DAN MEKANIKA REKAYASA**

 JJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Hariadi Yudianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk. 3250 email : lab.bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi 4				Balok Variasi 4			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
12.79	14.77	14.39	57.51	15.65	18.15	17.04	47.97
12.9	14.88	14.48	57.76	15.72	18.23	17.11	47.97
12.96	14.97	14.58	58.01	15.83	18.3	17.15	47.97
13.07	15.09	14.66	57.51	15.93	18.43	17.24	48.47
13.13	15.2	14.72	56.76	16.1	18.57	17.38	48.97
13.26	15.32	14.87	56.5	16.17	18.67	17.44	49.47
13.4	15.48	14.96	57.01	16.28	18.79	17.58	49.47
13.44	15.53	15.03	57.01	100.42	98.08	83.42	-0.75
13.54	15.61	15.12	57.26				
13.59	15.66	15.14	57.26				
13.59	15.69	15.15	57.01				
13.61	15.74	15.18	57.26				
13.67	15.8	15.28	57.76				
13.81	15.92	15.39	58.01				
13.89	16.02	15.43	58.26				
13.92	16.07	15.53	58.01				
13.95	16.1	15.55	58.26				
15.13	17.11	15.98	46.46				
14.96	17.31	16.42	46.46				
15.07	17.45	16.52	46.96				
15.14	17.53	16.59	46.96				
15.29	17.7	16.69	47.21				
15.37	17.81	16.78	47.46				
15.53	17.97	16.92	47.71				
15.55	18	16.93	47.46				

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA

 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 1				Balok Variasi II - 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0	0	0	0	21,09	-38,71	1,92	2,03
2,26	0	0,06	0,05	22,85	-38,62	2	2,24
2,76	0	0,11	0,06	22,85	-38,59	2,05	2,29
4,02	0	0,17	0,09	23,61	-38,52	2,1	2,33
5,02	0	0,2	0,11	23,86	-38,48	2,2	2,35
8,04	0	0,25	0,24	25,36	-38,39	2,32	2,57
9,79	0	0,3	0,29	25,87	-38,33	2,42	2,63
10,05	0	0,32	0,31	27,62	-38,18	2,48	2,85
10,55	0	0,39	0,32	28,38	-38,16	2,7	2,88
11,05	0	0,4	0,32	30,14	-37,93	2,82	3,13
19,34	0	0,47	0,53	30,39	-37,91	2,9	3,16
20,09	0	0,51	0,56	30,89	-37,83	2,99	3,29
20,59	0	0,53	0,56	27,37	-37,49	3,41	3,55
21,35	0	0,6	0,57	25,62	-37,34	3,48	3,65
24,36	0	0,67	0,64	25,36	-37,26	3,53	3,69
24,86	0	0,7	0,66	25,36	-37,22	3,67	3,74
26,12	0	0,77	0,79	25,36	-37,19	3,72	3,81
19,09	-0,01	1,3	1,39	25,62	-37,12	3,81	3,84
18,58	0	1,44	1,47	26,12	-36,98	3,9	3,92
18,58	0	1,5	1,6	27,88	-36,88	3,97	4,06
18,83	0	1,55	1,7	27,88	-36,84	4,15	4,09
18,58	-38,93	1,6	1,76	28,88	-36,69	4,2	4,23
20,09	-38,89	1,67	1,83	29,63	-36,66	4,24	4,27
20,59	-38,82	1,71	1,92	29,63	-36,65	4,32	4,28
21,09	-38,73	1,78	2,02	30,14	-36,62	4,41	4,3

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA
 JIJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 1				Balok Variasi II - 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
30,64	-34,97	5,89	5,56	42,94	-32,67	8,23	7,65
30,64	-34,94	5,92	5,58	43,19	-32,63	8,35	7,73
31,64	-34,84	6,02	5,69	43,19	-32,55	8,44	7,81
32,9	-34,62	6,18	5,81	43,95	-32,4	8,51	7,97
33,65	-34,49	6,24	5,89	44,2	-32,34	8,65	8,02
33,65	-34,45	6,38	5,93	44,45	-32,25	8,71	8,05
34,4	-34,42	6,44	6,01	44,95	-32,13	8,87	8,27
34,91	-34,34	6,48	6,06	45,45	-31,95	8,94	8,36
35,41	-34,19	6,5	6,12	45,71	-31,92	9,08	8,4
35,66	-34,16	6,6	6,15	45,96	-31,89	9,16	8,49
36,16	-34,06	6,7	6,26	46,46	-31,81	9,2	8,56
36,66	-33,96	6,83	6,33	46,96	-31,68	9,33	8,69
36,92	-33,9	6,9	6,39	46,96	-31,65	9,42	8,73
37,92	-33,75	7,02	6,56	47,71	-31,48	9,52	8,82
37,92	-33,72	7,1	6,57	48,22	-31,41	9,62	9
38,42	-33,65	7,2	6,73	48,22	-31,33	9,7	9,06
38,93	-33,45	7,33	6,81	48,97	-31,16	9,88	9,15
39,43	-33,41	7,44	6,89	48,97	-31,13	9,94	9,22
39,43	-33,33	7,5	6,99	49,22	-31,02	9,98	9,34
40,18	-33,22	7,63	7,05	49,47	-30,97	10,06	9,4
40,68	-33,11	7,71	7,19	49,97	-30,94	10,13	9,46
40,68	-33,05	7,8	7,25	50,23	-30,86	10,21	9,54
41,44	-32,97	7,91	7,29	50,48	-30,74	10,34	9,59
41,94	-32,86	8,04	7,51	50,48	-30,67	10,4	9,72
42,19	-32,76	8,12	7,54	51,23	-30,58	10,53	9,84

