

**PENGARUH VARIASI PANJANG SERAT KALENG TERHADAP  
MODULUS ELASTISITAS, KEKAKUAN, DAN DAKTILITAS BALOK  
BETON BERTULANG**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**RIZAL RAMA  
NIM. 155060101111053**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2019**

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN  
PENGARUH VARIASI PANJANG SERAT KALENG TERHADAP  
MODULUS ELASTISITAS, KEKAKUAN, DAN DAKTILITAS BALOK  
BETON BERTULANG

SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL


Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik




RIZAL RAMA  
NIM. 155060101111053

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 8 April 2019

Dosen Pembimbing I

  
Dr. Eng Indradi W, ST, M.Eng (Prac.)  
NIP. 19810220 200604 1 002

Dosen Pembimbing II

  
Ananda Insan Firdausy, ST, MT, M.Sc  
NIK. 201607 900504 1 001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

  
  
Dr. Eng Indradi W, ST, M.Eng (Prac.)  
NIP. 19810220 200604 1 002

## HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

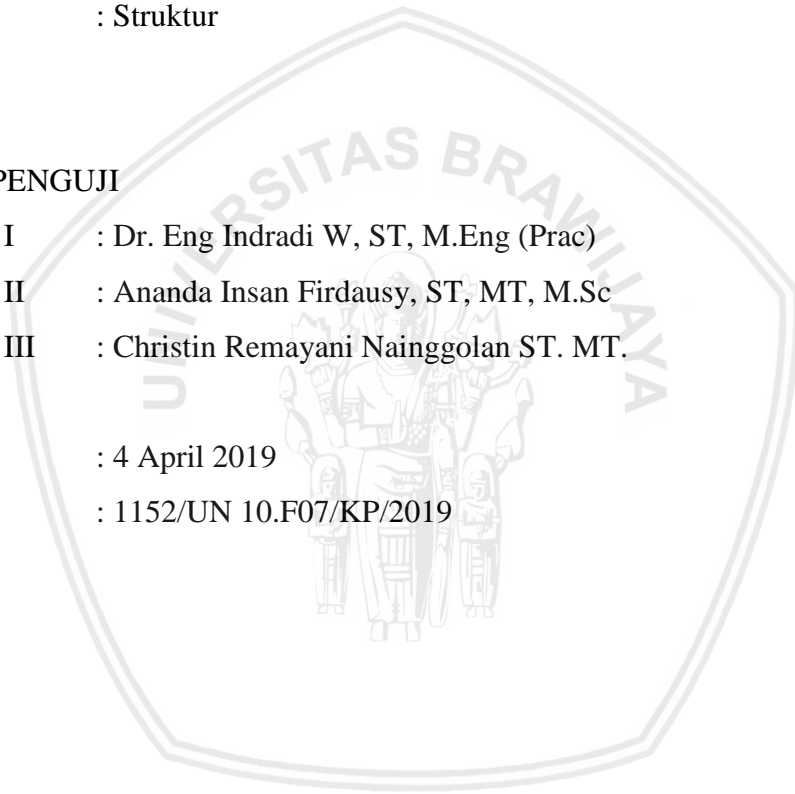
JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH VARIASI PANJANG SERAT KALENG TERHADAP MODULUS ELASTISITAS, KEKAKUAN, DAN DAKTILITAS BALOK BETON BERTULANG

Nama Mahasiswa : Rizal Rama  
NIM : 155060101111053  
Program Studi : Teknik Sipil  
Minat : Struktur

### TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Eng Indradi W, ST, M.Eng (Prac)  
Dosen Penguji II : Ananda Insan Firdausy, ST, MT, M.Sc  
Dosen Penguji III : Christin Remayani Nainggolan ST. MT.  
Tanggal Ujian : 4 April 2019  
SK Penguji : 1152/UN 10.F07/KP/2019



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 8 April 2019

Mahasiswa,



Rizal Rama

NIM. 155060101111053

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





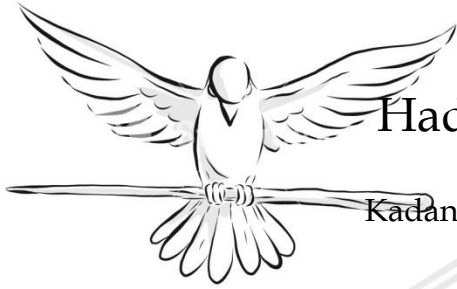
## RIWAYAT HIDUP

**Rizal Rama**, lahir di Kendari, 5 Juni 1997, putra keempat dari pasangan bapak Ritu Marthen P' dan ibu Martha Palleo Tonapa. Memulai pendidikan formal di SDN 14 Baruga Kendari (2003-2009), selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMPN 09 Kendari (2009-2012), dan SMAN 01 Kendari dengan mengambil jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (2012-2015). Kemudian melanjutkan perguruan tinggi di Universitas Brawijaya, Malang dengan mengambil jurusan Teknik Sipil untuk memperoleh gelar Sarjana S1 (2015-2019).

Selama mengenyam bangku pendidikan, penulis aktif dalam dunia organisasi. Dimulai pada bangku SMP sebagai Bendahara II OSIS (2010-2011), kemudian dibangku SMA sebagai Wakil Ketua Organisasi FILATELI Mandala (2013-2014), dan pada bangku kuliah sebagai anggota Divisi Kesejahteraan Mahasiswa, Departemen Infokasi dan Publikasi HMS FT-UB (2017-2018), dan Koordinator Aspirasi & Advokasi, DPA Teknik Sipil FT-UB (2018-2019). Selain itu, penulis juga pernah menjadi asisten Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi (2017-2018) dan asisten Tugas Besar Analisis Struktur II (2018). Selain itu, penulis juga ikut berpartisipasi dalam perlombaan - perlombaan, beberapa diantaranya lomba LKTI Tata Ruang yang diselenggarakan dinas PU Sulawesi Tenggara (2014) sebagai juara II, dan LKTI Dedikasi yang diselenggarakan Teknik Sipil FT-UH (2018) sebagai juara II.

Malang, April 2019

Penyusun



**Hadiah** tidak selalu terbangkus dengan **Indah**

Kadang **Tuhan** membungkusnya dengan masalah,

tapi didalamnya selalu ada **Berkat**



tidak ada kasih yang lebih besar  
daripada kasih seorang yang memberikan nyawanya  
untuk sahabat-sahabatnya.

Yohanes 15 : 13

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa karena atas berkat rahmat, hikmat serta karunia-Nya penulis berhasil menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Panjang Serat Kaleng Terhadap Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Daktilitas Pada Balok Beton Bertulang”** dengan baik dan lancar.

Penulisan skripsi ini diajukan guna memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, sekaligus sebagai bukti otentik sumbangsih ilmu pengetahuan yang dilakukan oleh penulis. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini, tidak terlepas dari peran orang – orang yang telah membimbing, membantu serta mendukung terselesaikannya skripsi ini. Untuk itu, penulis dengan penuh sukacita mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Indradi W., ST, M.Eng (Prac) selaku Dosen Pembimbing I.
2. Bapak Ananda Insan Firdausy, ST, MT, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II.
3. Ibu Christin Remayanti Nainggolan ST, MT selaku Dosen Penasihat Akademik.
4. Bapak Ritu Marthen P’ dan Ibu Martha Palleo Tonapa selaku orang tua penulis yang berada di Kota Kendari, yang tidak pernah berhenti mendoakan, mendukung dan menguatkan penulis selama masa perkuliahan.
5. Kakak tercinta Rista Riyani, Rina Oktavia dan Ardianto Rama selaku saudara yang senantiasa menjadi sahabat, teman dan keluarga penulis dikala suka dan duka.
6. Seluruh keluarga besar penulis yang terkasih, yang berada di pulau Sulawesi.
7. Teman – teman PPGT Malang, terkhusus angkatan’15 dan member kontrakan kuyken.
8. Teman – teman sipil angkatan 2015 yang menjadi saudara selama penulis berada dikota Malang.
9. Tim skripsi fiber (Muh. Nurul Ishaq, Annisa Widia K, Fiqi Rahmanty, Yufi Maghfira dan Habibatul Amiroh) atas bantuan dan kerja samanya dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
10. Parahita Tim (Gilbert Dwi dan Atika Praptawati) atas dukungannya.
11. Serta seluruh KBMS dan pihak – pihak lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu , yang telah memberikan dukungan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

repository.ub.ac.id

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesalahan dan kekeliruan yang tidak diketahui. Oleh sebab itu, penulis membuka diri untuk menerima saran dan kritikan yang membangun untuk penelitian lanjutan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, terkhusus dalam pengembangan ilmu pengetahuan seputar ketekniksipilan.

Malang, April 2019

Rizal Rama



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Beton .....	5
2.2 Beton Serat .....	5
2.2.1 Serat .....	6
2.2.2 Serat Kaleng .....	6
2.2.3 Sifat dan Karakteristik Beton Serat .....	6
2.2.4 Pemanfaatan Serat dalam Campuran Beton .....	7
2.3 Beton Bertulang .....	10
2.3.1 Analisis Kekuatan Beton Bertulang .....	11
2.4 Analisis Penampang Beton Bertulang .....	13
2.5 Jenis Keruntuhan Lentur dan Sistem Perencanaan .....	14
2.5.1 Jenis Keruntuhan Lentur .....	14
2.5.2 Sistem Perencanaan Beton Bertulang .....	15
2.6 Modulus Elastisitas .....	16
2.7 Kekakuan .....	17
2.8 Daktilitas .....	18





2.8.1	Hubungan Momen dan Kurvatur.....	19
2.8.2	Momen dan Kurvatur Balok Beton Bertulang .....	21
2.8.3	Daktilitas Perpindahan .....	23
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>25</b>
3.1	Rancangan Penelitian .....	25
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian .....	25
3.3	Alat dan Bahan Penelitian .....	25
3.4	Diagram Alir Penelitian .....	27
3.5	Prosedur Penelitian.....	28
3.5.1	Tahap Persiapan .....	28
3.5.2	Tahap Uji Tarik Tulangan Baja.....	29
3.5.3	Tahap Pembuatan Model Balok .....	29
3.5.4	Benda Uji dan Setting Up.....	30
3.6	Variabel Penelitian .....	33
3.7	Metode Analisis Data .....	34
3.7.1	Modulus Elastisitas Beton.....	34
3.7.2	Kekakuan Balok .....	34
3.7.3	Daktilitas Balok.....	35
3.8	Hipotesis Penelitian .....	36
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>37</b>
4.1	Serat Kaleng Minuman.....	37
4.1.1	Karakteristik Kaleng Kemasan.....	37
4.1.2	Kebutuhan Serat Kaleng.....	37
4.2	Hasil Pengujian Bahan Penyusun Balok .....	38
4.2.1	Perencanaan <i>Mix Design</i> Beton.....	38
4.2.2	Pengujian <i>Slump</i> Beton Segar .....	39
4.2.3	Pengujian Kuat Tekan Beton.....	40
4.2.4	Pengujian Kuat Tarik Tulangan .....	41
4.3	Analisis Perhitungan Beban Maksimum .....	41
4.3.1	Pemodelan Struktur .....	41

4.3.2	Beban Maksimum.....	42
4.4	Berat Balok dan Silinder Beton .....	47
4.5	Berat Volume Silinder Beton .....	47
4.6	Analisis Perhitungan Balok Beton Bertulang.....	48
4.6.1	Modulus Elastisitas.....	48
4.6.2	Kekakuan.....	55
4.6.3	Daktilitas.....	69
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>83</b>
5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran.....	84
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>85</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>87</b>



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu tentang Pemanfaatan Serat dalam Campuran Beton .....	7
Tabel 3.1	Form Data Hasil Pengujian untuk Modulus Elastisitas .....	34
Tabel 3.2	Form Data Hasil Pengujian Beban dengan Deformasi .....	35
Tabel 3.3	Form Data Hasil Pengujian Daktilitas .....	36
Tabel 4.1	Kebutuhan Berat Serat .....	37
Tabel 4.2	Perencanaan <i>Mix Design</i> Beton Normal (SNI 03-2834-2000) .....	38
Tabel 4.3	Perbandingan Campuran pada Perencanaan <i>Mix Design</i> Mutu K-250 .....	39
Tabel 4.4	Hasil Pengujian <i>Slump</i> Campuran Balok .....	39
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu K-250 (Silinder) .....	40
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan .....	41
Tabel 4.7	Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis .....	46
Tabel 4.8	Berat Silinder Beton .....	47
Tabel 4.9	Berat Volume Silinder Beton .....	47
Tabel 4.10	Modulus Elastisitas Beton secara Aktual berdasarkan SNI 2847-2013 .....	49
Tabel 4.11	Hubungan Tegangan – Regangan untuk Mencari $E_c$ .....	52
Tabel 4.12	Modulus Elastisitas Beton secara Aktual berdasarkan ASTM C469 .....	54
Tabel 4.13	Kekakuan Aktual Tinjau 1 ( <i>First Crack</i> ) .....	55
Tabel 4.14	Kekakuan Teoritis Tinjau 1 sesuai SNI 2847 – 2013 ( <i>First Crack</i> ) .....	58
Tabel 4.15	Kekakuan Teoritis Tinjau 1 sesuai ASTM C469 ( <i>First Crack</i> ) .....	61
Tabel 4.16	Kekakuan Aktual Tinjau 2 (saat beban 1000 kg) .....	62
Tabel 4.17	Kekakuan Teoritis Tinjau 2 sesuai SNI 2847 – 2013 (saat beban 1000 kg) ....	64
Tabel 4.18	Kekakuan Teoritis Tinjau 2 sesuai ASTM C469 (saat beban 1000 kg) .....	65
Tabel 4.19	Perbandingan Rerata Kekakuan Balok berdasarkan SNI 2847 – 2013 .....	66
Tabel 4.20	Perbandingan Rerata Kekakuan Balok berdasarkan ASTM C469 .....	67
Tabel 4.21	Momen – Kurvatur dari 3 Titik Tinjau berdasarkan SNI 2847 – 2013 .....	73
Tabel 4.22	Daktilitas Teoritis berdasarkan SNI 2847 – 2013 .....	74
Tabel 4.23	Momen – Kurvatur dari 3 Titik Tinjau berdasarkan ASTM C469 .....	78
Tabel 4.24	Daktilitas Teoritis berdasarkan ASTM C469 .....	79
Tabel 4.25	Daktilitas Aktual berdasarkan Grafik Hubungan $P - \Delta$ .....	80



(Halaman ini sengaja dikosongkan)





## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Grafik kuat tekan beton terhadap umur beton .....	5
Gambar 2.2	Hubungan tegangan – regangan beton .....	10
Gambar 2.3	Hubungan tegangan – regangan pada baja tulangan .....	10
Gambar 2.4	Tegangan penampang balok beton bertulang .....	11
Gambar 2.5	Distribusi tegangan – regangan pada balok tulangan rangkap .....	13
Gambar 2.6	Distribusi regangan <i>ultimate</i> pada keruntuhan lentur .....	15
Gambar 2.7	Perilaku defleksi akibat pembebanan .....	19
Gambar 2.8	Deformasi elemen struktur akibat pembebanan lentur .....	19
Gambar 2.9	Hubungan trilinear momen dengan kurvatur .....	20
Gambar 2.10	Kondisi lentur pada penampang balok beton ketika leleh awal dan <i>ultimate</i> .....	21
Gambar 2.11	Beberapa alternatif pengambilan defleksi pada titik leleh .....	23
Gambar 3.1	Variasi panjang serat kaleng .....	30
Gambar 3.2	Detail tampak samping penulangan balok .....	31
Gambar 3.3	Detail potongan balok .....	31
Gambar 3.4	Skema penempatan balok sebelum di uji .....	32
Gambar 3.5	Foto skema penempatan balok sebelum di uji .....	32
Gambar 3.6	<i>Setting up</i> alat penguji dan benda uji .....	33
Gambar 3.7	Foto <i>setting up</i> alat penguji dan benda uji .....	33
Gambar 3.8	Grafik hubungan antara beban (P) dan deformasi ( $\Delta$ ) .....	35
Gambar 3.9	Grafik hubungan antara momen dengan kurvatur .....	36
Gambar 4.1	Pemodelan pembebanan struktur balok beton bertulang .....	42
Gambar 4.2	Analisis penampang beton bertulang .....	44
Gambar 4.3	Grafik perbandingan beban maksimum teoritis dan aktual .....	46
Gambar 4.4	Grafik perbandingan modulus elastisitas beton aktual berdasarkan SNI 2847 - 2013 .....	49
Gambar 4.5	Grafik hubungan tegangan – regangan balok N2 (2) .....	52
Gambar 4.6	Grafik perbandingan modulus elastisitas beton aktual berdasarkan ASTM C469 .....	54
Gambar 4.7	Grafik kekakuan balok tinjau 1 secara aktual .....	56
Gambar 4.8	Grafik kekakuan balok tinjau 1 teoritis berdasarkan SNI 2847 – 2013 .....	59

Gambar 4.9	Grafik kekakuan balok tinjau 1 teoritis berdasarkan ASTM C469 .....	62
Gambar 4.10	Grafik kekakuan balok tinjau 2 secara aktual .....	63
Gambar 4.11	Grafik kekakuan balok tinjau 2 teoritis berdasarkan SNI 2847 – 2013 .....	64
Gambar 4.12	Grafik kekakuan balok tinjau 2 teoritis berdasarkan ASTM C469 .....	66
Gambar 4.13	Grafik kekakuan balok gabungan berdasarkan SNI 2847 – 2013 .....	66
Gambar 4.14	Grafik kekakuan balok gabungan berdasarkan ASTM C469.....	67
Gambar 4.15	Kondisi balok N2 (2) pengambilan titik tinjau 1 (saat retak pertama).....	68
Gambar 4.16	Kondisi balok N (2) pengambilan titik tinjau 2 (saat P1000, belum ada retak).....	68
Gambar 4.17	Analisis perhitungan daktilitas dengan teori elastis dan penampang transformasi (kondisi sebelum retak) .....	69
Gambar 4.18	Analisis perhitungan daktilitas dengan asumsi beton berperilaku elastis (kondisi setelah retak, saat leleh pertama) .....	69
Gambar 4.19	Analisis perhitungan daktilitas dengan asumsi tulangan tekan belum leleh, tulangan tarik sudah leleh (kondisi setelah retak, saat beban ultimat) .....	70
Gambar 4.20	Grafik hubungan momen – kurvatur rerata gabungan berdasarkan SNI 2847 – 2013 .....	74
Gambar 4.21	Grafik hubungan momen – kurvatur rerata gabungan berdasarkan ASTM C469 .....	78
Gambar 4.22	Grafik hubungan P - $\Delta$ yang telah dihaluskan.....	79
Gambar 4.23	Grafik hubungan P - $\Delta$ untuk menentukan lendutan saat <i>ultimate</i> dan <i>yield</i> .....	80
Gambar 4.24	Grafik daktilitas secara aktual berdasarkan P - $\Delta$ .....	81



**DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Analisa Gradasi Agregat .....	87
Lampiran 2	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	91
Lampiran 3	Kadar Air Agregat.....	92
Lampiran 4	Hasil Pengujian Balok Serat .....	93
Lampiran 5	Hasil Tegangan Regangan Balok.....	114
Lampiran 6	Analisis Daktilitas Aktual P- $\Delta$ .....	123
Lampiran 7	Dokumentasi Kegiatan Penelitian.....	130



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## RINGKASAN

**Rizal Rama**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2019, *Pengaruh Variasi Panjang Serat Kaleng Terhadap Modulus Elastisitas, Kekakuan, dan Daktilitas Balok Beton Bertulang*, Dosen Pembimbing : Indradi Wijatmiko dan Ananda Insan Firdausy.