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur

 LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA

 JIJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 1				Balok Variasi II - 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
51,48	-30,39	10,7	10,02	58,76	-28,31	12,98	12,1
51,98	-30,29	10,88	10,1	58,76	-28,25	13	12,12
52,24	-30,22	10,95	10,18	59,27	-28,15	13,13	12,24
52,74	-30,17	11	10,25	59,52	-28,13	13,2	12,27
52,49	-30,03	11,08	10,31	60,02	-27,97	13,35	12,44
52,99	-29,96	11,16	10,41	60,27	-27,94	13,4	12,47
53,24	-29,88	11,23	10,52	60,52	-27,8	13,5	12,59
53,74	-29,83	11,34	10,59	60,77	-27,75	13,6	12,64
53,74	-29,75	11,41	10,62	61,02	-27,66	13,7	12,75
54,24	-29,64	11,5	10,75	61,53	-27,53	13,82	12,88
54,5	-29,58	11,64	10,81	61,78	-27,45	13,92	12,98
54,75	-29,47	11,71	10,91	62,03	-27,36	14,04	13,04
55	-29,4	11,8	11	62,03	-27,25	14,12	13,13
55,25	-29,36	11,9	11,04	62,28	-27,21	14,14	13,19
55,5	-29,18	11,99	11,22	62,53	-27,2	14,17	13,22
55,75	-29,18	12,02	11,24	62,53	-27,18	14,19	13,25
55,75	-29,15	12,1	11,27	62,53	-27,15	14,21	13,27
56,25	-28,98	12,21	11,38	62,78	-27,01	14,39	13,34
56,76	-28,91	12,26	11,49	63,03	-26,97	14,43	13,39
56,76	-28,9	12,38	11,51	63,54	-26,88	14,5	13,52
57,26	-28,72	12,48	11,68	63,54	-26,81	14,6	13,56
57,51	-28,7	12,6	11,73	64,04	-26,66	14,73	13,76
57,76	-28,58	12,71	11,83	64,04	-26,64	14,79	13,79
58,01	-28,45	12,78	11,96	64,29	-26,59	14,91	13,81
58,26	-28,42	12,91	11,99	64,79	-26,4	15	14

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA
 JIJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 1				Balok Variasi II - 1			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
65,04	-26,38	15,12	14,03	70,07	-24,22	17,35	16,14
65,29	-26,24	15,21	14,13	70,07	-24,18	17,4	16,2
65,54	-26,14	15,33	14,3	70,32	-24,06	17,51	16,33
65,8	-26,07	15,4	14,35	70,57	-23,92	17,65	16,45
66,05	-25,88	15,61	14,52	70,57	-23,88	17,72	16,51
66,3	-25,85	15,66	14,55	70,32	-23,84	17,81	16,56
66,05	-25,8	15,69	14,59	70,82	-23,75	17,91	16,62
66,3	-25,76	15,72	14,64	70,82	-23,65	17,98	16,78
66,55	-25,72	15,77	14,72	11,8	-19,68	23,08	20,78
66,8	-25,68	15,81	14,78	12,05	-19,66	23,15	20,75
66,8	-25,66	15,9	14,81				
67,3	-25,45	16,01	14,94				
67,3	-25,41	16,12	15,05				
67,55	-25,29	16,22	15,12				
67,81	-25,19	16,34	15,23				
68,06	-25,11	16,41	15,29				
68,31	-25	16,44	15,37				
68,56	-24,93	16,65	15,5				
68,56	-24,89	16,7	15,55				
69,06	-24,69	16,85	15,7				
69,06	-24,66	16,9	15,78				
69,31	-24,56	16,95	15,84				
69,31	-24,51	17	15,87				
69,56	-24,44	17,15	15,93				
69,81	-24,34	17,2	16,05				

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur




LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 2				Balok Variasi II - 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
2,76	0,01	0	0,01	18,83	1,52	1,9	1,88
4,27	0,02	0,04	0,05	18,83	1,53	1,95	1,93
7,28	0,2	0,1	0,12	19,59	1,68	2	2,03
8,54	0,22	0,15	0,14	20,09	1,75	2,05	2,09
9,29	0,23	0,2	0,17	20,84	1,78	2,1	2,12
11,55	0,27	0,25	0,22	20,84	1,79	2,15	2,17
13,06	0,28	0,3	0,29	21,09	1,8	2,2	2,21
14,82	0,3	0,35	0,34	21,85	1,85	2,25	2,28
15,57	0,31	0,4	0,34	22,6	1,9	2,31	2,33
16,83	0,35	0,45	0,4	23,36	1,98	2,36	2,37
19,59	0,46	0,5	0,53	23,36	2	2,4	2,44
23,61	0,55	0,55	0,65	23,86	2,02	2,45	2,54
24,36	0,56	0,6	0,74	24,36	2,03	2,5	2,56
25,11	0,58	0,65	0,76	25,11	2,07	2,55	2,67
25,62	0,71	0,7	0,78	25,36	2,22	2,69	2,73
25,36	0,73	0,72	0,85	25,62	2,24	2,73	2,78
17,33	1,23	1,51	1,52	26,12	2,26	2,77	2,82
16,83	1,24	1,55	1,55	27,12	2,29	2,8	2,92
16,83	1,32	1,59	1,62	27,62	2,44	2,97	3
17,08	1,39	1,6	1,68	27,88	2,46	2,99	3,01
17,08	1,42	1,65	1,7	27,88	2,47	3,01	3,02
17,33	1,43	1,71	1,77	29,13	2,52	3,1	3,18
17,83	1,44	1,75	1,79	29,63	2,54	3,16	3,25
18,33	1,48	1,8	1,82	30,14	2,62	3,2	3,3
18,58	1,51	1,85	1,87	30,64	2,73	3,24	3,35

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
 JIJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 2				Balok Variasi II - 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
30,14	2,78	3,3	3,37	35,41	5,71	5,8	5,48
22,6	3,38	3,78	3,69	35,41	5,75	5,85	5,5
22,1	3,49	3,84	3,73	35,66	5,76	5,91	5,54
21,85	3,53	3,9	3,81	35,91	5,78	5,95	5,56
22,1	3,58	3,97	3,83	36,16	5,8	6	5,57
22,35	3,63	3,99	3,83	36,41	5,95	6,05	5,69
23,1	3,75	4,05	3,87	36,41	5,97	6,11	5,73
23,61	3,78	4,11	3,91	36,66	5,99	6,16	5,8
24,11	3,94	4,2	4,01	36,92	6,02	6,21	5,83
25,36	4,07	4,31	4,1	37,42	6,08	6,26	5,88
26,37	4,22	4,4	4,17	38,17	6,24	6,38	5,97
27,12	4,29	4,5	4,26	37,92	6,26	6,46	6
28,38	4,47	4,61	4,34	38,42	6,27	6,49	6,01
29,13	4,55	4,71	4,43	38,42	6,29	6,51	6,02
30,14	4,74	4,81	4,56	39,43	6,47	6,6	6,24
30,64	4,79	4,91	4,58	39,68	6,5	6,71	6,26
31,39	4,85	5	4,68	39,93	6,52	6,76	6,31
32,14	5,01	5,11	4,81	34,91	6,77	7,01	6,71
32,4	5,03	5,2	4,83	34,66	6,8	7,13	6,81
33,15	5,25	5,3	5,02	34,91	6,82	7,2	6,92
33,15	5,27	5,41	5,04	36,66	6,98	7,29	7,09
33,9	5,4	5,5	5,23	36,92	6,99	7,37	7,12
34,4	5,51	5,58	5,28	37,17	7,04	7,42	7,17
34,4	5,53	5,69	5,28	37,42	7,06	7,5	7,25
34,91	5,59	5,74	5,36	38,17	7,13	7,56	7,31

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 2				Balok Variasi II - 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
38,42	7,21	7,61	7,37	45,96	8,66	9,09	8,81
39,68	7,28	7,7	7,5	45,96	8,7	9,17	8,83
39,93	7,3	7,75	7,55	46,21	8,74	9,2	8,88
40,43	7,44	7,8	7,6	46,71	8,95	9,3	9,03
40,68	7,48	7,94	7,71	46,71	9	9,43	9,06
40,93	7,55	8	7,77	47,21	9,03	9,5	9,16
41,44	7,69	8,05	7,85	47,97	9,22	9,61	9,28
41,44	7,73	8,1	7,87	48,22	9,27	9,72	9,33
41,69	7,74	8,15	7,91	48,47	9,33	9,81	9,48
41,69	7,74	8,2	7,92	48,97	9,48	9,92	9,56
41,94	7,77	8,26	8	49,22	9,54	10	9,66
42,69	7,88	8,3	8,09	49,72	9,67	10,08	9,73
42,69	7,93	8,35	8,12	50,23	9,76	10,2	9,8
42,94	7,98	8,4	8,15	50,23	9,92	10,3	9,96
43,45	8,03	8,45	8,23	50,48	10	10,41	10,03
43,7	8,05	8,5	8,27	50,98	10,04	10,49	10,05
43,95	8,08	8,55	8,28	50,98	10,17	10,6	10,18
44,2	8,2	8,64	8,35	51,23	10,26	10,7	10,27
44,2	8,23	8,71	8,39	51,73	10,43	10,81	10,4
44,7	8,36	8,8	8,56	51,23	10,48	10,9	10,49
45,2	8,43	8,85	8,62	51,48	10,53	10,99	10,55
45,2	8,47	8,9	8,67	51,48	10,57	11,04	10,59
45,45	8,5	8,95	8,68	51,73	10,66	11,1	10,66
45,45	8,52	9	8,71	51,73	10,75	11,2	10,73
45,96	8,56	9,05	8,79	52,24	10,88	11,3	10,83