Beton adalah komponen penting dalam penyusunan bangunan konstruksi yang memiliki kuat tekan tinggi, tetapi memiliki kuat tarik rendah, sebagai solusi, beton dikombinasikan dengan tulangan baja untuk menahan gaya tarik yang disebut balok beton bertulang. Namun, saat balok menerima beban melebihi kapasitas tulangan baja, balok dapat mengalami retak yang menyebabkan korosi pada tulangannya. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memperkuat struktur balok, salah satunya dengan penambahan serat dalam campuran balok. Penelitian ini menggunakan serat kaleng untuk meningkatkan kuat tarik balok, selain itu dapat mengurangi permasalahan sampah yang ada.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penambahan variasi panjang serat kaleng terhadap modulus elastisitas, kekakuan, dan daktilitas balok beton bertulang dengan dimensi (15x20x130) cm. Benda uji yang dibuat menggunakan mutu beton K-250 dengan tulangan utama D10 dan tulangan geser Ø8, serta menggunakan penambahan variasi panjang serat kaleng dengan dimensi (2x40) mm dan (2x80) mm masing – masing dengan fraksi 10% dari volume balok.

Jenis pengujian yang dilakukan diantaranya, pengujian kuat tekan silinder untuk mendapatkan mutu beton dan pengujian kuat tarik lentur balok beton bertulang pada tumpuan sendi-rol dengan jarak 1m dan menggunakan LVDT untuk mendapatkan beban maksimum dan lendutan aktual pada benda uji.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modulus elastisitas terbesar terjadi pada penambahan serat 8 cm dengan cara ASTM C469-02 sebesar 21968,106 MPa (naik 38,9% dari balok normal). Kekakuan terbesar dari titik tinjau 1 (*first crack*) terjadi pada penambahan serat 8 cm sebesar 518,684 kg/mm (naik 17,1% dari balok normal), kekakuan terbesar dari titik tinjau 2 (P=1000kg) terjadi pada penambahan serat 8 cm sebesar 496,946 kg/mm (naik 13,6% dari balok normal). Daktilitas terbesar terjadi pada penambahan serat 8 cm dengan cara daktilitas perpindahan sebesar 1,936 (naik 7,1% dari balok normal).

Kata kunci: balok beton bertulang, serat kaleng, modulus elastisitas, kekakuan, daktilitas.



## SUMMARY

**Rizal Rama**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, March 2019, *The Effect of Variety Can Fiber Length on Modulus of Elasticity, Stiffness, and Ductility of Reinforced Concrete Beam*, Academic Supervisor: Indradi Wijadmiko dan Ananda Insan Firdausy.

Concrete is an important component in building construction that has a high compressive strength, but has a low tensile strength, so its combined with the rebar to resist tensile strength. These combination are called reinforced concrete beam. However, when the beam receive a load beyond its capacity, the beam crack and potentially cause corrosion to the rebar. Many researches have been developed to strengthen reinforced concrete beams, one of which is by adding fiber in a mixture of beams. This researches uses cans fiber to increase the tensile strength of beam, besides that, it can reduce the existing waste problems.

This research aims to determine the effect of adding variety can fiber length on the modulus of elasticity, stiffness, and ductility of reinforced concrete beams (15x20x130 cm). The specimens were K-250 concretes with the longitudinal rebar is D10 and the stirrup rebar is Ø8, also using additional variations in can fiber length (2x40 mm and 2x80 mm) with a fraction 10% of the beam volume.

The test are cylinder compressive strength to obtain concrete quality and the flexural tensile strength testing of reinforced concrete beams on pedestal joints with a distance of 1m and using LVDT to obtain the maximum load and actual deflection on the test object.

The test result shows that the biggest modulus of elasticity occurs in the addition of 8 cm of fiber length by the ASTM C469-02 method is 21968,106 MPa (up by 38.9% of the normal beam). The biggest stiffness of the first point (first crack) occurred in the addition of 8 cm of fiber length is 518,684 kg / mm (up 17.1% of the normal beam), the biggest stiffness of the second point ( $P=1000\text{kg}$ ) occurred in the addition of 8 cm of fiber length is 496,946 kg / mm (up 13.6% of normal beam). The biggest ductility occurred in the addition of 8 cm of fiber length by displacement ductility method is 1.936 (up 7.1% from normal beams).

**Keywords:** reinforced concrete beam, cans fiber, modulus of elasticity, stiffness, ductility.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan suatu daerah dapat dilihat dari pengembangan infrastruktur sebagai salah satu indikatornya. Perkembangan infrastruktur yang pesat dapat menjadi pondasi utama terjadinya pertumbuhan ekonomi pada suatu daerah. Indonesia sendiri sebagai Negara berkembang telah banyak mengalami kemajuan dalam bidang infrastruktur, utamanya dalam penggunaan material yang seringkali memanfaatkan beton sebagai komponen penyusun bangunan konstruksi. Selain karena harga beton yang relatif terjangkau, pengerjaannya juga cukup mudah dan dapat diproduksi dalam jumlah yang banyak dengan waktu yang cukup singkat. Hal ini menjadikan penggunaan beton lebih menguntungkan dibandingkan material lainnya.

Adapun pengertian beton berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal tiga menyebutkan bahwa, beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Disamping itu, seperti substansi – substansi sejenis batuan lainnya, nilai kuat tekan beton lebih besar dibandingkan nilai kuat tariknya. Nilai kuat tariknya berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya (Dipohusodo,1993). Akibatnya, saat beton menerima gaya tarik maka akan terjadi retak pada bagian yang terkena gaya tersebut bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan seketika terhadap bangunan tersebut. Untuk menyasati kondisi tersebut maka digunakan tulangan baja yang memiliki nilai kuat tarik yang cukup tinggi. Kombinasi tersebut dinamakan beton bertulang dan sampai saat ini menjadi komponen struktural pada bangunan konstruksi yang sangat penting.

Balok sebagai elemen struktural memiliki fungsi utama sebagai pemikul beban lateral. Selain itu, beban – beban yang bekerja pada balok, akan menghasilkan reaksi pada tumpuan, gaya geser dan momen lentur sehingga menyebabkan terjadinya tarikan maupun tekanan pada struktur tersebut dan juga menimbulkan lendutan. Berbagai penelitian telah dikembangkan sebagai solusi permasalahan tersebut, diantaranya dengan menambahkan zat aditif, menambahkan serat (*fiber*), maupun tambahan lainnya pada campuran beton. Sehingga melalui inovasi – inovasi tersebut diharapkan mampu mengatasi kerusakan yang

dapat terjadi pada struktur balok akibat adanya pembebanan ataupun kondisi lainnya yang mungkin terjadi.

Sebagai salah satu solusi, penambahan serat (*fiber*) ini berfungsi untuk menaikkan nilai kuat tarik pada balok. Adapun bahan – bahan serat yang dapat digunakan antara lain baja (*steel*), plastik (*polypropylene*), kaca (*glass*), dan karbon (*ACI*, 1982). Berdasarkan penelitian sebelumnya, didapatkan hasil bahwa; penambahan serat kaleng dapat meningkatkan kuat tekan beton<sup>[1]</sup>, bentuk pilin dan jumlah pilin dari serat kaleng kurang berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton<sup>[2]</sup>, penambahan serat kaleng dengan bentuk pilin dan jumlah pilin memberikan peningkatan yang cukup besar terhadap nilai modulus elastisitas beton<sup>[3]</sup>, (Prakasa, 2018) dan penelitian lainnya; penambahan serat kawat pada balok bertulang dapat mempengaruhi kekuatan balok<sup>[1]</sup>, penambahan serat kawat pada balok beton bertulang mempengaruhi lendutan balok<sup>[2]</sup>, (Sihotang, 2017). Pada penelitian ini, akan dibahas lebih lanjut mengenai penambahan serat kaleng sebagai material tambahan pada pembuatan balok beton bertulang dengan menggunakan variasi panjang serat kaleng yang berbeda.

Disamping itu, permasalahan sampah yang cukup besar, menjadikan pemanfaatan kaleng sebagai serat dapat menjadi solusi untuk mengurangi sampah, selain itu diharapkan dengan penambahan serat kaleng tersebut mampu menaikkan nilai kuat tarik balok lebih khusus, bila ditinjau dari segi modulus elastisitas, kekakuan dan daktilitasnya (*service ability*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Dengan adanya serat kaleng pada elemen balok, diharapkan dapat mempengaruhi perilaku elemen balok tersebut, utamanya akibat perbedaan variasi panjang serat yang akan digunakan. Untuk mengetahui hal tersebut, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil dari modulus elastisitas beton dengan adanya penambahan variasi panjang serat kaleng?
2. Bagaimana hasil dari kekakuan balok beton bertulang dengan adanya penambahan variasi panjang serat kaleng?
3. Bagaimana hasil dari daktilitas balok beton bertulang dengan adanya penambahan variasi panjang serat kaleng?

### 1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Pengaruh lingkungan luar diabaikan.
2. Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe I (merek gresik).
3. Banyaknya fraksi serat kaleng yang digunakan adalah 10% dari volume balok beton.
4. Variasi ukuran serat kaleng yang digunakan adalah 40 x 2 mm dan 80 x 2 mm dengan ketebalan berkisar antara 0,1 – 0,9 mm.
5. Jenis kaleng yang digunakan adalah kaleng minuman ringan (dominan larutan cap kaki tiga).
6. Mutu rencana yang digunakan adalah K-250 atau setara  $f'c$  20,75 MPa.
7. Agregat kasar berupa kerikil.
8. Agregat halus berupa pasir.
9. Balok menggunakan dimensi 15 x 20 cm dengan panjang 130 cm.
10. Jarak antar tumpuan pada saat pengujian adalah 100 cm (15 cm dari tepi luar kiri dan kanan).
11. Tulangan utama balok beton yang digunakan adalah D10.
12. Tulangan geser balok beton yang digunakan adalah  $\emptyset 8$ .
13. Tebal selimut beton digunakan adalah 4 cm.
14. Pengujian dilakukan pada saat beton bertulang dengan penambahan serat kaleng telah berumur 28 hari atau lebih.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang diharapkan setelah melaksanakan penelitian diantaranya :

1. Menganalisis pengaruh serat kaleng dengan variasi panjang terhadap modulus elastisitas beton.
2. Menganalisis pengaruh serat kaleng dengan variasi panjang terhadap kekakuan balok beton bertulang.
3. Menganalisis pengaruh serat kaleng dengan variasi panjang terhadap daktilitas balok beton bertulang.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan sumbangsih ilmu pengetahuan dan wawasan ketekniksipilan, terkhusus pada inovasi penambahan serat (*fiber*) kaleng, sebagai bahan pembelajaran serta penelitian lanjut bagi mahasiswa maupun penelitian lainnya untuk dikembangkan. Penelitian ini membahas tentang pengaruh penambahan serat (*fiber*) kaleng dengan variasi panjang 4 cm dan 8 cm terhadap modulus elastisitas, kekakuan dan daktilitas pada balok bertulang.



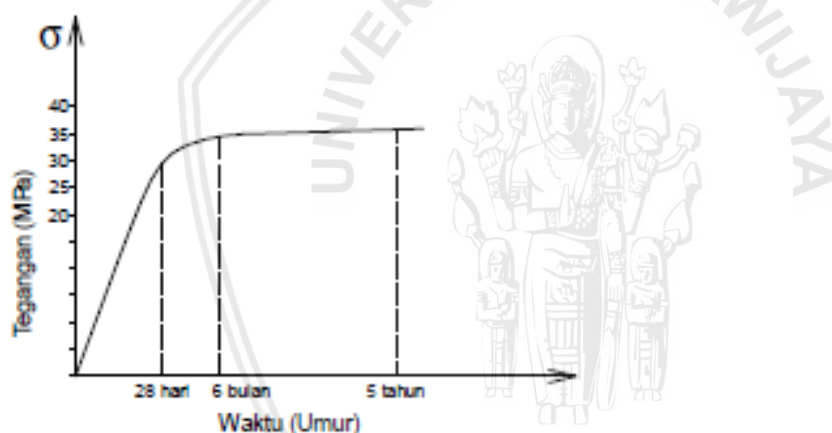


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton

Beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan atau *admixture* (SNI 2847 – 2013). Kekuatan beton dalam berbagai variasi sifat dapat diperoleh dengan mengatur perbandingan material pembentuknya. Besarnya nilai kuat tekan beton bergantung pula pada umurnya, biasanya kuat tekannya ditentukan pada saat usia beton mencapai 28 hari setelah pengecoran dilakukan. Kuat tekan beton pada umumnya mencapai 70% pada umur 7 hari, 85 – 90% pada umur 14 hari dari kuat tekan beton pada umur 28 hari.



Gambar 2.1 Diagram kuat tekan beton terhadap umur beton

Sumber : Wisnumurti, Hidayat dan Bramanto (2008)

#### 2.2 Beton Serat

Beton serat (*fiber*) merupakan bahan yang diperoleh dari hasil pencampuran antara beton dengan serat dari logam atau non logam secara merata (Suseno, 2010). Penambahan serat ini bertujuan untuk memperbaiki kelemahan dari beton yaitu kuat tarik yang rendah meskipun kuat tekannya tinggi. Selain menaikkan kuat tarik beton, penambahan serat juga dapat meningkatkan ketahanan lentur, daktilitas, ketahanan leleh dan susut beton tersebut. Sedangkan menurut *ACI Committee 544* (1982) beton serat didefinisikan sebagai bahan beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah serat (*fiber*).

### 2.2.1 Serat

Serat merupakan potongan – potongan komponen dari suatu bahan yang dapat membuat suatu jaringan memanjang yang utuh. Berdasarkan sumbernya, serat dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu serat alami dan serat sintetis/buatan manusia. Menurut *ACI Committee* bahan untuk serat dapat terbuat dari baja, plastik, kaca, karbon serat dari bahan alami seperti ijuk, rami maupun serat dari tumbuhan lain. Disisi lain, penambahan serat kaleng pada campuran beton dapat menurunkan nilai *slump* adukan beton. Nilai *slump* beton yang memenuhi persyaratan adalah adukan dengan volume fraksi 0,15% dan 0,3% yaitu masing – masing 5 cm dan 3,5 cm. Lebih lanjut nilai *slump* terkecil terjadi pada penambahan fraksi 0,75% dan 0,9% (Rustandi.2013).

### 2.2.2 Serat Kaleng

Serat kaleng dapat diperoleh dari kaleng bekas minuman ringan sejenis larutan penyegar cap kaki tiga dan sebgainya. Kaleng, berdasarkan pengamatan memiliki ketebalan rata – rata hampir sama yaitu 0,2 mm. Untuk pengambilan sampel kaleng, harus dipilih kaleng dengan kondisi yang bagus dan tidak berkarat serta bukan merupakan kaleng bekas oli karena dapat menurunkan daya lekat serat dengan pasta. Apabila lembaran – lembaran kaleng bekas dibentuk menjadi helaian kecil yang menyerupai serat, maka dapat dimanfaatkan sebagai campuran beton yang dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitasnya (Karima dalam Rustandi, 2013). Selain itu, dari penelitian tersebut dilihat dari model kehancuran beton, beton normal mengalami pecah secara tiba – tiba setelah diberikan pembebanan, sedangkan beton dengan penambahan serat kaleng (aluminium) tidak langsung hancur, melainkan terjadi retakan terlebih dahulu dan kondisinya masih terlihat menyatu. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa penambahan serat kaleng selain mampu meningkatkan kuat tekan beton, juga meningkatkan daktilitasnya. Hasil pengujian tarik belah juga membuktikan bahwa terjadi peningkatan nilai kuat tarik belah sebesar 49,69% pada volume fraksi 0,6%.

### 2.2.3 Sifat dan Karakteristik Beton Serat

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Soroushian dan Bayashi (dalam Prakoso, 2016) menyebutkan bahwa beton serat memiliki kelebihan dibandingkan beton normal dalam beberapa sifat strukturnya antara lain keliatan (*ductility*), ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*), kuat tarik dan lentur (*tensile and flexural strength*), kelelahan (*fatigue life*), ketahanan terhadap susut (*shrinkage*) serta ketahanan terhadap keausan (*abrasion*). Dalam penelitian lainnya (Wariyatno dan Yanuar, 2013) menyebutkan

bahwa beberapa hal yang dapat mempengaruhi penambahan serat kedalam adukan campuran beton adalah :

1. Jenis serat, penentuan jenis serat bergantung pada tujuan penambahan serat kedalam campuran beton. Pada dasarnya, semua jenis serat dapat memperkuat dan memperbaiki sifat mekanik beton baik serat alami maupun yang buatan. Akan tetapi, perlu diperhatikan bahwa serat yang baik merupakan serat yang memiliki kuat tarik lebih baik daripada beton dan tahan terhadap alkali.
2. Aspek rasio serat, merupakan perbandingan antara panjang serat dengan diameter serat. Aspek rasio sangat berpengaruh terhadap kemampuan pengerjaan (*workability*) pada pencampuran beton tersebut. Penambahan serat sebanyak 0,75% sampai dengan 1,0% dari volume beton dengan menggunakan aspek rasio sekitar 70 akan memberikan hasil yang optimal (Warianto dan Yanuar dalam Suhendro, 2010)
3. Persentase serat, merupakan banyaknya serat yang ditambahkan kedalam campuran beton. Persentase serat yang terlalu banyak dapat menyebabkan penggumpalan (*balling effect*) yang dapat menghambat penyebaran secara merata pada beton. Akibatnya, kondisi tersebut dapat menurunkan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) pada beton.