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA
 JIJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 2				Balok Variasi II - 2			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
52,74	10,94	11,41	10,89	52,24	12,98	13,1	12,21
44,95	11,55	11,82	11,19	52,49	13	13,16	12,24
45,2	11,63	11,9	11,23	52,49	13,01	13,2	12,28
45,45	11,74	11,95	11,27	52,99	13,05	13,25	12,3
46,21	11,78	12,01	11,29	52,99	13,18	13,31	12,33
46,46	11,8	12,05	11,32	53,49	13,24	13,36	12,38
46,71	11,83	12,09	11,37	53,74	13,28	13,41	12,43
46,96	11,92	12,16	11,41	53,99	13,31	13,47	12,51
47,21	11,97	12,2	11,42	53,99	13,33	13,5	12,53
47,97	12,06	12,26	11,51	54,24	13,47	13,57	12,6
48,47	12,13	12,3	11,55	54,24	13,47	13,63	12,61
48,72	12,22	12,41	11,61	54,5	13,53	13,72	12,71
48,97	12,25	12,46	11,66	54,75	13,56	13,75	12,75
49,22	12,27	12,5	11,71	55,25	13,72	13,8	12,82
49,47	12,33	12,54	11,74	55,25	13,77	13,9	12,85
49,72	12,47	12,6	11,78	55,75	13,81	14	12,99
49,97	12,49	12,65	11,8	56	13,96	14,11	13,05
49,97	12,52	12,7	11,83	56,5	14,02	14,21	13,11
50,23	12,55	12,74	11,86	56,76	14,07	14,25	13,19
50,48	12,55	12,76	11,93	56,76	14,14	14,3	13,25
50,73	12,61	12,82	11,96	57,01	14,25	14,36	13,28
50,98	12,71	12,9	12	29,13	16,9	16,15	14,36
51,48	12,77	12,95	12,03	29,63	16,94	16,23	14,33
51,48	12,81	13	12,07				
51,98	12,89	13,04	12,16				

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA
 KEPALA Lab Struktur
 JIJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 3				Balok Variasi II - 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0,25	-0,01	0	0	31,14	1,23	1,28	1,23
1,51	-0,01	0,05	0,02	23,61	1,73	1,89	1,76
3,77	0	0,1	0,11	22,85	1,73	1,95	1,87
6,28	0,25	0,15	0,2	22,6	1,76	2,03	1,94
7,03	0,25	0,2	0,22	22,6	1,96	2,1	2
7,79	0,26	0,25	0,24	22,85	1,98	2,15	2,04
8,54	0,27	0,3	0,28	23,1	1,98	2,21	2,1
10,55	0,42	0,35	0,36	23,36	1,98	2,28	2,15
12,31	0,43	0,4	0,42	23,61	1,98	2,33	2,18
13,81	0,43	0,45	0,47	24,36	2,19	2,46	2,32
16,07	0,44	0,5	0,52	24,86	2,21	2,58	2,43
17,33	0,44	0,55	0,55	25,11	2,22	2,61	2,46
18,58	0,46	0,6	0,63	25,62	2,25	2,71	2,52
20,59	0,7	0,65	0,72	26,12	2,26	2,8	2,6
20,84	0,71	0,73	0,73	26,37	2,45	2,84	2,67
22,1	0,71	0,81	0,77	26,62	2,47	2,87	2,72
23,36	0,72	0,85	0,81	26,62	2,54	2,9	2,73
26,62	0,99	0,9	0,95	26,62	2,63	2,94	2,76
27,12	1	0,95	0,97	22,1	2,96	3,31	2,98
28,13	1,03	1	1	20,34	3,22	3,39	3,05
28,63	1,04	1,05	1,01	20,09	3,23	3,48	3,11
30,14	1,19	1,1	1,08	20,09	3,24	3,53	3,15
30,64	1,2	1,13	1,13	20,34	3,28	3,58	3,23
30,64	1,2	1,2	1,16	20,84	3,42	3,62	3,26
31,39	1,21	1,23	1,2	21,35	3,44	3,68	3,3