#### 2.2.4 Pemanfaatan Serat dalam Campuran Beton

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menggunakan serat sebagai bahan dalam campuran beton antara lain :

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu tentang Pemanfaatan Serat dalam Campuran Beton

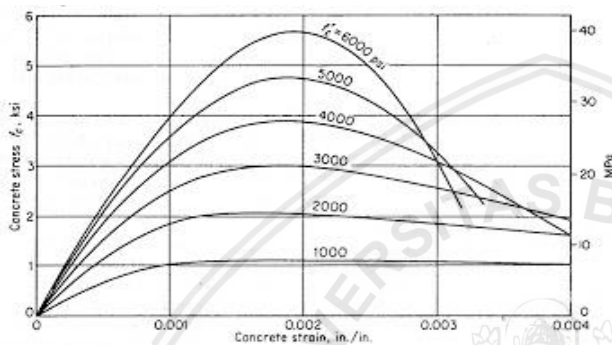
No.	Peneliti	Jenis Serat	Kesimpulan
1.	Bayasi dan Seng (1993)	Serat <i>Polypropelene</i>	Presentase volume serat < 0,5% tidak mempengaruhi <i>workability</i> , sedangkan apabila volume serat > 0,5% mempengaruhi <i>workability</i> .
2.	Suhendro (1997)	Serat Baja Kawat	Balok beton <i>fiber</i> memiliki kuat lentur dan retak meningkat 20% dibanding <i>non-fiber</i> baik sebelum atau sesudah pembebanan.

No.	Peneliti	Jenis Serat	Kesimpulan
3.	Haryanto Yoso Wigroho dan Recky Suhartono Godiman (2006)	Serat kawat kasa anyam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kawat berdiameter 0,5 mm, panjang kawat 30 mm, dan panjang kait (<i>interlocking</i>) 10 mm, serta volume fraksi 0,5% dan 0,7% memiliki nilai kuat tekan beton serat rata-rata pada pengujian beton 28 hari terjadi peningkatan jika dibandingkan dengan beton normal.</li> <li>• Kuat tekan beton normal adalah 27,93 MPa, beton serat sebesar 28,94 MPa (Variasi fraksi = 0,5%) dan 30,34 MPa (Variasi fraksi = 0,75%).</li> </ul>
4.	Ananta Ariatama (2007)	Serat Kawat Berkait	Kuat tekan meningkat 14,67% dan kuat lentur meningkat 48,06%
5.	Slamet Widodo (2013)	Campuran serat <i>polypropylene</i> dan serat baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume fraksi optimum terhadap kuat tekan sebesar 1% dari pemilihan fraksi 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%.</li> <li>• Volume fraksi optimum terhadap kuat tarik belah sebesar 1,5% dari pemilihan fraksi 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%.</li> <li>• Volume fraksi optimum terhadap modulus elastisitas sebesar 0,5% dari pemilihan fraksi 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%.</li> </ul>

No.	Peneliti	Jenis Serat	Kesimpulan
6.	Alodia Vannia Sihotang (2017)	Serat kawat <i>interlocking</i> lapis PVC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kekuatan lentur kawat <i>interlocking</i> 0,6 cm menghasilkan nilai <math>P_{maks}</math> yang lebih besar dibandingkan dengan variasi <i>interlocking</i> 1,2 cm dan 1,8 cm.</li> <li>• Balok dengan <i>interlocking</i> 1,8 cm menghasilkan lendutan yang lebih kecil dibandingkan <i>interlocking</i> 0,6 cm dan <i>interlocking</i> 1,2 cm.</li> </ul>
7.	Andhika Vikriansyah (2018)	Serat kaleng	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraksi serat kaleng sebesar 15% menghasilkan nilai kuat tekan maksimum yaitu sebesar 18,23 MPa dibandingkan dengan beton normal tanpa serat, kuat tekan beton meningkat 75,3% (<math>f'_c</math> beton normal = 10,4 MPa).</li> <li>• Fraksi serat kaleng sebesar 10% menghasilkan nilai kuat tarik belah yang maksimum yaitu sebesar 2,003 MPa. Kuat tarik beton normal sebesar 1,631 MPa.</li> <li>• Modulus elastisitas mengalami penurunan 4,3%. Modulus elastisitas rata-rata sebesar 32913,67 MPa dan modulus elastisitas beton normal <i>pumice</i> sebesar 34353,078 MPa.</li> </ul>
8.	Dhia Karima (2018)	Serat kaleng	Kuat tekan, tarik belah dan modulus elastisitas mengalami peningkatas maksimum saat komposisi serat kaleng yang di tambahkan kedalam campuran beton 10% dari volume campuran beton normal.

### 2.3 Beton Bertulang

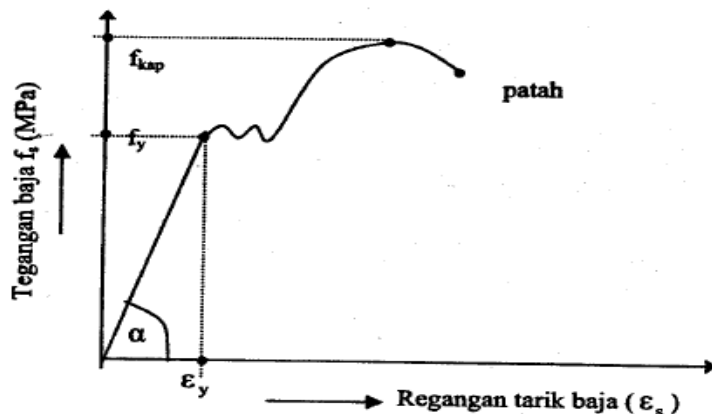
Beton bertulang merupakan beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama – sama dalam menahan gaya yang bekerja (SNI 03-2847-2002). Beton kuat terhadap tekan, tetapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban – beban yang bekerja pada beton. Adanya tulangan ini sering kali digunakan untuk memperkuat daerah tekan pada penampang balok (Nawy, 1990).



Gambar 2.2 Hubungan tegangan – regangan beton

Sumber : McCormac Brown (2014)

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara tegangan – regangan beton. Regangan pada tegangan maksimum menunjukkan angka 0,002. Regangan terus mengalami peningkatan setelah tegangan mencapai angka maksimum. Kurva menunjukkan beton terputus ketika regangan telah melewati angka 0,003 sampai 0,004, selanjutnya hal tersebut dapat menjadi asumsi untuk mempermudah perhitungan bahwa beton akan runtuh pada saat regangan 0,003 (ACI 10.2.3).



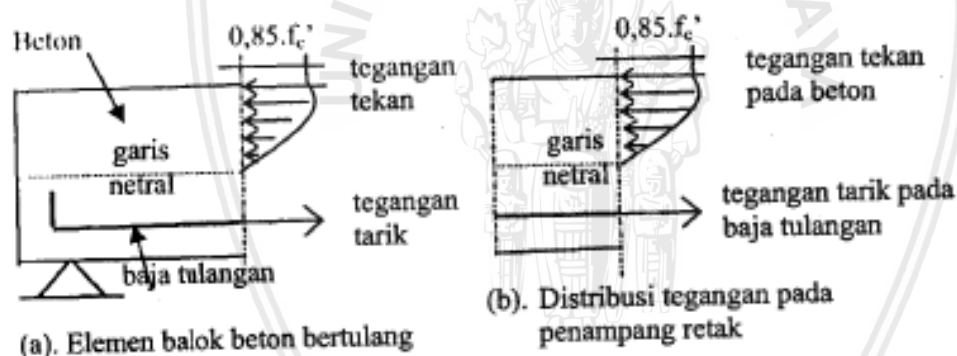
Gambar 2.3 Hubungan tegangan – regangan pada baja tulangan

Sumber: Asroni (2010)



Grafik hubungan tegangan – regangan baja didapatkan hasil modulus elastisitas dari tangen sudut yang terbentuk antara kurva pada tegangan ketika regangan sama dengan nol hingga keadaan tegangan leleh dan garis regangan. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 10.5.2 menyebutkan bahwa modulus elastisitas untuk tulangan non – pratekan ( $E_s$ ) boleh diambil sebesar 200.000 MPa.

Apabila kedua material tersebut dikombinasikan (beton dan tulangan baja), maka akan saling melengkapi. Seperti diketahui bahwa sifat beton kuat menahan gaya tekan tetapi lemah terhadap gaya tarik. Akibatnya, beton akan mengalami retakan akibat gaya tarik apabila beban yang dipikul melebihi kuat tarik beton itu sendiri. Dalam kasus tersebut, sifat tulangan baja yang kuat terhadap gaya tarik dapat dikombinasikan sebagai solusi. Dari fungsi tersebut, maka beton bertulang memiliki sifat yang kuat terhadap beban yang dihasilkan oleh gaya tarik maupun tekan. Saat pembebanan terjadi, serat bawah beton yang menahan tarik akan ditahan oleh tulangan baja, sedangkan serat atas beton yang menahan gaya tekan, tetap ditahan oleh beton itu sendiri.



Gambar 2.4 Tegangan penampang balok beton bertulang

Sumber: Asroni (2010)

### 2.3.1 Analisis Kekuatan Beton Bertulang

Untuk menghitung struktur beton bertulang, terdapat beberapa istilah yang dapat digunakan untuk menyatakan kekuatan suatu penampang berdasarkan SNI 03-2847-2002, diantaranya :

1. Kuat Nominal ( $R_n$ ), dapat diartikan sebagai kekuatan suatu komponen struktur penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang sesuai (pasal 3.28). Sedangkan untuk nilainya bergantung pada ; dimensi penampang,



jumlah dan letak tulangan, letak tulangan dan mutu beton serta baja tulangannya. Kuat nominal biasanya dinotasikan dengan simbol  $M_n$ ,  $V_n$ ,  $T_n$  dan  $P_n$  dengan *subscript* n menunjukkan bahwa:

$M$  = Momen

$V$  = Gaya Geser

$T$  = Torsi (momen puntir)

$P$  = Gaya Aksial (diperoleh dari beban nominal suatu struktur)

2. Kuat Perlu ( $R_u$ ), merupakan kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam kombinasi beban U (pasal 3.29). Kuat rencana biasanya dinotasikan dengan simbol  $M_u$ ,  $V_u$ ,  $T_u$  dan  $P_u$  dengan *subscript* n menunjukkan bahwa:

$M$  = Momen

$V$  = Gaya Geser

$T$  = Torsi (momen puntir)

$P$  = Gaya Aksial (diperoleh dari beban rencana yang boleh bekerja diluar struktur)

3. Kuat Rencana ( $R_r$ ), merupakan kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperoleh dari hasil perkalian antara kuat nominal ( $R_n$ ) dan factor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) (pasal 3.30). Kuat rencana biasanya dinotasikan dengan simbol  $M_r$ ,  $V_r$ ,  $T_r$  dan  $P_r$  dengan *subscript* n menunjukkan bahwa:

$M$  = Momen

$V$  = Gaya Geser

$T$  = Torsi (momen puntir)

$P$  = Gaya Aksial (diperoleh dari beban rencana yang boleh bekerja pada struktur)

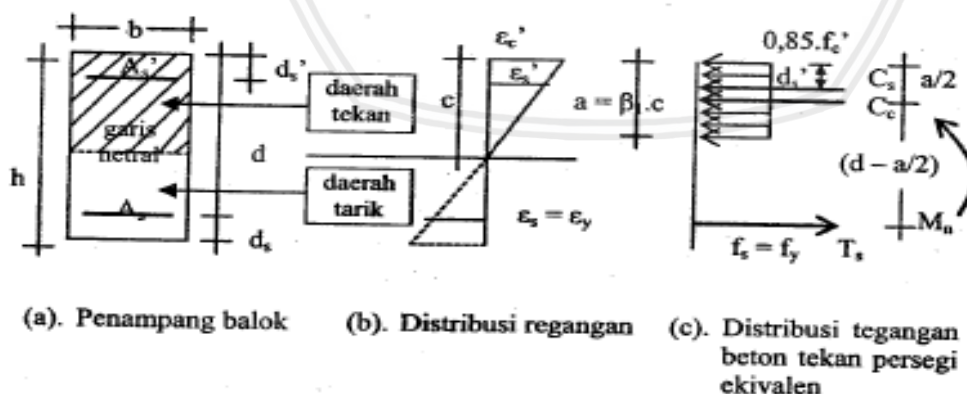
Pada dasarnya, kuat rencana ( $R_r$ ), merupakan kekuatan gaya dalam (berada di dalam struktur), sedangkan kuat perlu ( $R_u$ ) merupakan kekuatan gaya luar (di luar struktur) yang bekerja pada struktur, maka agar perencanaan struktur dapat dijamin keamanannya harus dipenuhi syarat  $\phi$  **Kuat rencana ( $R_r$ ) > kuat perlu ( $R_u$ ).**

## 2.4 Analisis Penampang Beton Bertulang

Terdapat beberapa sumsi mengenai analisis penampang beton bertulang, diantaranya:

1. Penampang akan tetap rata setelah deformasi terjadi ataupun perubahan bentuk hingga beton mengalami kehancuran akan tetap tegak lurus pada sumbu konstruksi (asas Bernouli).
2. Regangan terhadap penampang dianggap berbanding lurus dengan jaraknya ke garis netral (asas Nevier).
3. Tegangan tekan beton tidak sebanding dengan regangannya pada keadaan batas. Bentuk dari tegangan tekan balok beton berupa garis lengkung dimulai dari garis netral, berakhir pada serat tepi penampang yang tertekan. Tegangan tekan maksimum sebagai kekuatan tekan lentur beton pada dasarnya tidak terjadi pada serat tepi.
4. Ikatan beton dengan tulangan dianggap tetap sampai pada saat kehancuran. Regangan yang terjadi pada beton nilainya akan sama dengan regangan yang terjadi pada tulangan baja ( $\epsilon_c = \epsilon_s$ ).
5. besarnya nilai regangan beton ( $\epsilon'_c$ ) diambil sebesar 0,003.

Berikut gambar yang menunjukkan hubungan tegangan dan regangan yang terjadi pada balok dengan tulangan rangkap.



Gambar 2.5 Distribusi tegangan – regangan pada balok tulangan rangkap.

Sumber: Asroni (2010)

Dengan notasi simbol pada gambar adalah sebagai berikut:

$b$ = lebar penampang balok	$c$ = jarak garis netral dari tepi serat beton tekan
$h$ = tinggi penampang balok	
$d'$ = tinggi selimut balok	$a$ = tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen = $\beta \cdot c$
$d$ = tinggi efektif penampang balok ( $h - d'$ )	$C_c$ = gaya tekan beton
$A_s$ = luas tulangan tarik	$C_s$ = gaya tekan tulangan baja
$A_s'$ = luas tulangan tekan	$T_s$ = gaya tarik tulangan baja

## 2.5 Jenis Keruntuhan Lentur dan Sistem Perencanaan

### 2.5.1 Jenis Keruntuhan Lentur

Pada balok lentur, terdapat beberapa jenis keruntuhan yang diakibatkan oleh sifat – sifat penampang, diantaranya:

#### 1. Keruntuhan Tekan (*Brittle Failure*)

Keruntuhan jenis ini terjadi apabila tulangan tarik pada kondisi belum leleh ( $f_s < f_y$ ) sedangkan serat atas balok beton yang tertekan sudah mengalami kehancuran ( $\epsilon'_c = 0,003$ ). Kondisi ini juga dinamakan *over reinforced*, merupakan jenis keruntuhan pada balok yang memiliki rasio tulangan yang besar. Pada saat beban terus dinaikkan, balok tidak akan mengalami lendut meskipun telah mengalami kelebihan tegangan tek, akibatnya keruntuhan akan terjadi secara tiba – tiba. Kondisi seperti ini tidak diperbolehkan dalam perencanaan karena berbahaya bagi kelangsungan hidup manusia.

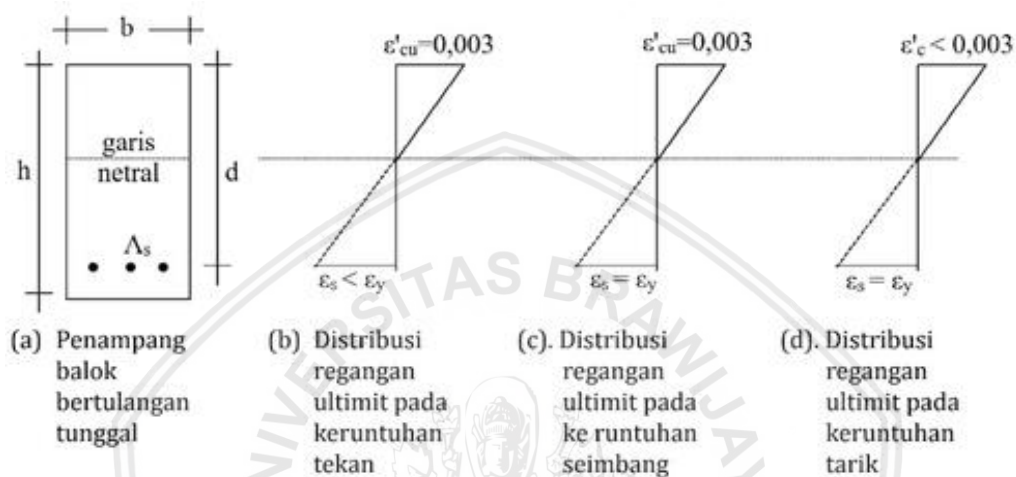
#### 2. Keruntuhan Seimbang (*Balanced Failure*)

Keruntuhan jenis ini terjadi apabila tulangan mencapai tegangan leleh ( $f_s = f_y$ ) bersamaan dengan serat atas balok beton yang hancur akibat tekan ( $\epsilon'_c = 0,003$ ). Kondisi ini juga dinamakan *balanced failure*, dimana keruntuhan terjadi bersamaan saat kondisi beton hancur dan baja tulangan mencapai kondisi leleh.

#### 3. Keruntuhan Tarik (*Ductile Failure*)

Keruntuhan jenis ini terjadi apabila tulangan mencapai kondisi leleh ( $f_s > f_y$ ) tetapi serat atas balok beton yang mengalami tekan belum hancur. Kondisi ini juga dinamakan *under reinforced*, yaitu jenis keruntuhan yang terjadi pada balok dengan

rasio tulangan yang kecil. Ketika beban *ultimate*, hampir tercapai, baja tulangan akan meleleh walaupun tegangan tekan pada beton masih belum mencapai tegangan *ultimate*-nya. Apabila beban diperbesar, maka tulangan baja akan memanjang sehingga mengakibatkan lendutan dan rerakan pada serat bawah beton. Kondisi seperti ini yang perlu digunakan dalam perencanaan karena dapat memberitahu bahwa beban harus dikurangi, jika tidak struktur akan mengalami kerusakan dan hancur.



Gambar 2.6 Distribusi regangan *ultimate* pada keruntuhan lentur

Sumber: Asroni (2010)

### 2.5.2 Sistem Perencanaan Beton Bertulang

Untuk perencanaan beton bertulang pada penampang beton sangat dihindari terjadinya keruntuhan tekan karena system tersebut bersifat getas dan dapat mengakibatkan runtuhnya bangunan secara tiba – tiba. System perencanaan pada penampang balok dengan keruntuhan seimbang merupakan kondisi paling ideal akan tetapi sulit dan tidak pernah dapat dicapai. Sedangkan system perencanaan dengan keruntuhan tarik boleh digunakan karena mudah dicapai dan keamanannya dapat dijamin asalkan tulangan baja yang digunakan jangan terlalu kecil (sedikit).