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA
 JIJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 3				Balok Variasi II - 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
21,85	3,47	3,83	3,39	29,13	4,96	5,09	4,53
22,1	3,67	3,9	3,46	29,63	4,97	5,12	4,55
22,85	3,72	3,96	3,52	29,38	4,97	5,18	4,6
23,1	3,73	4,01	3,55	29,88	4,97	5,27	4,64
23,61	3,73	4,1	3,62	30,14	4,98	5,31	4,67
23,61	3,74	4,13	3,67	30,14	5	5,35	4,72
24,36	3,98	4,22	3,75	30,64	5,21	5,38	4,75
24,86	4,15	4,27	3,79	30,89	5,22	5,41	4,79
24,61	4,17	4,3	3,82	30,89	5,23	5,48	4,83
25,11	4,18	4,34	3,84	31,14	5,22	5,52	4,88
25,62	4,19	4,4	3,93	31,39	5,25	5,57	4,93
26,12	4,2	4,47	3,96	31,64	5,47	5,61	4,99
26,37	4,21	4,52	3,97	31,89	5,48	5,7	5,02
26,37	4,24	4,56	3,99	31,89	5,49	5,77	5,04
26,62	4,44	4,6	4,04	32,4	5,5	5,81	5,07
27,12	4,49	4,64	4,14	32,65	5,51	5,85	5,17
27,12	4,5	4,7	4,18	32,65	5,64	5,89	5,24
27,88	4,51	4,76	4,23	32,9	5,65	5,93	5,26
27,62	4,53	4,8	4,26	33,15	5,67	6,02	5,29
27,88	4,69	4,84	4,28	33,4	5,68	6,06	5,32
28,38	4,7	4,91	4,3	33,4	5,7	6,09	5,35
28,63	4,72	4,96	4,37	33,65	5,71	6,12	5,4
28,63	4,72	4,99	4,4	33,9	5,73	6,15	5,43
28,88	4,76	5,02	4,47	34,15	5,74	6,19	5,48
29,13	4,79	5,05	4,5	34,15	5,95	6,26	5,5

Yogyakarta 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA
 JIIURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 3				Balok Variasi II - 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
34,4	5,97	6,29	5,53	39,93	7,23	7,68	6,73
34,4	5,97	6,34	5,55	39,93	7,23	7,74	6,76
34,66	5,98	6,38	5,6	40,43	7,24	7,79	6,79
35,16	5,99	6,47	5,7	40,68	7,26	7,84	6,9
35,16	5,99	6,52	5,73	40,68	7,48	7,89	6,96
35,16	6,23	6,58	5,76	41,19	7,48	8,01	6,98
35,41	6,26	6,62	5,8	41,19	7,49	8,06	7,01
35,91	6,29	6,68	5,86	41,44	7,5	8,1	7,07
36,16	6,44	6,79	5,94	41,94	7,5	8,13	7,17
36,41	6,45	6,83	5,97	42,19	7,59	8,17	7,21
36,41	6,46	6,87	6,02	42,44	7,71	8,28	7,25
37,17	6,49	6,98	6,13	42,44	7,71	8,33	7,28
37,42	6,51	7,05	6,18	42,69	7,72	8,36	7,33
37,42	6,71	7,09	6,22	42,94	7,73	8,41	7,4
37,67	6,72	7,13	6,25	42,94	7,93	8,44	7,45
37,92	6,72	7,17	6,3	43,45	7,97	8,52	7,51
37,92	6,75	7,23	6,32	43,7	7,98	8,6	7,55
38,17	6,78	7,3	6,38	44,45	8	8,72	7,68
38,42	6,98	7,34	6,49	44,2	8,23	8,79	7,72
38,67	6,99	7,37	6,51	44,7	8,25	8,85	7,76
38,67	7	7,41	6,53	44,95	8,27	8,92	7,86
38,93	7,02	7,5	6,56	45,2	8,32	9,01	7,94
39,18	7,05	7,56	6,6	45,45	8,46	9,1	8,01
39,43	7,2	7,61	6,65	45,71	8,5	9,13	8,05
39,68	7,22	7,64	6,71	45,96	8,51	9,16	8,1

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Yogyakarta, 19 Juli 2021
 Kepala Lab Struktur
**LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA**
 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK
 (BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 3				Balok Variasi II - 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
45,96	8,52	9,24	8,17	48,47	9,49	10,63	9,74
45,96	8,52	9,29	8,21	48,72	9,72	10,72	9,8
45,71	8,54	9,32	8,25	48,97	9,74	10,79	9,91
41,94	8,69	9,44	8,52	49,47	9,95	10,86	10
41,19	8,71	9,58	8,63	49,72	9,96	10,95	10,08
41,44	8,71	9,61	8,69	50,48	10,02	11,12	10,27
41,69	8,73	9,64	8,73	50,73	10,2	11,18	10,33
42,44	8,96	9,67	8,79	51,48	10,23	11,33	10,45
42,69	8,98	9,75	8,84	51,98	10,45	11,43	10,55
43,19	8,98	9,8	8,88	52,24	10,47	11,51	10,65
43,19	8,99	9,83	8,92	52,24	10,49	11,59	10,71
43,7	9	9,86	8,95	52,74	10,51	11,66	10,8
44,45	9,02	9,89	9	52,99	10,52	11,79	10,84
44,95	9,03	9,92	9,06	53,49	10,76	11,85	10,97
44,95	9,03	9,99	9,11	53,49	10,79	11,94	11,09
44,95	9,05	10,03	9,15	53,74	10,95	12,02	11,12
45,45	9,22	10,07	9,2	53,99	10,95	12,1	11,21
46,21	9,25	10,13	9,28	54,5	10,99	12,21	11,32
46,46	9,3	10,17	9,3	54,75	11,22	12,31	11,43
46,71	9,35	10,2	9,35	55	11,22	12,35	11,49
46,71	9,39	10,25	9,42	55,25	11,23	12,4	11,52
46,96	9,47	10,33	9,48	55,25	11,37	12,55	11,56
47,71	9,47	10,36	9,52	55,25	11,44	12,6	11,66
47,97	9,47	10,45	9,61	55,75	11,48	12,65	11,74
48,22	9,48	10,57	9,69	56	11,5	12,76	11,8