Menurut peraturan beton Indonesia (SNI 03-2847-2002), system perencanaan beton bertulang dibatasi dua kondisi berikut:

1. Agar tulangan yang tidak terlalu sedikit atau rasio tulangan ( $\rho$ ) tidak begitu kecil, diberikan syarat berikut (Pasal 12.5):

$A_s$  harus  $\geq A_{s_{min}}$  atau  $\rho \geq \rho_{min}$  dengan  $\rho = A_s/(b.d)$

dimana :

$$A_{S_{\min}} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.f_y} \cdot b \cdot d \quad \text{atau} \quad A_{S_{\min}} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \quad (\text{pilih yang besar})$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4.f_y} \quad \text{atau} \quad A_{S_{\min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (\text{pilih yang besar})$$

2. Agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang, harus memenuhi persamaan berikut (Pasal 12.3.3)

$$A_s \text{ harus } \leq A_{s \text{ maks}} \quad \text{atau} \quad \rho \geq \rho_{\text{maks}}$$

dimana:

$$A_{s \text{ maks}} = 0,75 \cdot A_s, b \text{ dan } \rho_{\text{maks}} = 0,75 \cdot P_b$$

## 2.6 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk pada satuan panjang yang disebabkan dari tekanan yang diberikan (Murdock & Brook, 1986). Selain itu, menurut Neville (1975) modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan beton untuk menahan beban besar dengan kondisi regangan yang terjadi kecil. Besarnya nilai modulus elastisitas ditentukan berdasarkan umur beton, sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis serta ukuran benda uji (Wang & Salmon, 1994).

Berdasarkan SNI 2847 – 2013 (Pasal 8.5.1) menyebutkan bahwa untuk benda uji beton dengan kisaran berat volume 1440-2560 kg/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$E_c = 0,043 \times w_c^{1,5} \sqrt{f'c} \dots\dots\dots(2-1)$$

$E_c$  = Modulus elastisitas beton

$w_c$  = Berat volume beton

$f'c$  = Kuat tekan beton

Berbeda dengan ASTM C469 -02, menyebutkan bahwa untuk menghitung nilai modulus elastisitas dengan mutu perencanaan mendekati 50000 Psi (344,74 MPa) dapat dihitung menggunakan hubungan tegangan ( $\sigma$ ) dengan regangan ( $\epsilon$ ) sebagai berikut :

$$E_c = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)}{(\epsilon_2 - 0,00005)} \dots\dots\dots(2-2)$$

$E_c$  = Modulus elastisitas beton

$\sigma_2$  = 40% dari tegangan saat kondisi ultimate

$\sigma_1$  = Tegangan saat regangan bernilai 0,00005

$\varepsilon_2$  = Regangan baja saat  $\sigma_2$  tercapai

## 2.7 Kekakuan

Kekakuan merupakan ukuran tegangan yang dibutuhkan untuk mengubah satuan bentuk suatu bahan. Besaran kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya yang didapat dengan cara membagi tegangan satuan yang diterima bahan dengan perubahan bentuk dari suatu bahan tersebut.

Menurut Kenneth-Belanger (1981), kekakuan balok beton merupakan fungsi dari modulus elastisitas ( $E_c$ ) dengan momen inersia ( $I$ ). Rumus kekakuan adalah :

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots (2-3)$$

$k$  = Kekakuan struktur

$P$  = Beban pada struktur

$\Delta$  = Lendutan searah beban

Lebih lanjut menurut Nawy (1990), lendutan maksimum yang terjadi pada balok beton dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta = \frac{PL^3}{48E_cI_e} + \frac{5qL^4}{384E_cI_e} \dots\dots\dots (2-4)$$

$L$  = Panjang balok

$E_c$  = Modulus elastisitas beton

$I_e$  = Momen inersia efektif

Menurut SNI-03-2847-2013, momen inersia untuk perencanaan balok beton menggunakan inersia efektif ( $I_e$ ) yang digunakan dalam perhitungan lendutan sehingga lendutan yang dihasilkan lebih realistis karena merupakan lendutan pada keadaan elastis. Besarnya  $I_e$  dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr} \dots\dots\dots (2-5)$$

dengan nilai :

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \dots\dots\dots (2-6)$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'c} \dots\dots\dots (2-7)$$



$$y_t = \frac{1}{2} \cdot h \dots\dots\dots (2-8)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$y = \frac{n \cdot A_s}{b} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2 b \cdot d}{n \cdot A_s}\right)} - 1 \right] \dots\dots\dots (2-11)$$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot y^3}{3} + n \cdot A_s (d - y)^2 \dots\dots\dots (2-12)$$

dimana :

$I_g$  = Momen inersia penampang utuh

$f_r$  = Modulus retak beton

$y_t$  = Jarak garis netral ke serat tepi tarik

$M_{cr}$  = Momen saat timbul retak yang pertama

$n$  = Modulus rasio

$y$  = Letak garis netral

$I_{cr}$  = Momen inersia penampang yang retak

Penggunaan rumus momen inersia efektif disesuaikan dengan kondisi balok pada saat terjadi retak atau belum. Apabila balok belum mengalami retak, maka dalam perhitungan kekakuan dapat digunakan rumus *I gross* pada persamaannya.

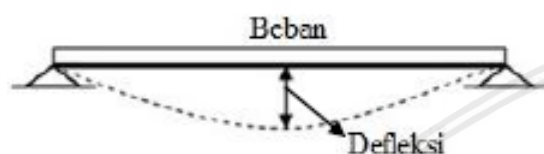
## 2.8 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan struktur untuk menahan respons inelastik yang dominan dalam memikul beban agar tidak runtuh. Nilai daktilitas suatu balok dapat ditentukan dengan membagi nilai kurvatur saat leleh dengan momen. Untuk melihat besarnya beban kurvatur dan daktilitas melibatkan beberapa variabel yang diperlukan, yaitu diameter tulangan lentur yang terdiri dari tulangan tekan dan tulangan tarik serta mutu betonnya. Selain itu, Analisa perhitungan momen dan kurvatur juga akan menentukan besarnya nilai tegangan regangan sehubungan dengan eratnya kaitan antara momen – kurvatur terhadap besarnya tegangan – regangan. Apabila balok beton bertulang memiliki nilai daktil yang tinggi, maka balok tersebut dapat memikul beban yang besar pula, selain itu, dengan meningkatnya nilai daktilitas balok dapat memperbaiki karakter tegangan – regangan yang akan mengurangi retak pada balok.



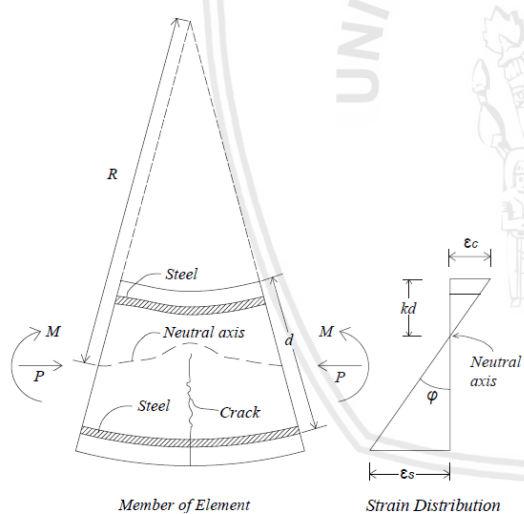
### 2.8.1 Hubungan Momen dan Kurvatur

Pada mulanya, sebuah beton bertulang berbentuk lurus tetapi akibat adanya momen ujung dan gaya aksial maka balok menjadi lengkung. Pembebanan pada balok beton bertulang yang melebihi beban *ultimate* diilustrasikan seperti gambar 2.7. Sedangkan deformasi elemen struktur akibat pembebanan lentur diilustrasikan pada gambar 2.8. Jari – jari kurvatur ( $R$ ), tinggi sumbu ( $Kd$ ), regangan beton pada saat tekan terluar ( $\epsilon_c$ ) dan tegangan – regangan baja ( $\epsilon_s$ ) akan berubah – ubah sepanjang bentang akibat adanya retak beton yang juga memberikan tegangan.



Gambar 2.7 Perilaku defleksi akibat pembebanan

Sumber : Satiadi, Djauhari dan Suryanita (2016)



Gambar 2.8 Deformasi elemen struktur akibat pembebanan lentur

Sumber : Park & Paulay (1975)

Berdasarkan gambar 2.8, dengan asumsi material homogen dan berperilaku *elastic linear*, rotasi antara kedua ujung elemen dirumuskan dengan:

$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{Kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} \dots\dots\dots(2-13)$$

Kurvatur selalu berubah – ubah sepanjang batang karena adanya fluktuasi ketinggian sumbu netral dan regangan antara setiap retak. Jika pada bagian tertentu dari panjang balok

memiliki retak, maka nilai kurvatur ( $\phi$ ) diperoleh dari persamaan 2.8 dengan  $\epsilon_c$  dan  $\epsilon_s$  sebagai regangan pada bagian retak.

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d} \dots\dots\dots(2-14)$$

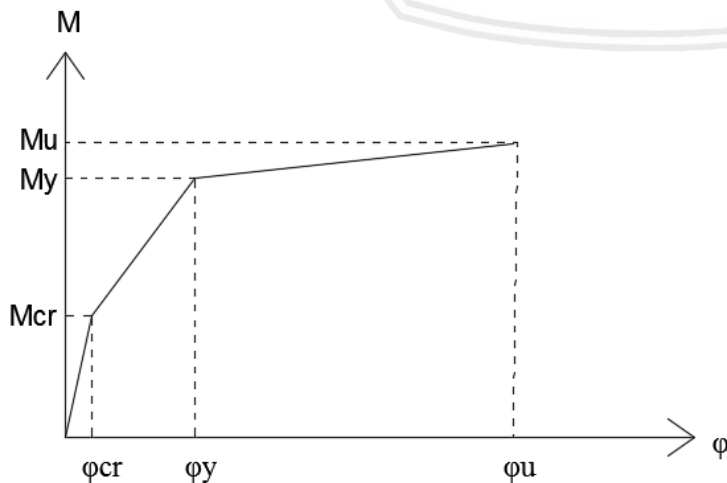
Untuk hubungan antara momen (M) dengan kurvatur ( $\phi$ ) dapat diperoleh dengan persamaan elastik klasik berikut:

$$EI = MR = \frac{M}{\phi} \dots\dots\dots(2-15)$$

dimana :

- R = Jari-jari kurvatur
- Kd = Jarak sumbu netral penampang dari serat atas
- d = Tinggi efektif penampang beton
- $\epsilon_c$  = Regangan beton
- $\epsilon_s$  = Regangan baja tulangan
- M = Momen
- $\phi$  = Kurvatur

Hubungan *momen* dengan kurvatur dapat dilihat dari grafik trilinear pada balok dengan kondisi tegangan baja leleh. Pertama pada saat muncul retakan, kemudian saat tegangan baja leleh dan yang terakhir saat batas kemampuan regangan beton tercapai. Ketika mengalami retak pada balok, hubungan momen dengan kurvatur tanpa beban hampir linear untuk leleh awal.

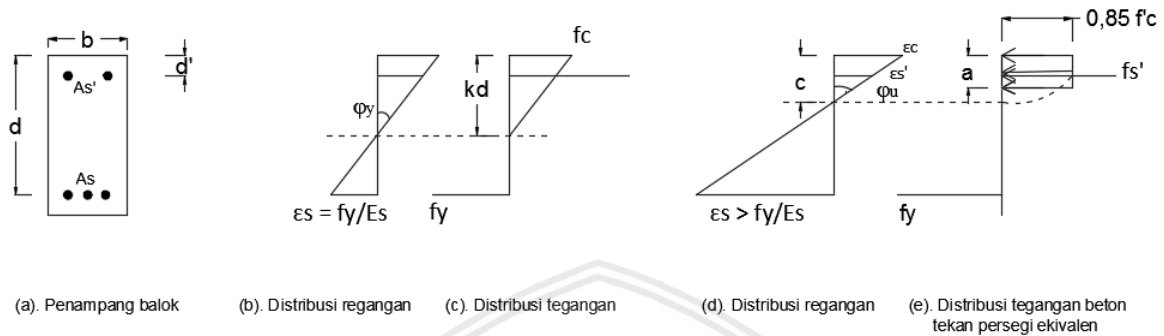


Gambar 2.9 Hubungan trilinear momen dengan kurvatur

Sumber: Park & Pauley (1975)

### 2.8.2 Momen dan Kurvatur pada Balok Beton Bertulang

Berdasarkan hubungan trilinear momen – kurvatur, diperoleh tiga kondisi. Pertama saat balok beton bertulang mengalami retak awal, kedua saat leleh tegangan baja pada balok, ketiga saat regangan beton mencapai keadaan *ultimate*.



Gambar 2.10 Kondisi lentur pada penampang balok beton ketika leleh awal (b dan c) dan *ultimate* (d dan e)

Sumber: Park & Pauley (1975)

Untuk kondisi awal adalah saat retak awal muncul maka terdapat momen retak dan kurvatur retak yang terjadi. Menurut Park & Pauley (1975) untuk momen retak ( $M_{cr}$ ) didapatkan dari persamaan 2-9 sedangkan kurvatur retak diperoleh dengan persamaan berikut :

$$\varphi_{cr} = \frac{f_r}{E_c \cdot y_t} \dots\dots\dots(2-16)$$

dimana :

- $\varphi_{cr}$  = Kurvatur retak
- $f_r$  = Modulus retak beton
- $E_c$  = Modulus elastisitas beton
- $y_t$  = Jarak garis netral ke serat tepi tarik

Untuk kondisi kedua, ketika tegangan baja tulangan leleh (*yield*), maka momen leleh dan kurvatur leleh diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$k = \left[ (\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left( \rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (\rho + \rho') n \dots\dots\dots(2-17)$$

$$M_y = A_s \cdot f_y \cdot j d \dots\dots\dots(2-18)$$

$$\varphi_y = \frac{f_y / E_s}{d(1-k)} \dots\dots\dots(2-19)$$

dimana :

- $k$  = Faktor panjang efektif untuk serat tekan  
 $\phi_y$  = Kurvatur leleh  
 $M_y$  = Momen leleh  
 $A_s$  = Luas tulang tarik beton  
 $E_s$  = Modulus elastisitas baja tulangan  
 $f_y$  = Kuat tarik leleh baja tulangan  
 $jd$  = Jarak dari *centroid* tegangan tekan ke *centroid* tegangan tarik  
 $\rho$  = Rasio tulangan baja serat tarik  
 $\rho'$  = Rasio tulangan baja serat tekan  
 $d$  = Jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tarik  
 $d'$  = Jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tekan  
 $n$  = Modulus rasio

Untuk kondisi terakhir yaitu saat regangan beton mencapai *ultimate*. Untuk mencari momen *ultimate* dan kurvatur *ultimate* digunakan persamaan berikut :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \dots\dots\dots(2-20)$$

$$M_u = 0,85 f_c' b \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f_y (d - d') \dots\dots\dots(2-21)$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_c \cdot \beta_1}{a} \dots\dots\dots(2-22)$$

dimana :

- $a$  = Tinggi blok tegangan tekan beton persegi ekuivalen  
 $M_u$  = Momen *ultimate*  
 $\phi_u$  = Kurvatur *ultimate*  
 $A_s'$  = Luas tulangan tekan beton  
 $\beta_1$  = 0,85 untuk  $f_c' \leq 30$  Mpa  
 =  $0,85 - \left( \frac{0,05 f_c'}{7} \right)$  untuk  $f_c' \geq 30$  Mpa dan tidak kurang dari 0,65

Untuk mendapatkan besarnya nilai daktilitas dapat dihitung menggunakan perbandingan kurvatur *ultimate* dengan kurvatur *yield* yang dituliskan sebagai berikut :

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \dots\dots\dots(2-23)$$

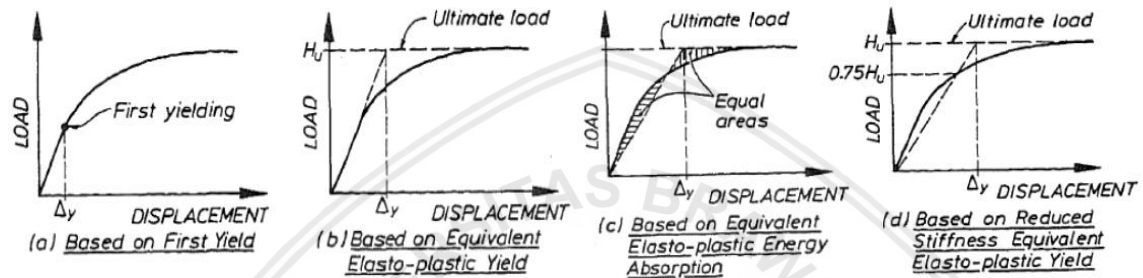
- $\mu_\phi$  = Kurvatur *ductility*

$\phi_u$  = Kurvatur *ultimate*

$\phi_y$  = Kurvatur *yield*

**2.8.3 Daktilitas Perpindahan**

Daktilitas perpindahan merupakan perbandingan lendutan yang terjadi pada kondisi ultimate dengan lendutan yang terjadi pada kondisi tulangan tarik leleh. Untuk mendapatkan besarnya nilai ini, dapat diperoleh dari grafik hubungan antara beban terhadap lendutan. Berdasarkan Park (1988) lendutan saat titik leleh diperoleh dari titik potong beban saat beban tersebut mencapai 75% dari kondisi *ultimate*.