Yogyakarta, 19 Juli 2021
 Kepala Lab Struktur

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 3				Balok Variasi II - 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
56	11,71	12,83	11,88	63,03	13,73	15,14	14,02
56,5	11,72	12,92	11,97	63,28	13,74	15,2	14,09
56,76	11,95	13,06	12,08	63,28	13,96	15,28	14,17
57,01	12,01	13,12	12,18	63,79	13,98	15,37	14,25
57,26	12,02	13,29	12,26	64,04	13,99	15,43	14,34
57,51	12,07	13,34	12,32	64,04	14	15,54	14,42
58,01	12,22	13,42	12,45	64,29	14,25	15,61	14,48
58,26	12,25	13,55	12,52	64,54	14,26	15,7	14,53
58,51	12,42	13,62	12,63	64,79	14,28	15,79	14,62
59,02	12,43	13,75	12,7	65,04	14,43	15,86	14,71
59,02	12,49	13,82	12,76	65,29	14,45	15,94	14,77
59,52	12,51	13,91	12,9	65,29	14,46	16,06	14,86
59,77	12,74	14,07	13	65,54	14,73	16,15	14,97
60,27	12,84	14,12	13,05	65,8	14,75	16,19	15,03
60,27	12,97	14,16	13,15	66,05	14,76	16,34	15,1
60,52	12,98	14,26	13,23	66,3	14,76	16,4	15,2
60,77	13	14,37	13,31	66,55	14,99	16,46	15,26
61,02	13,02	14,42	13,38	66,55	15	16,56	15,32
61,28	13,22	14,52	13,46	66,8	15,2	16,64	15,43
61,28	13,22	14,57	13,49	67,05	15,23	16,79	15,5
61,78	13,25	14,65	13,56	67,3	15,24	16,84	15,57
62,03	13,29	14,8	13,68	67,3	15,25	16,89	15,64
62,03	13,45	14,86	13,73	67,55	15,43	17,04	15,73
62,53	13,47	14,92	13,8	67,81	15,49	17,13	15,81
62,78	13,51	15,03	13,95	68,31	15,51	17,19	15,93

Yogyakarta, 19 Juli 2021
 Kepala Lab Struktur

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 csk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 3			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
68,31	15,54	17,28	16
68,56	15,73	17,38	16,07
68,81	15,75	17,43	16,17
54,24	17,13	18,37	16,75
54,5	17,13	18,41	16,81
55	17,16	18,57	16,93
55,25	17,18	18,59	16,95
14,57	22	21,84	19,16
14,82	22,02	21,87	19,19
15,57	22,24	22,07	19,33

Yogyakarta, 19 Juli 2021
 Kepala Lab. Struktur

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA

(Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 4				Balok Variasi II - 4			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
0	0	0	0	22,6	1,58	1,73	1,89
1,26	0,04	0,07	0,11	24,86	1,63	1,76	1,97
1,51	0,07	0,15	0,2	26,37	1,7	1,81	2,01
1,51	0,08	0,19	0,21	27,12	1,78	1,9	2,08
2,51	0,16	0,24	0,3	28,63	1,81	1,96	2,14
3,52	0,29	0,36	0,45	29,63	1,89	2,02	2,22
4,02	0,35	0,46	0,52	16,83	3,06	2,94	2,77
4,77	0,41	0,54	0,65	16,83	3,09	2,96	2,79
6,28	0,54	0,67	0,77	17,58	3,14	3,01	2,9
7,03	0,59	0,76	0,95	18,08	3,25	3,09	2,94
7,53	0,7	0,89	1,01	18,83	3,33	3,22	3
7,79	0,72	0,94	1,02	20,59	3,55	3,34	3,12
8,79	0,8	1	1,17	21,09	3,67	3,48	3,21
10,05	0,9	1,05	1,23	21,85	3,78	3,52	3,28
10,3	0,95	1,14	1,25	22,6	3,87	3,67	3,35
10,55	1,01	1,18	1,29	23,1	3,95	3,7	3,41
11,3	1,03	1,21	1,32	24,11	4,08	3,78	3,46
12,56	1,1	1,25	1,42	24,61	4,18	3,9	3,52
13,56	1,18	1,28	1,45	24,61	4,25	3,95	3,56
14,06	1,23	1,34	1,48	25,62	4,35	4,03	3,68
15,07	1,29	1,38	1,52	26,12	4,45	4,09	3,72
16,83	1,33	1,44	1,56	26,37	4,51	4,15	3,75
18,33	1,39	1,48	1,69	27,12	4,59	4,24	3,78
19,59	1,49	1,54	1,74	28,13	4,72	4,33	3,88
20,84	1,54	1,68	1,79	28,38	4,8	4,4	3,93

Yogyakarta 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 4				Balok Variasi II - 4			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
29,88	5,02	4,51	4,07	30,89	7,53	7,41	6,91
30,14	5,07	4,6	4,12	31,89	7,71	7,5	7,02
30,89	5,13	4,73	4,19	32,4	7,79	7,66	7,11
30,64	5,18	4,75	4,21	32,65	7,86	7,71	7,18
30,89	5,27	4,8	4,25	33,65	8,01	7,82	7,25
22,85	5,66	5,48	5,01	33,9	8,09	7,97	7,41
23,36	5,72	5,5	5,11	34,15	8,18	8,04	7,47
23,86	5,76	5,57	5,2	34,91	8,26	8,1	7,55
24,11	5,78	5,61	5,23	35,16	8,33	8,21	7,67
24,61	5,86	5,74	5,31	35,66	8,45	8,28	7,74
24,86	5,94	5,81	5,4	35,91	8,54	8,42	7,82
25,87	6,04	5,89	5,51	36,66	8,62	8,5	7,95
26,62	6,1	5,97	5,65	36,92	8,75	8,61	8,03
28,13	6,23	6,17	5,76	37,42	8,82	8,71	8,16
28,63	6,32	6,24	5,9	37,67	8,9	8,81	8,25
29,63	6,39	6,35	6,01	37,92	9,02	8,9	8,31
30,14	6,53	6,47	6,11	38,67	9,13	9,03	8,47
30,89	6,56	6,51	6,22	38,67	9,22	9,09	8,55
31,14	6,59	6,6	6,24	39,43	9,28	9,19	8,63
31,64	6,75	6,71	6,37	39,93	9,42	9,31	8,79
32,14	6,93	6,89	6,49	39,93	9,51	9,41	8,92
32,4	7,05	6,97	6,59	40,93	9,6	9,53	9,02
30,89	7,22	7,1	6,7	41,19	9,77	9,68	9,16
29,63	7,33	7,25	6,78	41,94	9,86	9,76	9,26
30,39	7,48	7,38	6,87	41,94	9,9	9,84	9,3

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA
 JIJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

Balok Variasi II - 4				Balok Variasi II - 4			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)	Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
42,19	9,98	9,92	9,4	45,45	12,05	12,43	12,17
42,69	10,07	10,01	9,48	45,71	12,13	12,53	12,25
42,94	10,23	10,17	9,61	45,96	12,24	12,65	12,38
42,94	10,29	10,26	9,71	46,21	12,3	12,7	12,42
43,19	10,33	10,31	9,79	46,71	12,45	12,87	12,61
43,7	10,42	10,45	9,93	46,96	12,54	12,97	12,7
43,45	10,49	10,5	9,98	47,21	12,58	13,05	12,78
43,7	10,53	10,53	10,02	47,46	12,67	13,14	12,89
44,45	10,63	10,66	10,17	47,71	12,78	13,22	12,99
44,45	10,71	10,74	10,22	47,46	12,85	13,32	13,1
44,2	10,8	10,89	10,38	47,97	12,99	13,46	13,22
42,94	10,85	10,96	10,5	48,47	13,04	13,56	13,32
39,43	11,11	11,37	10,98	48,22	13,11	13,66	13,42
39,68	11,11	11,42	10,98	48,47	13,24	13,74	13,48
40,18	11,15	11,45	11,03	48,97	13,33	13,89	13,65
40,93	11,25	11,51	11,17	48,72	13,41	13,97	13,72
41,69	11,32	11,61	11,27	48,97	13,52	14,09	13,88
42,44	11,39	11,71	11,39	49,22	13,55	14,14	13,91
42,94	11,51	11,78	11,48	49,22	13,61	14,23	14
43,19	11,55	11,9	11,52	49,22	13,73	14,37	14,18
43,95	11,62	11,98	11,7	48,97	13,81	14,48	14,31
43,95	11,68	12,01	11,74	48,72	13,9	14,62	14,47
44,45	11,77	12,12	11,84	48,72	14,03	14,72	14,62
44,95	11,82	12,2	11,91	48,72	14,06	14,78	14,7
45,2	11,95	12,35	12,04	48,97	14,13	14,93	14,81

Yogyakarta, 19 Juli 2021

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA
 JJJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Kampus : Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta Telp (0274)898472 esk, 3250 email : lab,bkt@uii.ac.id

DATA UJI LENTUR BALOK

(BERDASARKAN SNI 03-4431-1997)