Gambar 2.11 Beberapa alternatif pengambilan defleksi pada titik leleh

Sumber : Park (1988)

Berdasarkan penjelasan diatas, dapat diperoleh besarnya nilai daktilitas perpindahan menggunakan persamaan berikut :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots(2-24)$$

$\mu_{\Delta}$  = Displacement ductility

$\Delta_u$  = Displacement ultimate

$\Delta_y$  = Displacement yield

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan balok bertulang sebagai objek penelitian yang dilakukan di laboratorium. Selain itu, balok beton bertulang dibuat dengan menambahkan serat kaleng minuman bekas selanjutnya dilakukan pengujian vertikal pada saat benda uji telah berumur 28 hari. Pelaksanaan penelitian meliputi dua analisis berikut:

1. Analisis teori (studi literatur), yaitu dengan menggunakan teori yang ada untuk memprediksi modulus elastisitas, kekakuan, dan daktilitas balok beton bertulang sehingga menghasilkan nilai – nilai teoritis berdasarkan tinjauan pustaka.
2. Analisis data eksperimental, yaitu dengan menggunakan data teknis balok beton bertulang dengan penambahan variasi panjang serat kaleng terhadap modulus elastisitas, kekakuan, dan daktilitas balok.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai “Pengaruh Variasi Panjang Serat Kaleng Terhadap Kekakuan, Daktilitas dan Modulus Elastisitas Balok Beton Bertulang” merupakan jenis penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang pada bulan September sampai November 2018.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

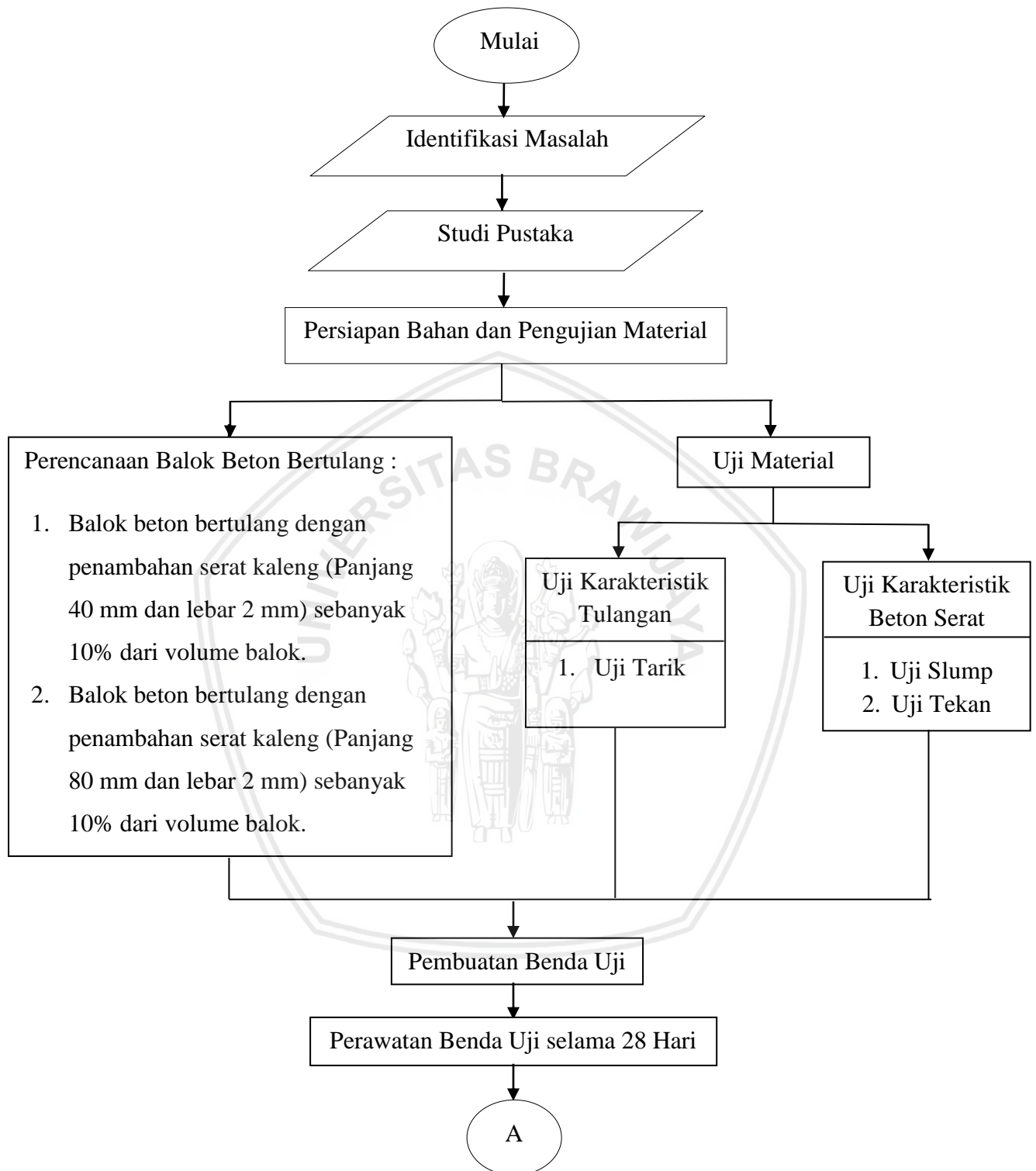
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

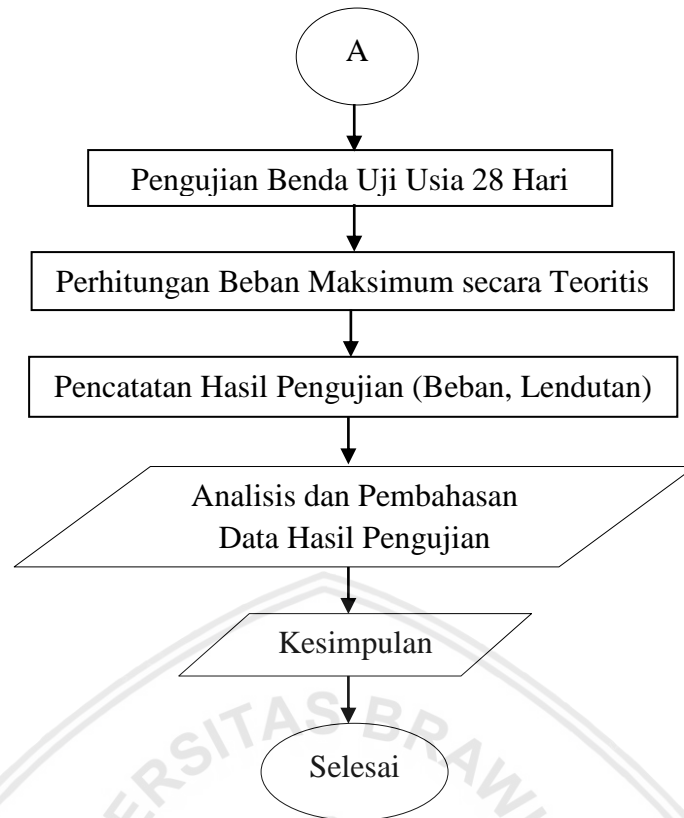
1. Peralatan
  - a. Gunting Besi untuk memotong kaleng menjadi lembaran kaleng.
  - b. *Paper Trimmer* untuk memotong lembaran kaleng menjadi serat kaleng.
  - c. Amplas 24 untuk mengkasarkan permukaan lembaran kaleng.
  - d. Timbangan digital ketelitian 0,1 gr dan 0,05 kg.
  - e. Cetakan balok (bekisting) dengan tinggi 20 cm, lebar 15 cm dan Panjang 130 cm untuk benda uji berbentuk balok.



- f. Alat pemotong tulangan untuk memotong tulangan balok.
  - g. Alat pembengkok tulangan untuk membengkokkan tulangan.
  - h. *Slump Test Aparatus* dengan tinggi 30 cm, diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan dilengkapi dengan alat penumbuk dari tongkat besi. Alat ini digunakan untuk mengukur nilai slump dari campuran beton.
  - i. Pengaduk beton (*concrete mixer*) untuk mengaduk campuran beton agar menjadi homogen.
  - j. *Linear Variable Displacement Transducer* (LVDT) untuk mengukur besar lendutan yang terjadi pada balok.
  - k. Rangka penguji (*Loading Frame*) berupa *frame* konstruksi baja WF dengan kapasitas beban 7 ton untuk menopang benda uji pada saat pengujian.
  - l. Dongkrak hidrolik (*Hydraulic Jack*) dengan kapasitas 5 ton untuk memberi beban aksial pada balok beton bertulang.
  - m. *Load Cell* untuk membaca beban dari *hydraulic jack* sehingga pembacaan beban terbaca dengan jelas.
  - n. Alat tulis dan Meteran untuk menandai dan mengukur benda uji.
  - o. Kamera untuk dokumentasi proses pengujian dalam bentuk foto maupun video.
  - p. Alat pendukung lainnya berupa sekop, cangkul, cetok, ember, nampan, tang, dsb.
2. Bahan
- a. Serat Kaleng dengan variasi panjang 40 mm, 80 mm dan lebar yang sama yakni 2 mm.
  - b. Beton dengan mutu rencana  $f'c$  20,75 MPa atau K-250 pada usia 28 hari yang dibuat dari campuran semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil) dan air.
  - c. Tulangan Baja dengan diameter D10 (ulir) untuk tulangan utama dan  $\emptyset 8$  (polos) untuk tulangan geser.
  - d. Bendrat/Kawat untuk mengikat tulangan satu dengan tulangan lainnya.
  - e. Beton Tahu untuk menopang tulangan saat proses pencetakan balok bertulang.
  - f. Oli untuk melumasi permukaan bekisting.
  - g. Cat Tembok Putih/Plamir untuk melapisi benda uji agar memudahkan pengamatan pada balok beton bertulang.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian





### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Tahap Persiapan

Pada tahapan persiapan, dilakukan pengadaan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan benda uji. Tahapan ini meliputi :

1. Persiapan perencanaan *mix design* beton dengan kuat tekan rencana 20,75 MPa (K-250).
2. Persiapan pemotongan serat kaleng dengan variasi Panjang serat adalah 40 mm dan 80 mm serta lebarnya sama 2 mm.
3. Persiapan pembuatan bekisting balok dengan tinggi 20 cm, lebar 15 cm dan Panjang 130 cm.
4. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton 20,75 MPa dengan ukuran balok tinggi 20 cm, lebar 15 cm dan Panjang 130 cm, serat kaleng dengan rasio 10% volume balok (Panjang 40 mm, lebar 2 mm) sebanyak dua buah.
5. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton 20,75 MPa dengan ukuran balok tinggi 20 cm, lebar 15 cm dan Panjang 130 cm, serat kaleng dengan rasio 10% volume balok (Panjang 80 mm, lebar 2 mm) sebanyak dua buah.
6. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton 20,75 MPa dengan ukuran balok tinggi 20 cm, lebar 15 cm dan Panjang 130 cm, tanpa penambahan serat (Normal) sebanyak tiga buah.

### 3.5.2 Tahap Uji Tarik Tulangan Baja

Pengujian tarik dilakukan pada tulangan baja yang dipergunakan sebagai tulangan longitudinal (utama) dan transversal (geser) pada spesimen yang diambil secara acaksehingga diharapkan dapat mewakili nilai tegangan tarik pada tulangan spesimen. Untuk tulangan longitudinal digunakan D10 (Ulir), disiapkan tiga batang tulangan dengan panjang masing – masing 20 cm. sedangkan untuk tulangan transversal digunakan Ø8 (Polos), disiapkan tiga batang dengan panjang masing – masing 20 cm. Nilai yang diperoleh merupakan rerata dari masing – masing jenis tulangan yang diuji.

### 3.5.3 Tahap Pembuatan Model Balok

Tahap pembuatan model balok merupakan tahap perancangan benda uji yang akan dibuat di laboratorium. Tahapan ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan Bekisting

Pembuatan bekisting disesuaikan dengan dimensi balok yang direncanakan (130x15x20) cm dengan menggunakan bahan kayu yang disambung dengan paku dan baut.

2. Penulangan Balok

Tulangan baja yang dipergunakan adalah diameter D10 (ulir) untuk tulangan utama dan Ø8 (polos) untuk tulangan geser. Tulangan ini dipasang didalam bekisting dengan menggunakan tahu beton sebagai penopangnya sebelum pengecoran dimulai.

3. Uji Slump

Pada saat melaksanakan pengecoran, dilakukan percobaan uji slump untuk mengetahui nilai slump beton yang dibuat. Nilai tersebut diukur dari puncak tertinggi keruntuhan adukan beton hingga ke tinggi permukaan alat uji slump.

4. Pengecoran dan Perawatan (*curing*) Benda Uji

Pengecoran dilakukan didalam ruangan dan bekisting dikondisikan agar tidak berubah dari posisis awal pengecoran hingga beton bertulang benar – benar kering. Untuk memadatkan campuran beton pada saat pengecoran, digunakan alat *vibrator*. Setelah benda uji dilepas dari cetakan, selanjutnya dilakukan perawatan dengan menutupi benda uji dengan karung goni basah untuk menjaga beton agar selalu dalam kondisi lembab selama waktu yang ditentukan.

#### 5. Pengecatan Benda Uji

Balok di cat dengan menggunakan cat tembok berwarna putih atau *plamir* sehingga dapat memudahkan pada saat pengamatan pada benda uji pada saat dilaksanakan pengujian. Selain itu, dibuat pula garis kotak – kotak dipermukaan balok dengan ukuran 5x5 cm untuk menandai retakan yang terjadi pada balok.

#### 3.5.4 Benda Uji dan *Setting Up*

Benda uji pada penelitian ini berupa balok beton bertulang dengan penambahan serat (*fiber*) kaleng dengan variasi panjang serat 40 mm, 80 mm dan lebar serat yang sama 2 mm. Tulangan menggunakan diameter D10 (ulir) untuk tulangan utama dan Ø8 (polos) untuk tulangan geser. Campuran beton terdiri dari semen Portland tipe I, air PDAM, agregat halus berupa pasir Lumajang serta agregat kasar berupa kerikil. Pengecoran balok dilakukan dengan cara konvensional, menggunakan bekisting dari bahan kayu dan pengaduk beton (*concrete mixer*) untuk menjadikan campuran beton homogen. Benda uji yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu :

1. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kaleng Panjang 40 mm dan lebar 2 mm sebanyak 10% dari volume balok.
2. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kaleng Panjang 80 mm dan lebar 2 mm sebanyak 10% dari volume balok.

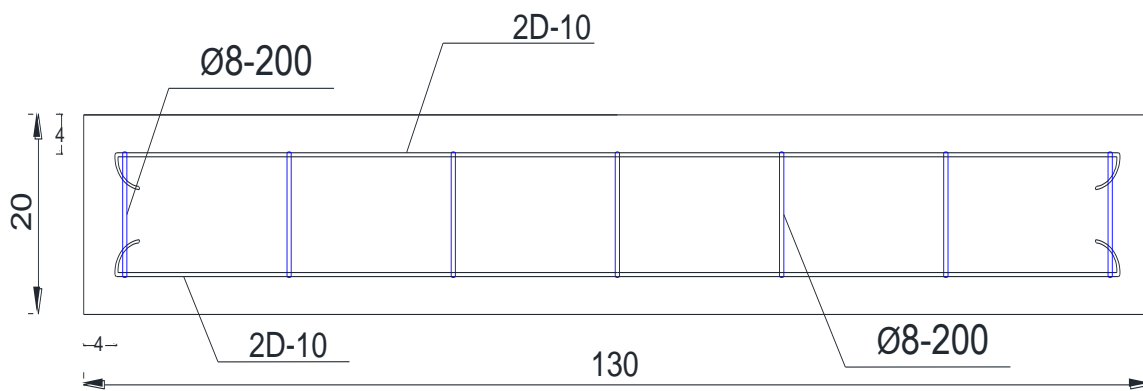


a. Panjang serat 4 cm

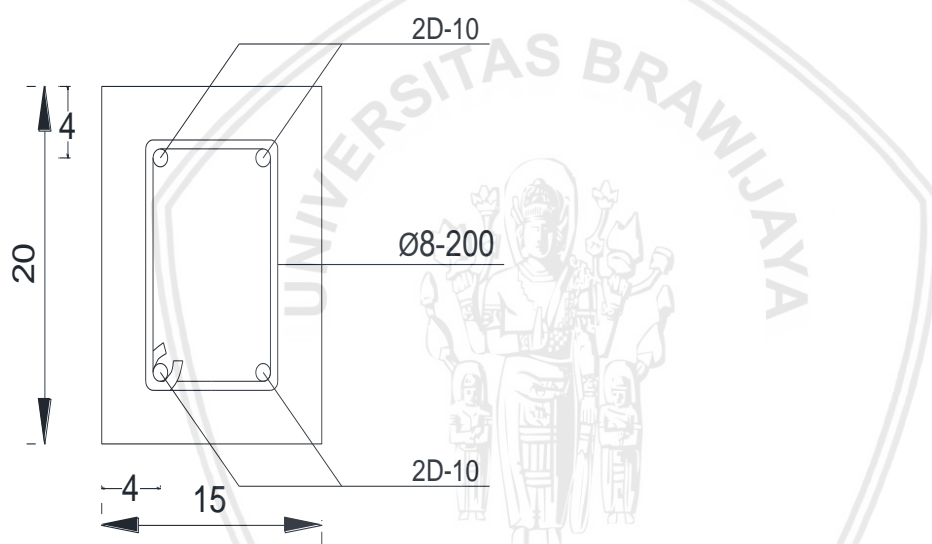


b. Panjang serat 8 cm

Gambar 3.1 Variasi panjang serat kaleng



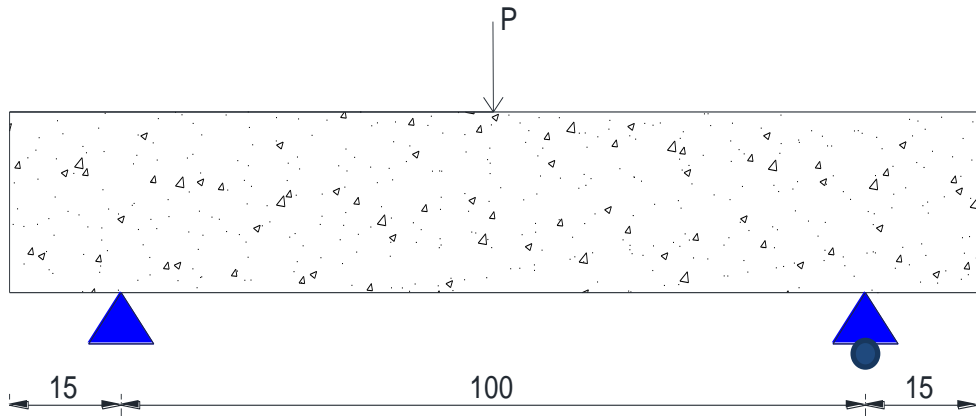
Gambar 3.2 Detail tampak samping penulangan balok



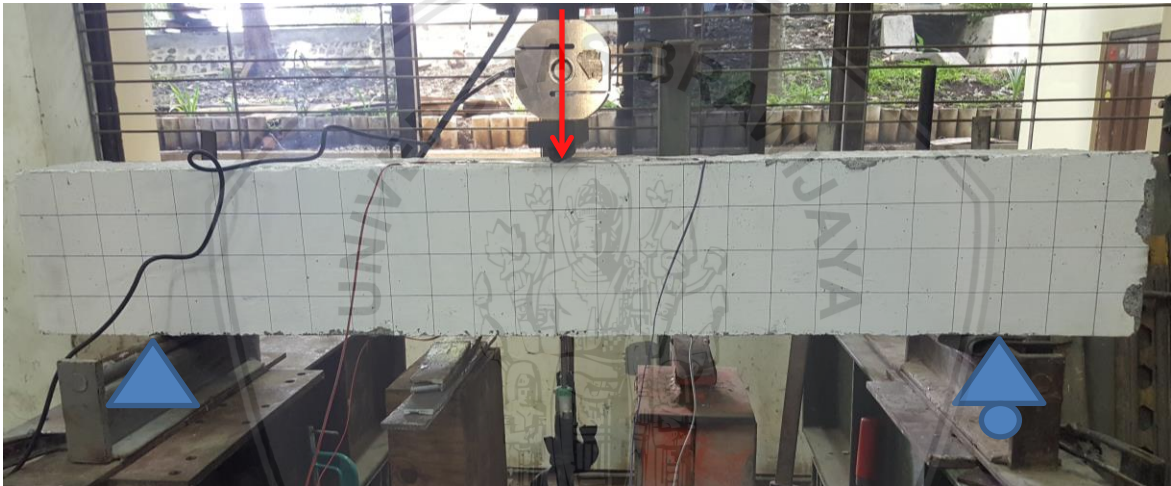
Gambar 3.3 Detail potongan balok

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menempatkan balok beton bertulang serat kaleng di tumpuan pada rangka baja (*loading frame*), kemudian digunakan satu buah *load cell*, satu buah *hydraulic jack* untuk mengontrol beban yang diberikan, dan dua buah LVDT untuk mengetahui *displacement* yang terjadi. Peralatan tersebut merupakan peralatan utama dalam prosedur pengujian.