Pemohon : Yusnanda Luthfi Evin Ayumni (17511226) Dibuat Tanggal : 16 Januari 2021
 Instansi : Teknik Sipil/FTSP/UII Diuji Tanggal : 24 Februari 2021
 Pekerjaan : Mahasiswa
 Lokasi : Lab Struktur

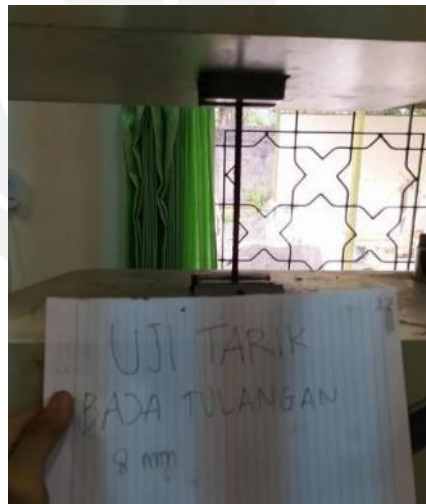
Balok Variasi II - 4			
Beban (kN)	LVDT Timur (mm)	LVDT Tengah (mm)	LVDT barat (mm)
49,47	14,27	15,05	15
4,27	16,52	19,15	20,28
8,04	16,54	19,2	20,39
8,29	16,64	19,27	20,53

Yogyakarta, 19 Juli 2021

Kepala Lab Struktur

LABORATORIUM STRUKTUR
 DAN MEKANIKA REKAYASA

JJURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 YOGYAKARTA (Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.)

Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian**GAMBAR 1 PERSIAPAN PENGUJIAN AGREGAT****GAMBAR 2 PENGUJIAN BAJA P8****GAMBAR 3 PENGUJIAN BAJA P12**



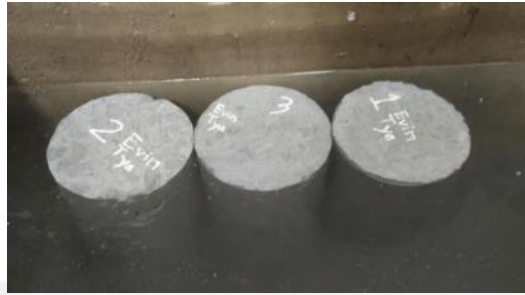
GAMBAR 4 PENGUJIAN CFRP



GAMBAR 5 PELAKSANAAN PENGADUKAN CAMPURAN BETON



GAMBAR 6 SILINDER *TRIAL MIX DESIGN*



GAMBAR 7 PERAWATAN SILINDER *TRIAL MIX DESIGN*



GAMBAR 8 PENGUJIAN DESAK SILINDER *TRIAL MIX DESIGN*



GAMBAR 9 PEMBUATAN CFRP



GAMBAR 10 PEMOTONGAN CFRP



GAMBAR 11 CFRP YANG SUDAH DIPOTONG



GAMBAR 12 PERAKITAN TULANGAN



GAMBAR 13 SAMPEL TULANGAN DENGAN CFRP



GAMBAR 14 PEMBUATAN BEKISTING BALOK



GAMBAR 15 BEKISTING YANG SUDAH TERPASANG TULANGAN



GAMBAR 16 AGREGAT YANG SUDAH DISIAPKAN



GAMBAR 17 PROSES PENCAMPURAN ADONAN BETON



GAMBAR 18 SAMPEL NILAI SLUMP CAMPURAN BETON



GAMBAR 19 PROSES PENCETAKAN BALOK BETON



GAMBAR 20 PROSES PENCETAKAN SILINDER KONTROL



GAMBAR 21 BALOK BETON SEBELUM MENGERSAS



GAMBAR 22 SILINDER KONTROL SEBELUM MENGERSAS



GAMBAR 23 PEMBUKAAN BEKISTING BALOK BETON DAN SILINDER KONTROL



GAMBAR 24 BALOK BETON DAN SILINDER KONTROL SETELAH DILEPAS DARI BEKISTING



GAMBAR 25 PERAWATAN BALOK BETON DAN SILINDER KONTROL



GAMBAR 26 PEMINDAHAN BALOK BETON



GAMBAR 27 PENIMBANGAN SILINDER KONTROL



GAMBAR 28 MARKING BALOK BETON



GAMBAR 29 *HAMMER TEST* SAMPEL BALOK



GAMBAR 30 *CAPPING* SILINDER KONTROL



GAMBAR 31 PENGUJIAN KUAT DESAK SILINDER KONTROL



GAMBAR 32 SAMPEL SILINDER KONTROL SETELAH PENGUJIAN



GAMBAR 33 PROSES *SETTING UP* ALAT PENGUJIAN



GAMBAR 34 PENGUJIAN BERAT BALOK BETON



GAMBAR 35 PROSES PENGUJIAN KUAT LENTUR BETON



GAMBAR 36 SAMPEL KERUSAKAN BALOK VARIASI I



GAMBAR 37 SAMPEL KERUSAKAN BALOK VARIASI II