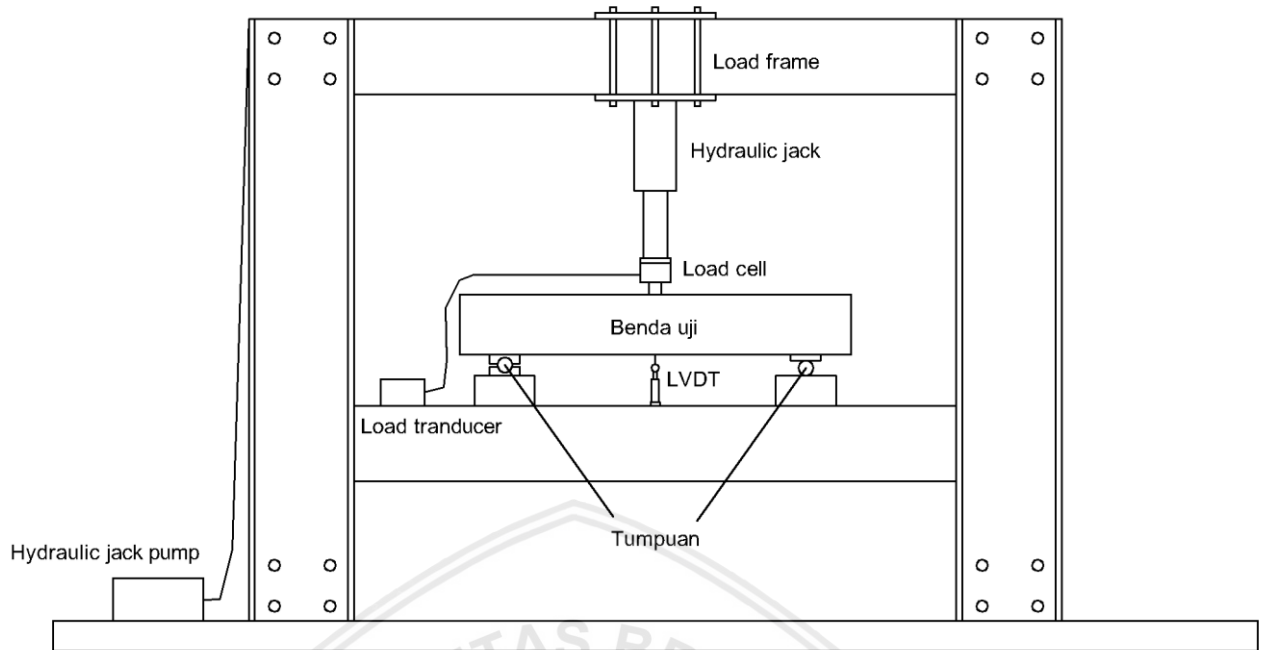


Gambar 3.4 Skema penempatan balok sebelum di uji

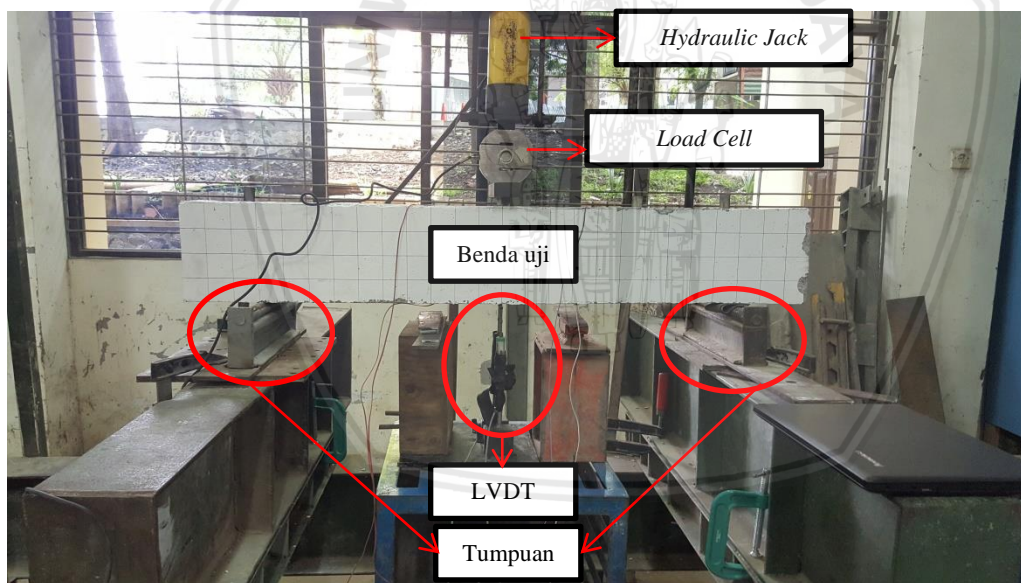


Gambar 3.5 Foto skema penempatan balok sebelum di uji





Gambar 3.6 *Setting up* alat pengujian dan benda uji



Gambar 3.7 Foto *setting up* alat pengujian dan benda uji

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah tipe variabel yang menjelaskan atau memengaruhi variabel lain, sedangkan variabel terikat adalah tipe variabel yang dijelaskan atau dipengaruhi oleh variabel bebas. Adapun variable yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah Panjang serat kaleng yang akan ditambahkan kedalam adonan beton.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah modulus elastisitas beton, kekakuan dan daktilitas pada balok beton bertulang.

### 3.7 Metode Analisis Data

Setelah diperoleh data hasil dari perhitungan berdasarkan studi literatur dan hasil pengujian benda uji, maka selanjutnya dilakukan analisis data mengenai perbandingan kuat lentur balok beton bertulang dengan penambahan serat kaleng dengan Panjang serat 40 mm lebar 2 mm dan penambahan serat kaleng dengan Panjang serat 80 mm lebar 2mm.

#### 3.7.1 Modulus Elastisitas Beton

Untuk menghitung besarnya nilai modulus elastisitas atau modulus young, diperlukan data berat volume silinder dan kuat tekan beton yang didapatkan dari pengujian kuat tekan silinder. Kemudian, hasil ini akan dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas yang didapatkan berdasarkan cara teoritis.

Tabel 3.1 Form Data Hasil Pengujian untuk Modulus Elastisitas

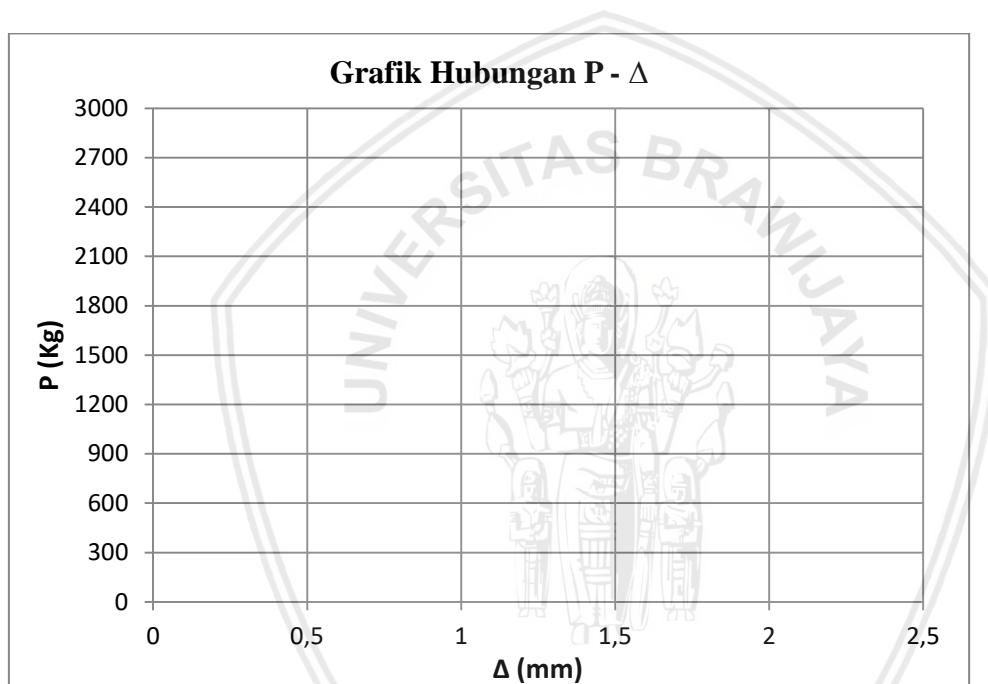
Benda Uji	Berat Vol. Silinder (Wc) (Kg/cm <sup>3</sup> )	f'c (MPa)
1		
2		
3		
4		
5		
Dst.		

#### 3.7.2 Kekakuan Balok

Untuk mendapatkan nilai kekakuan, dari hasil pengujian balok di laboratorium ini akan didapatkan data lendutan berdasarkan pembebanan yang akan dimasukkan ke dalam tabel 3.2 selanjutnya dibandingkan dengan hasil teoritis.

Tabel 3.2 Form Data Hasil Pengujian Beban dengan Deformasi

Tahap Beban (Kg)	Beban (Kg)	Lendutan (mm)
100	100	
100	200	
100	300	
100	400	
100	500	
Dst.	Dst.	

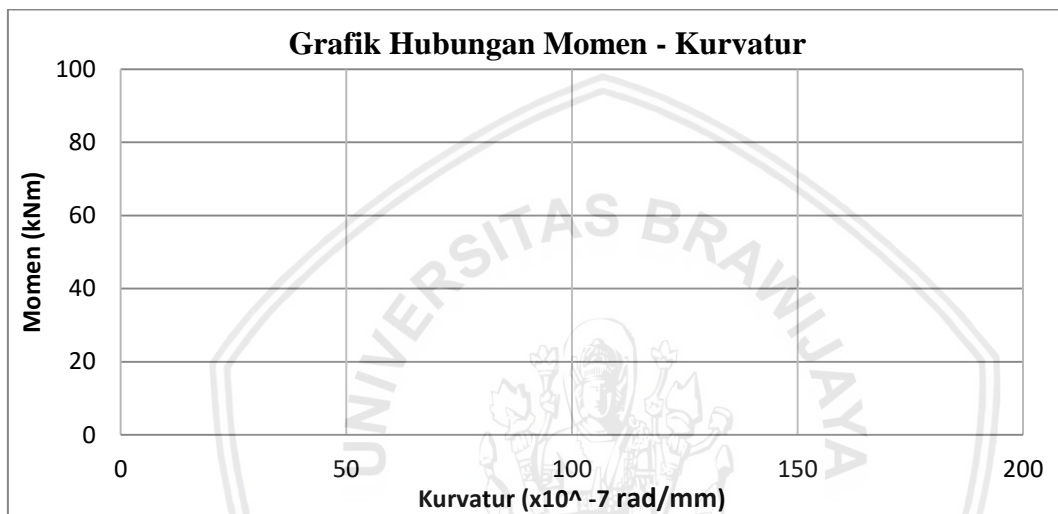
Gambar 3.8 Grafik hubungan antara beban (P) dengan deformasi ( $\Delta$ )

### 3.7.3 Daktilitas Balok

Untuk mendapatkan nilai daktilitas, diperlukan data hubungan antara momen dengan kurvatur, sehingga diperlukan pencatatan besarnya nilai momen yang diperoleh dari pembebanan *hydraulic jack* sedangkan nilai kurvatur diperoleh dari pencatatan nilai fluktuasi ketinggian sumbu netral dan regangan antara dari setiap retak. Setelah diperoleh nilai – nilai tersebut, selanjutnya dibandingkan dengan perhitungan teoritis.

Tabel 3.3 Form Data Hasil Pengujian Daktilitas

Benda Uji	$f'c$ (Mpa)	$M_{cr}$ (kNm)	$\phi_{cr}$ (rad/mm)	$M_y$ (kNm)	$\phi_y$ (rad/mm)	$M_u$ (kNm)	$\phi_u$ (rad/mm)
1							
2							
3							
Dst.							



Gambar 3.9 Grafik hubungan antara momen dengan kurvatur

### 3.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Beton dengan penambahan serat kaleng panjang 80 mm mempunyai nilai modulus elastisitas yang lebih besar daripada beton dengan penambahan serat 40 mm dan beton tanpa penambahan serat kaleng.
2. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kaleng panjang 80 mm mempunyai nilai kekakuan yang lebih besar daripada balok beton bertulang dengan penambahan serat 40 mm dan balok beton bertulang tanpa penambahan serat kaleng.
3. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kaleng panjang 80 mm mempunyai nilai daktilitas yang lebih besar daripada balok beton bertulang dengan penambahan serat 40 mm dan balok beton bertulang tanpa penambahan serat kaleng.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan disajikan data hasil pengujian berdasarkan benda uji balok beton bertulang dengan penambahan variasi panjang serat kaleng.

#### 4.1 Serat Kaleng Minuman

##### 4.1.1 Karakteristik Kaleng Kemasan

Jenis kaleng digunakan : Kaleng minuman bekas dengan ketebalan 0,01 – 0,09 mm (Larutan cap kaki tiga dan sebagainya)

Dimensi serat kaleng : 2 mm x 40 mm  
2 mm x 80 mm

Berat isi kaleng : 0,0763 gr/cm<sup>3</sup> (Prakasa, 2018)

Adapun serat kaleng yang digunakan, dikasarkan pada salah satu permukaannya dengan tujuan memperkuat daya lekat antara serat kaleng dengan campuran beton.

##### 4.1.2 Kebutuhan Serat Kaleng

Untuk memperoleh kebutuhan serat kaleng dalam satu balok dengan dimensi (15x20x130) cm dan jumlah fraksi sebesar 10%, maka berat serat yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{serat}} &= \% \text{fraksi} \times V_{\text{balok}} \times \text{Berat isi serat} \\
 &= 10\% \times (15 \times 20 \times 130) \text{ cm}^3 \times 0,0763 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= 297,57 \text{ gr.}
 \end{aligned}$$

Dalam pencampuran material pada saat pengecoran, dilakukan penambahan sebesar 40% sebagai angka keamanan. Tujuan penambahan ini adalah untuk mencegah terjadinya kekurangan material pada saat proses pencampuran, sehingga perbandingan persentase fraksi serat yang digunakan pada balok setelah penambahan 40% disajikan pada tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Kebutuhan Berat Serat

Fraksi Serat	Berat Serat (gram)	
	1 Benda Uji	2 Benda Uji
10%	416,598	833,196

Sumber : Hasil Penelitian



## 4.2 Hasil Pengujian Benda Bahan Penyusun Balok

### 4.2.1 Perencanaan *Mix Design* Beton

Mutu beton direncanakan pada penelitian ini adalah 20,75 MPa atau K-250 pada umur 28 hari dengan kondisi lingkungan normal disajikan pada tabel 4.2 :

Tabel 4.2 *Mix Design* Beton Normal (SNI 03-2834-2000)

NO	URAIAN	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hr, 5%)	K-250 = 20,75 Mpa
2	Deviasi standar	-
3	Nilai Tambah (Margin)	12 Mpa
4	Kuat tekan rata-rata yg ditargetkan	32,75 Mpa
5	Jenis Semen	Normal (Tipe I)
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah
	Jenis Agregat Halus	Pasir
7	Faktor Air semen Bebas	0.54
8	Faktor air semen Maksimum	0.6
9	Slump	60 - 180 mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	40 mm
11	Kadar Air Bebas	205 kg/m <sup>3</sup>
12	Jumlah semen	379,63 kg/m <sup>3</sup>
13	Jumlah Semen Maksimum	-
14	Jumlah Semen Minimum	275 kg/m <sup>3</sup>
15	FAS yg disesuaikan	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Zona 1
17	Persen agregat halus	46%
18	Berat jenis relatif agregat (SSD)	2,577 kg/m <sup>3</sup>
19	Berat isi beton	2260 kg/m <sup>3</sup>
20	Kadar agregat gabungan	1675,37 kg/m <sup>3</sup>
21	Kadar agregat halus	770,670 kg/m <sup>3</sup>
22	Kadar agregat kasar	904,700 kg/m <sup>3</sup>

Sumber : Hasil Penelitian



Tabel 4.3 Perbandingan Campuran pada Perencanaan *Mix Design* Mutu K-250

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen ( kg )	Air ( kg/lt )	Ag. Halus ( kg )	Ag. Kasar ( kg )
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5 kg (Teoritis)	379,63	205	770,670	904,700
Tiap campuran uji balok 0,039 m <sup>3</sup>	14,81	7,995	30,06	35,28
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5 kg (Aktual)	379,63	236,85	752,295	891,225
Tiap campuran uji balok 0,039 m <sup>3</sup>	14,81	9,24	29,34	34,76
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0,5	2,0	2,4
Proporsi (Aktual)	1	0,6	1,98	2,35

Sumber : Hasil Penelitian

Pada saat melaksanakan pencampuran material beton, dilakukan penambahan sebesar 40% pada tiap proporsi campuran sehingga diperoleh proporsi pencampuran masing – masing, semen 20,73 kg ; air 12,93 kg ; agregat halus 41,08 kg ; dan agregat kasar 48,66 kg. Proporsi tersebut digunakan untuk membuat 1 buah balok, sehingga dalam 1 *batch* campuran terdapat 2x proporsi tersebut untuk membuat 2 balok dan 3 silinder.

#### 4.2.2 Pengujian *Slump* Beton Segar

Pengujian *slump* dimaksudkan untuk mendapatkan angka *slump* dan pembuatan benda uji sesuai dengan prosedur yang benar. Angka *slump* menggambarkan sifat kelecakan (*workability*) dari beton segar. Untuk pengujian *slump*, menggunakan cetakan dari logam tebal berbentuk kerucut dengan tinggi 305 mm, lebar diameter bawah 203 mm dan lebar diameter atas 102 mm. Adapun nilai *slump* pada percobaan ini disajikan pada tabel 4.4 :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Slump* Campuran Balok

Benda Uji Silinder	Kode	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Rerata (cm)
Normal (Tanpa Serat)	N1	15	15,25
		15,5	
	N2	12	13,50
		13	
		15,5	



Benda Uji Silinder	Kode	Nilai Slump (cm)	Rerata (cm)
Penambahan Serat 4 Cm	A1-B1-C1	10	10,17
		10	
		10,5	
Penambahan Serat 8 Cm	A1-B2-C1	13,5	11,50
		11	
		10	

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel 4.4, dapat disimpulkan bahwa hasil aktual dilapangan telah sesuai dengan nilai perencanaan pada *form mix design*, karena berada diantara 60 – 180 mm, sehingga benda uji balok dapat dibuat. Angka *slump* beton serat menunjukkan penurunan, artinya *workability*-nya mengalami penurunan dibandingkan beton normal.

#### 4.2.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton yang optimum dilakukan saat beton mencapai umur 28 hari. Adapun hasil pengujian kuat tekan beton dengan mutu rencana 20,75 MPa disajikan pada tabel 4.5 :

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu 20,75 MPa (Silinder)

Benda Uji Silinder	Kode	Nilai Kuat Tekan (MPa)	Rerata (MPa)
Normal (Tanpa Serat)	N1	32,695	28,057
		23,418	
		32,582	
Normal (Tanpa Serat)	N2	34,505	31,507
		27,434	
		27,604	
Penambahan Serat 4 Cm	A1-B1-C1	30,545	28,585
		27,604	
		27,265	
Penambahan Serat 8 Cm	A1-B2-C1	25,059	26,586
		27,434	

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel 4.5, nilai kuat tekan beton semua silinder telah memenuhi mutu perencanaan pada form *mix design*, yaitu diatas 20,75 MPa. Namun mutu beton dengan penambahan variasi panjang lebih rendah bila dibandingkan dengan beton normal berdasarkan nilai reratanya. Artinya, penambahan variasi panjang tidak memiliki dampak signifikan terhadap kenaikan kuat tekan beton.

#### 4.2.4 Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Pada penelitian ini, digunakan 2 jenis tulangan berbeda yaitu tulangan polos Ø8 dan tulangan ulir D10, masing – masing sebanyak 3 buah dengan Panjang 20 cm. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui mutu tulangan baja yang akan digunakan dalam pembuatan balok beton bertulang. Adapun hasil pengujian kuat tarik tulangan baja disajikan pada tabel 4.6 :

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Jenis Tulangan	Kode	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Leleh (kN)	Beban Ultimit (kN)	Tegangan Leleh (fy) (Mpa)	fy		Tegangan fu	
						Rerata (Mpa)	Ultimit (fu) (Mpa)	Rerata (Mpa)	Ultimit (Mpa)
Tulangan	8,1	50,286	18	25	358,099			497,359	
Sengkang	8,2	50,286	18	50	358,099	338,207		397,887	464,202
Ø-8	8,3	50,286	15	25	298,416			497,359	
Tulangan	10,1	78,571	32,5	45	413,803			572,958	
Utama	10,2	78,571	35	47,5	445,634	445,63		604,789	594,176
D-10	10,3	78,571	37,5	47,5	477,465			604,789	

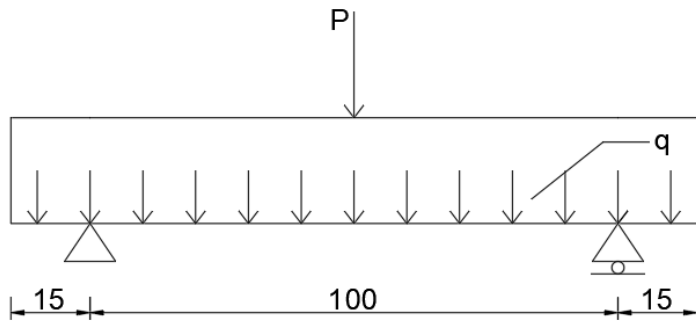
Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil tabel 4.6, maka didapatkan fy rata – rata untuk tulangan Sengkang Ø-8 sebesar 338,207 MPa dan tulangan utama D-10 sebesar 445,63 MPa.

### 4.3 Analisis Perhitungan Beban Maksimum

#### 4.3.1 Pemodelan Struktur

Untuk mendapatkan besarnya nilai beban maksimum, diperlukan perhitungan berdasarkan rumus yang telah dijelaskan pada bab II. Perhitungan ini dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas balok beton bertulang yang sudah direncanakan.



Gambar 4.1 Pemodelan pembebanan struktur balok beton bertulang

#### 4.3.2 Beban Maksimum

Untuk menghitung beban maksimum teoritis, digunakan cara berikut, dimana sampel yang digunakan adalah balok normal dengan kode N1.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 l &= 100 \text{ cm} & f'_c &= 28,057 \text{ MPa} \\
 b &= 15 \text{ cm} & f_y &= 445,634 \text{ MPa} \\
 h &= 20 \text{ cm} & \text{selimut beton} &= 4 \text{ cm} \\
 d &= h - (\text{diameter tul tarik}/2 + \text{diameter sengkang} + \text{tebal selimut}) \\
 &= 20 - (1/2 + 0,8 + 4) \\
 &= 14,7 \text{ cm} \\
 d' &= h - d \\
 &= 20 - 14,7 \\
 &= 5,3 \text{ cm} \\
 q &= 0,15 \times 0,2 \times 2400 = 72 \text{ kg/m} = 0,72 \text{ kg/cm} \\
 A_s = A_{s'} &= 2\text{-D}10 = 143 \text{ mm}^2 \\
 \beta_1 &= 0,85 \\
 \rho &= \frac{A_s}{b \cdot d}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1,43}{15.14,7}$$

$$= 0,00648$$

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

$$= \frac{1,4}{445,634}$$

$$= 0,00314$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b$$

$$= 0,75 \left( 0,85 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \beta_1 \cdot \frac{600}{600+f_y} \right)$$

$$= 0,75 \left( 0,85 \cdot \frac{28,057}{445,634} \cdot 0,85 \cdot \frac{600}{600+445,634} \right)$$

$$= 0,0196$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$  maka sesuai dengan asumsi awal, balok berada pada kondisi *under-reinforced*.

Asumsi awal:

Baja tarik sudah leleh,  $f_s = f_y$

Baja tekan belum leleh,  $f'_s = \epsilon_s' \cdot E_s$

$$C = T$$

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times a + A_s' \times f_s' = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times a + A_s' \times \epsilon_c \cdot \frac{c-d'}{c} \cdot E_s = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times a + A_s' \times \epsilon_c \cdot \frac{\frac{a}{0,85} - d'}{0,85} \cdot E_s = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times a + A_s' \times \epsilon_c \cdot \frac{1,18a - d'}{1,18a} \cdot E_s = A_s \times f_y$$

$$0,85 \times 28,057 \times 150 \times a + 143 \times 0,003 \cdot \frac{1,18a-53}{1,18a} \cdot 200000 = 143 \times 445,634$$

$$3577,268 a + 85800 - \frac{3853728,814}{a} = 63725,662$$

$$3577,268 a^2 + 85800a - 3853728,814 = 63725,662a$$

$$3577,268 a^2 + 22074,338a - 3853728,814 = 0$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

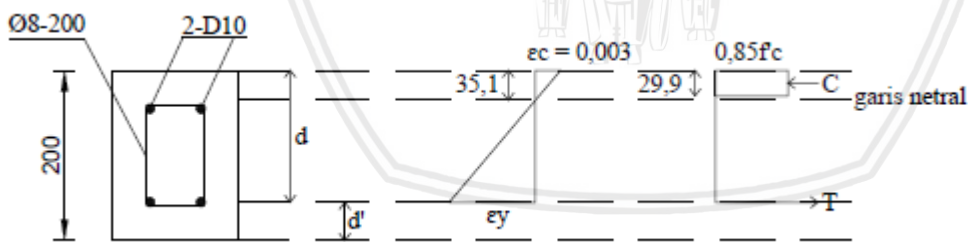
$$a_1 = \frac{-22074,338 + \sqrt{22074,338^2 - 4 \cdot 3577,268 \cdot (-3853728,814)}}{2(3577,268)} = 29,881$$

$$a_2 = \frac{-22074,338 - \sqrt{22074,338^2 - 4 \cdot 3577,268 \cdot (-3853728,814)}}{2(3577,268)} = -36,052$$

Digunakan  $a = 29,881$  mm

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{29,881}{0,85} = 35,154 \text{ mm}$$



Gambar 4.2 Analisis penampang beton bertulang

Kontrol:

$$\begin{aligned} \text{- Regangan baja tarik } (\epsilon_s) &= \epsilon_c \cdot \frac{d-c}{c} = 0,003 \cdot \frac{147-35,154}{35,154} \\ &= 0,00955 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan baja tarik } (f_s) &= \epsilon_s \cdot E_s = 0,00955 \times 200000 \\ &= 1908,908 \text{ MPa} \end{aligned}$$

1908,908 MPa > 455,634 MPa , maka baja tarik sudah leleh (sesuai asumsi)

$$\begin{aligned} \text{- Regangan baja tekan } (\epsilon_s') &= \epsilon_c \cdot \frac{d'-c}{c} = 0,003 \cdot \frac{53-35,154}{35,154} \\ &= 0,00152 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan baja tarik } (f's) &= \epsilon_s' \cdot E_s = 0,00152 \times 200000 \\ &= 304,572 \text{ MPa} \end{aligned}$$

304,572 MPa < 445,634 MPa , maka baja tekan belum leleh ( $f's < f_y$ , sesuai asumsi, kedua)

Perhitungan momen nominal penampang dengan tulangan tekan sebagai tulangan semu:

- Momen lentur nominal

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 f'_c b a \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \cdot 28,057 \cdot 150 \cdot 29,881 \cdot \left( 147 - \frac{29,881}{2} \right) \\ &= 14116151,628 \text{ Nmm} = 1411,615 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Beban terpusat dan merata

$$M_u = \frac{1}{4} P l + \frac{1}{8} q l^2$$

$$\phi M_n = \frac{1}{4} P l + \frac{1}{8} q l^2$$

$$0,8 \times 1411,615 = \frac{1}{4} P \cdot 1 + \frac{1}{8} \cdot 72 \cdot 1^2$$

$$1129,292 = \frac{1}{4} P + 9$$

$$P = 4 (1129,292 - 9)$$

$$P = 4481,169 \text{ kg}$$

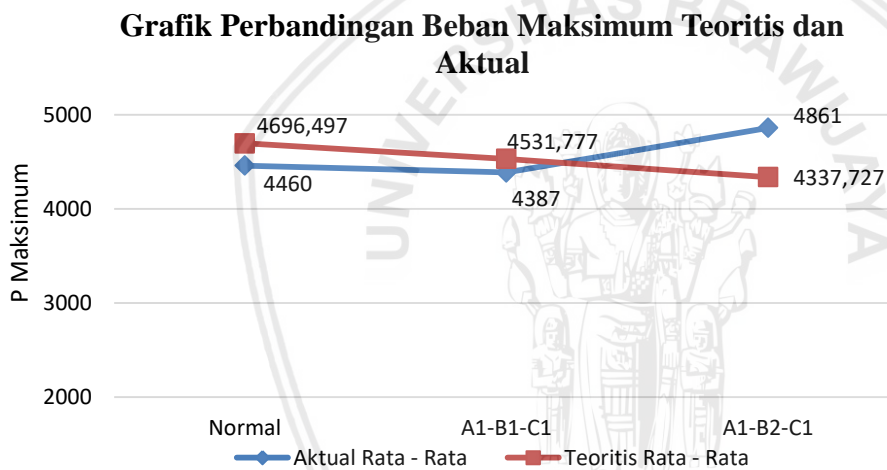
Cara ini digunakan untuk menghitung semua variasi balok, dimana perhitungannya mengabaikan pengaruh serat

Untuk mendapatkan nilai pembebanan yang optimum saat kondisi lentur tercapai, dilakukan pengujian pada saat balok beton telah mencapai umur 28 hari. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil pembebanan maksimum dan dibandingkan dengan perhitungan teoritis yang disajikan dalam tabel 4.7 :

Tabel 4.7 Perbandingan Beban Maksimum Aktual dan Teoritis

Benda Uji Balok Beton Bertulang	Kode	P Maks (Kg)		KR %
		Aktual	Teoritis	
Normal (Tanpa Serat)	N1	4500	4481,169	0,420
	N2 (1)	4780	4804,161	0,503
	N2 (2)	4100	4804,161	17,175
Penambahan Serat 4 cm	A1-B1-C1 (1)	4244	4531,777	6,781
	A1-B1-C1 (2)	4530	4531,777	0,039
Penambahan Serat 8 cm	A1-B2-C1 (1)	4698	4337,727	8,306
	A1-B2-C1 (2)	5024	4337,727	15,821

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.3 Grafik perbandingan beban maksimum teoritis dan aktual

Berdasarkan gambar 4.3, dapat dilihat bahwa grafik Pmaks teoritis rerata mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan perhitungan teoritis dipengaruhi oleh penggunaan data  $f'c$  silinder, dimana silinder merupakan data sekunder dari benda uji balok. Sedangkan untuk Pmaks aktual, menunjukkan bahwa balok dengan penambahan variasi panjang 4 cm memiliki Pmaks yang lebih rendah dari balok normal (turun 1,6% < 5%) penurunan yang tidak signifikan, sedangkan pada penambahan serat 8 cm, Pmaks mengalami kenaikan dari balok normal (naik 8,3% > 5%) sehingga terlihat kenaikan cukup signifikan. Penurunan nilai Pmaks pada penambahan serat 4 cm dapat disebabkan oleh perlakuan pada serat, dimana 50% nya mendapatkan perlakuan amplas pada kedua sisinya, sedangkan sisanya hanya pada satu sisi saja. Dibandingkan dengan penambahan serat variasi panjang 8 cm yang seluruhnya mengalami amplas hanya pada satu sisi saja.



Pengamplasan pada kedua sisi serat dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan serat karena serat semakin menipis, sehingga amplas pada satu sisi saja lebih efektif. Namun, apabila serat tidak dikasarkan, maka dapat menyebabkan permukaan serat lebih licin, sehingga mampu mengurangi daya lekat antara serat dengan material beton.

#### 4.4 Berat Balok dan Silinder Beton

Berat silinder beton pada penelitian ini ditampilkan dalam tabel 4.8 :

Tabel 4.8 Berat Balok Beton Serat dan Silinder

Benda Uji	Kode	W balok (kg)	W silinder (Kg)
Tanpa serat (Normal)	N1	97,10	12,45
	N2 (1)	95,90	12,5
	N2 (2)	97,15	12,5
Penambahan Serat 4 cm	A1-B1-C1 (1)	92,15	12,4
	A1-B1-C1 (2)	93,15	12,4
Penambahan Serat 8 cm	A1-B2-C1 (1)	97,05	12,35
	A1-B2-C1 (2)	97,05	12,35

Sumber : Hasil Penelitian

#### 4.5 Berat Volume Silinder Beton

Perhitungan volume silinder didapatkan dari berat silinder dibagi dengan volume silindernya. Nilai ini kemudian dipergunakan untuk menghitung besarnya modulus elastisitas yang dipengaruhi oleh variabel mutu beton ( $f'c$ ) dan berat volume silinder ( $Wc$ ). Besarnya nilai berat volume silinder beton ( $Wc$ ) ditampilkan dalam tabel 4.9 :

Tabel 4.9 Berat Volume Silinder Beton

Benda Uji	W Silinder (kg)	Vol. Silinder ( $m^3$ )	Wc Silinder ( $kg/m^3$ )	Wc Silinder Rerata ( $kg/m^3$ )
N1	12,4	0,005304	2338,047	2347,475
	12,5	0,005304	2356,902	
N2	12,45	0,005304	2347,475	2356,902
	12,3	0,005304	2319,192	
	12,75	0,005304	2404,040	

Benda Uji	W Silinder (kg)	Vol. Silinder (m <sup>3</sup> )	Wc Silinder (kg/m <sup>3</sup> )	Wc Silinder Rerata (kg/m <sup>3</sup> )
A1-B1-C1	12,4	0,005304	2338,047	2338,047
	12,45	0,005304	2347,475	
	12,35	0,005304	2328,620	
A1-B2-C1	12,45	0,005304	2347,475	2328,62
	12,15	0,005304	2290,909	
	12,45	0,005304	2347,475	

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel 4.9, dapat diketahui bahwa silinder normal memiliki berat volume terbesar dibandingkan silinder dengan penambahan serat panjang.

#### 4.6 Analisis Perhitungan Balok Beton Bertulang

##### 4.6.1 Modulus Elastisitas

Untuk mendapatkan besarnya modulus elastisitas beton, dapat digunakan rumus seperti yang dibahas pada bab II, yaitu dengan persamaan  $E_c = 0,043 \times w_c^{1,5} \sqrt{f'_c}$  (SNI 2847-2013). Untuk nilai modulus elastisitas secara teoritis dapat langsung diperoleh untuk semua jenis beton karena pada perencanaannya, baik beton normal maupun beton serat dibuat dengan menggunakan mutu dan dimensi yang sama, sedangkan cara aktual menggunakan data yang sesuai dengan hasil pengujian. Sehingga diperoleh nilai modulus elastisitas adalah :

##### 1. Cara Teoritis (Semua Benda Uji Silinder) :

$$E_c = 0,043 \times w_c^{1,5} \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 0,043 \times 2400^{1,5} \sqrt{20,75}$$

$$E_c = 23030,023 \text{ MPa}$$

##### 2. Cara Aktual berdasarkan SNI 2847 – 2013 Silinder Normal N2 (2) :

$$E_c = 0,043 \times w_c^{1,5} \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 0,043 \times 2356,902^{1,5} \sqrt{31,057}$$

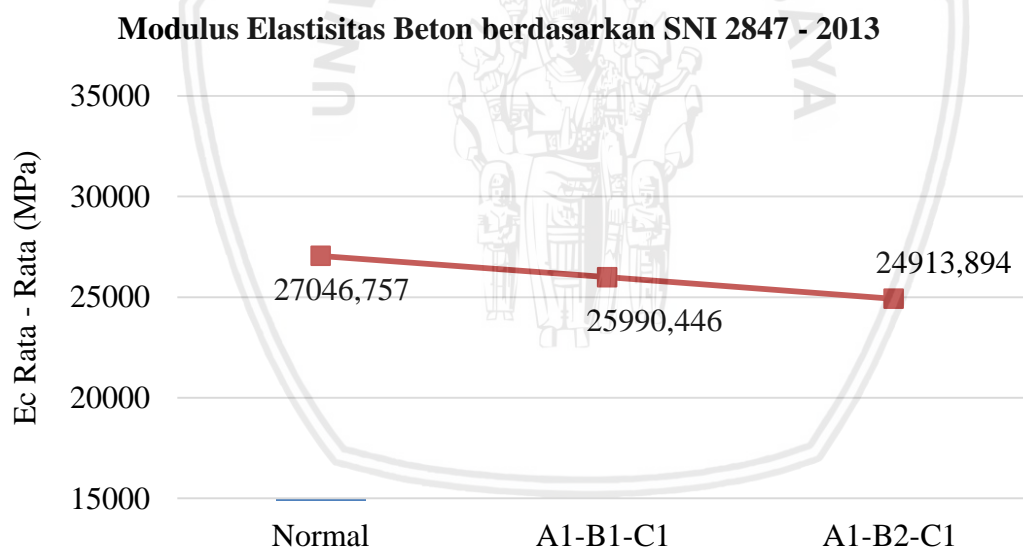
$$E_c = 27617,531 \text{ MPa}$$

Besarnya nilai modulus elastisitas secara aktual berdasarkan SNI 2847 – 2013, disajikan dalam tabel 4.10 :

Tabel 4.10 Modulus Elastisitas Beton secara Aktual berdasarkan SNI 2847 – 2013

Benda Uji	Kode	Wc (kg/m <sup>3</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Modulus Elastisitas	Rerata (MPa)
Tanpa serat (Normal)	N1	2347,475	28,057	25905,209	27046,757
	N2 (1)	2356,902	31,507	27617,531	
	N2 (2)	2356,902	31,507	27617,531	
Penambahan Serat 4 cm	A1-B1-C1 (1)	2338,047	28,585	25990,446	25990,446
	A1-B1-C1 (2)	2338,047	28,585	25990,446	
Penambahan Serat 8 cm	A1-B2-C1 (1)	2328,620	26,586	24913,894	24913,894
	A1-B2-C1 (2)	2328,620	26,586	24913,894	

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.4 Grafik perbandingan Modulus Elastisitas Beton aktual berdasarkan SNI 2847 – 2013

Berdasarkan cara SNI ini, terlihat bahwa beton normal memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan beton dengan penambahan variasi panjang serat kaleng. Hal ini terjadi karena cara SNI dipengaruhi oleh data  $f'_c$  dan  $w_c$ . Sehingga, perhitungan modulus elastisitas beton menggunakan cara SNI 2847-2013 tidak memperlihatkan manfaat penambahan variasi serat sebagai bahan campuran beton.

Sehingga, dilakukan pendekatan aktual dengan menggunakan data tegangan – regangan yang diperoleh dari hasil pengujian balok untuk menghitung besarnya nilai modulus elastisitas sesuai ASTM C469-02 yang dihitung dengan cara berikut :

### 3. Cara Aktual berdasarkan ASTM C469 Normal N2 (2) :

$$E = \frac{(s_2 - s_1)}{(\epsilon_2 - 0,00005)}, \text{dimana datanya didapatkan berdasarkan :}$$

$$P_{crack} = 1400 \text{ kg} \quad (\text{sesuai } P \text{ first crack aktual})$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$l = 1000 \text{ mm} \quad (\text{Tumpuan – Tumpuan})$$

$$f'_c = 31,507 \text{ MPa}$$

$$y_t = \frac{1}{2} \times 200$$

$$= 100 \text{ mm}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 150 \times 200^3$$

$$= 100000000 \text{ mm}^4$$

$$f_r = 0,62\sqrt{f'_c} \rightarrow$$

$$= 0,62\sqrt{31,507}$$

$$= 3,480 \text{ MPa}$$

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

$$E \text{ beton} = 27617,531 \text{ MPa}$$

$$n = E \text{ baja}/E \text{ beton}$$

$$= 7,242$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t}$$

Rumus tersebut digunakan untuk balok normal, namun dalam kasus ini, rumus tersebut juga digunakan dalam perhitungan balok serat, dikarenakan belum ada rumus modulus retak khusus balok serat.

Digunakan E beton dengan pendekatan sesuai SNI 2487 – 2013, sebagai acuan awal untuk mencari Icr yang dipengaruhi oleh n.

$$= \frac{3,480 \times 10^8}{100}$$

$$= 3480131,891 \text{ Nmm}$$

$$Ma = \frac{1}{4} Pl + \frac{1}{8} ql^2$$

$$= \left( \frac{1}{4} \cdot 1400 \cdot 1000 + \frac{1}{8} \cdot (150 \cdot 200 \cdot 0,0000024) \cdot 1000^2 \right) \cdot 10$$

$$= 3590000 \text{ Nmm}$$

Perhitungan kedudukan garis netral (y)

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot y^2 + n \cdot As' \cdot y - n \cdot As' \cdot d' - n \cdot As \cdot d + n \cdot As \cdot y = 0$$

$$75y^2 + 1035,574y - 54885,427 - 152229,392 + 1035,57y = 0$$

$$75y^2 + 2071,148y - 207114,819 = 0$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \rightarrow y_1 = 40,526 \text{ mm}$$

$$y_2 = -68,142 \text{ mm}$$

digunakan  $y_1 = 40,526 \text{ mm}$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 + n \cdot As \cdot (d-y)^2 + n \cdot As' \cdot (y-d')^2$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 150 \cdot 40,526^3 + 7,242 \cdot 143 \cdot (147-40,526)^2 + 7,242 \cdot 143 \cdot (40,526-53)^2$$

$$= 15229049,323 \text{ mm}^4$$

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left( 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right) \times I_{cr}$$

$$= \left( \frac{3480131,891}{3590000} \right)^3 \times 10^8 + \left( 1 - \left( \frac{3480131,891}{3590000} \right)^3 \right) \times 15229049,323$$

$$= 92452787 \text{ mm}^4$$

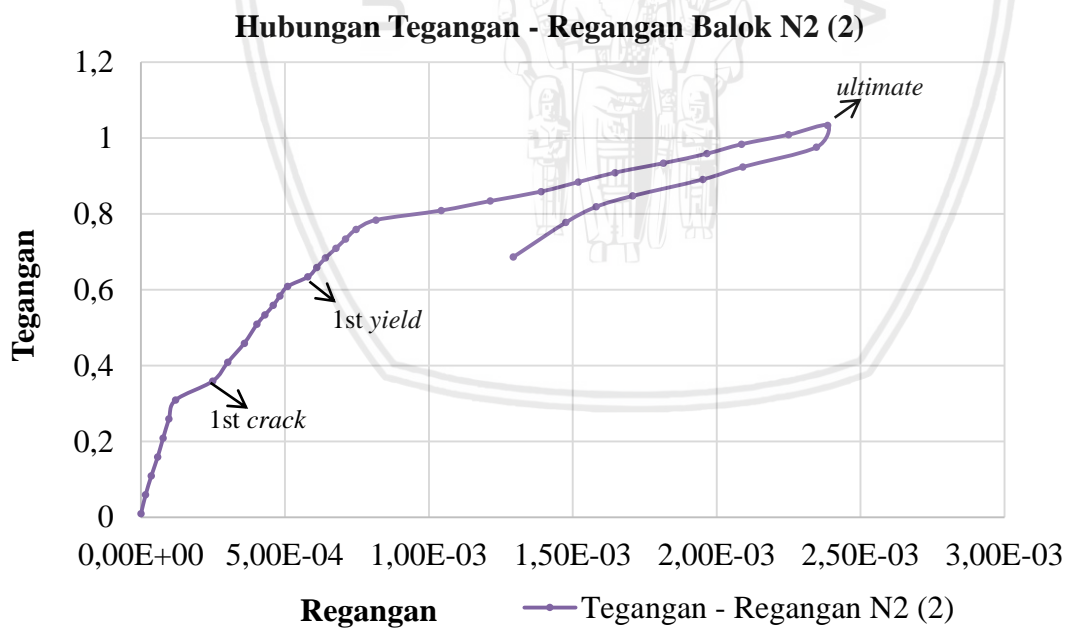
Berdasarkan percobaan dengan *strain gauge* diperoleh nilai tegangan – regangan yang dihaluskan untuk mempermudah perhitungan. Besarnya nilai tersebut dituliskan dalam tabel 4.11 :

Tabel 4.11 Hubungan tegangan – regangan untuk mencari  $E_c$

Titik Tinjau	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) kg/mm <sup>2</sup>	
Zero	0	0	(titik awal)
Start	0,00,E+00	9,00,E-03	(saat beban 0 kg)
First Crack	2,49,E-04	3,88,E-01	(saat <i>first crack</i> pengujian)
First Yield	5,80,E-04	6,86,E-01	(asumsi <i>yield</i> )
Ultimate	2,39,E-03	1,12,E+00	(saat beban maksimum)

Sumber : Hasil Penelitian

Besarnya tegangan dan regangan dari tabel 4.11 diperoleh berdasarkan pengujian secara aktual, dimana pengambilan titik tinjau didasarkan pada gambar grafik berikut :



Gambar 4.5 Grafik hubungan tegangan – regangan balok N2 (2)

- Titik first crack berdasarkan data sebelumnya,

$$\sigma_{first\ crack} = \frac{M \cdot y}{I_e} = \frac{359000 \cdot 100}{92452787} = 0,388 \text{ Kg/mm}^2$$

Sehingga dapat diperoleh nilai – nilai berikut untuk mendapatkan  $E_c$  secara aktual berdasarkan hubungan Tegangan ( $\sigma$ ) – Regangan ( $\epsilon$ ) :

Kode	$S_2$ ( Kg/mm <sup>2</sup> )	( $\epsilon_2$ )	$S_1$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_1$
N2.2	0,447	3,147E-04	0,085	5,00E-05

Dimana,

$$S_2 = 40\% \times \sigma_{ult}$$

$$= 40\% \times 1,12$$

$$= 0,447 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\epsilon_2 = (\epsilon \text{ saat } S_2 = 0,447 \text{ dengan cara interpolasi, data tabel 4.11})$$

$$= 2,49 \times 10^{-4} + (5,80 \times 10^{-4} - 2,49 \times 10^{-4}) \times \left( \frac{0,447 - 0,3883}{0,686 - 0,3883} \right)$$

$$= 3,147 \times 10^{-4}$$

$$S_1 = (\text{Tegangan saat } \epsilon_1 = 5 \times 10^{-5} \text{ dengan cara interpolasi, data tabel 4.11})$$

$$= 9,00 \times 10^{-3} + (3,883 \times 10^{-1} - 9,00 \times 10^{-3}) \times \left( \frac{3,147 \times 10^{-4} - 0}{2,49 \times 10^{-4} - 0} \right)$$

$$= 8,52 \times 10^{-2}$$

$$\epsilon_1 = 5 \times 10^{-5}$$

Setelah dikonversikan menjadi,

Kode	$S_2$ (Psi)	$\epsilon_2$	$S_1$ (Psi)	$\epsilon_1$	$E_c$ (Psi)	$E_c$ (Mpa)
N2.2	636,3	3,1E-04	121,134	5,E-05	1946088,442	13417,807

$$1 \text{ Kg/mm}^2 = 1422,33348 \text{ Psi}, \quad 1 \text{ Psi} = 0,006894757 \text{ MPa}$$

$$E_c = \frac{(636,3 - 121,134)}{(3,147 \times 10^{-4}) - (5 \times 10^{-5})}$$

$$= 1946088,442 \text{ Psi}$$

$$= 13417,807 \text{ MPa}$$

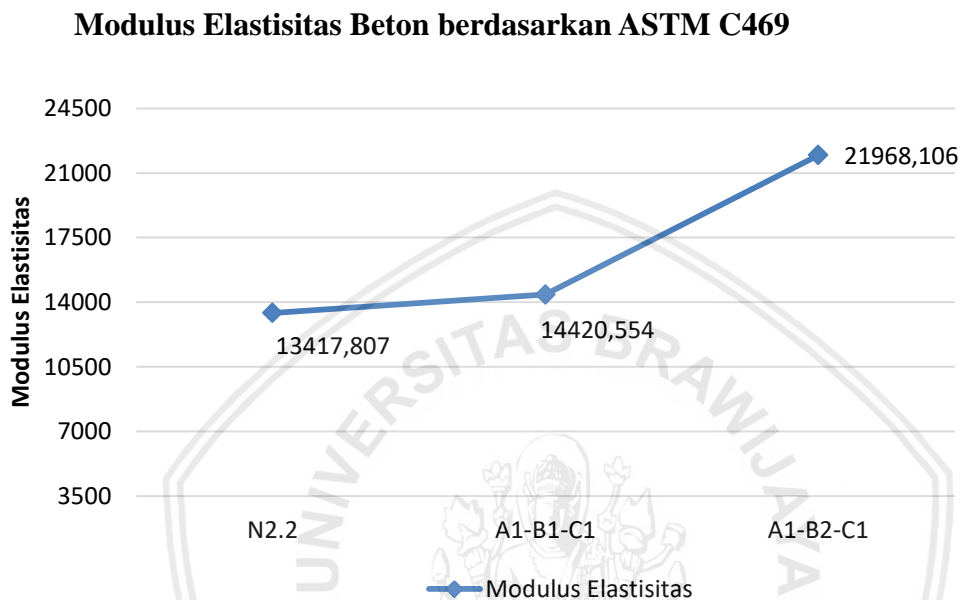
Besarnya nilai modulus elastisitas secara aktual berdasarkan ASTM C469, disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 4.12 Modulus Elastisitas Beton secara Aktual berdasarkan ASTM C469



Kode	S2	e2	S1	e1	Ec (Psi)	Ec (Mpa)
N2 (2)	636,889	3,1E-04	121,134	5,E-05	1946088,442	13417,807
A1-B1-C1 (1)	741,695	3,4E-04	140,744	5,E-05	2091524,570	14420,554
A1-B2-C1 (1)	1208,220	3,6E-04	204,373	5,E-05	3186204,559	21968,106

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.6 Grafik perbandingan modulus elastisitas beton aktual berdasarkan ASTM C469

Karena keterbatasan *strain gauge*, data  $E_c$  tersebut diasumsikan sama untuk variasi yang sama. Sebagai contoh,  $E_c$  N2 (2) dianggap sama dengan nilai  $E_c$  N1 dan N2 (1).

Berdasarkan cara ASTM, terlihat bahwa besarnya modulus elastisitas beton ; normal lebih kecil dibandingkan penambahan serat, baik itu serat 4 cm (naik 6,9%) maupun serat 8 cm (naik 38,9%). Cara ini memperlihatkan bahwa dengan penambahan variasi panjang serat kaleng akan meningkatkan besarnya nilai modulus elastisitas balok beton bertulang.

Besarnya nilai modulus elastisitas ini bergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji. Lebih lanjut, perbedaan nilai ini karena beton memiliki deformasi yang permanen, yaitu bentuk tidak dapat kembali seperti semula setelah dibebani.

Untuk menarik kesimpulan nilai modulus elastisitas berdasarkan cara SNI 2487 – 2013 dan ASTM C469, diperlukan hasil tinjauan kekakuan aktual dan teoritis balok, dimana nilai modulus elastisitas berbanding lurus (*trendline*) dengan kekakuan.

#### 4.6.2 Kekakuan

Kekakuan merupakan ukuran tegangan yang dibutuhkan untuk mengubah satuan bentuk suatu bahan atau dapat pula diidentifikasi sebagai kemiringan garis grafik hubungan beban dan lendutan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diambil 2 titik tinjauan untuk memperoleh nilai kekakuan, yaitu titik tinjau 1, saat balok mengalami retak pertama dalam pengujian, dan titik tinjau 2, saat beban 1000 kg yang merupakan titik kontrol beban saat pemompaan ke-5 pada saat pengujian, titik P1000 dipilih sebagai titik kontrol karena semua benda uji belum mengalami retak serta angka 1000 dipilih untuk memudahkan perhitungan. Perbedaan perhitungan pada kedua titik tinjau ini terletak pada penggunaan variabel Inersia,  $P_{crack}$  menggunakan  $I_{efektif}$ , sedangkan P1000 menggunakan  $I_{gross}$ .

#### 1. Kekakuan Tinjau I, dihitung saat balok mengalami retak pertama (*First Crack*)

##### a. Cara Aktual

Diketahui :

$$P_{crack} = 1400 \text{ kg}$$

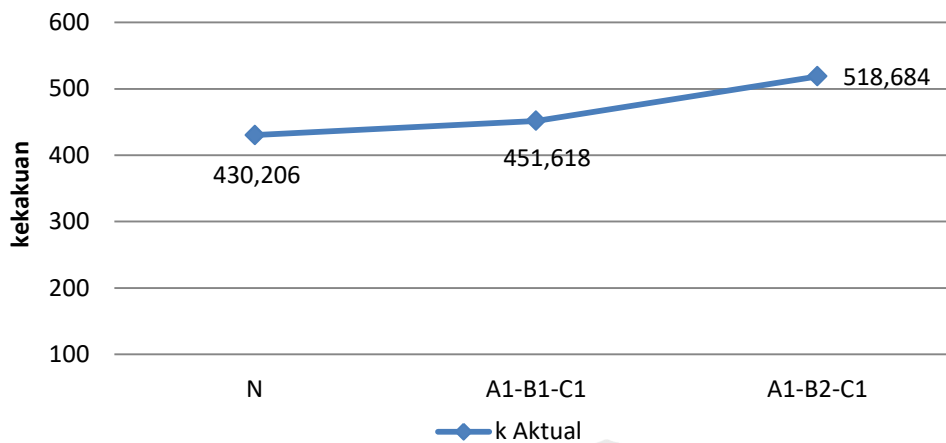
$$\Delta_{bacaan} = 3,120 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga, } k = \frac{p}{\Delta} = \frac{1400 \text{ kg}}{3,120 \text{ mm}} = 448,718 \text{ kg/mm}$$

Tabel 4.13 Kekakuan Aktual Tinjau 1 (*first crack*)

Kode	Aktual			
	$P_{crack}$ (kg)	$\Delta$ (mm)	k (kg/mm)	k rerata (kg/mm)
N1	1400	3,120	448,718	
N2 (1)	1600	3,725	429,530	430,206
N2 (2)	1400	3,395	412,371	
A1-B1-C1 (1)	1400	2,915	480,274	451,618
A1-B1-C1 (2)	1400	3,310	422,961	
A1-B2-C1 (1)	1600	2,995	534,224	518,684
A1-B2-C1 (2)	1600	3,180	503,145	

Sumber : Hasil Penelitian

**Grafik Kekakuan Balok Tinjau 1 (First Crack) secara Aktual**

Gambar 4.7 Grafik kekakuan balok tinjau 1 secara aktual

**b. Cara Teoritis**

(b1.1 Data lendutan sesuai perhitungan SNI 2847 – 2013)

Diketahui : Balok N 2 (2) data sesuai perhitungan Modulus elastisitas sebelumnya

 $P_{crack} = 1400 \text{ kg}$  (sesuai  $P_{first\ crack}$  aktual) $b = 150 \text{ mm}$  $h = 200 \text{ mm}$  $q = b \times h \times (\text{BJ Beton})$  $= 0,072 \text{ kg/mm}^3$  $l = 1000 \text{ mm}$  ( Tumpuan – Tumpuan) $f'_c = 31,507 \text{ MPa}$  $E \text{ baja} = 200000 \text{ MPa}$  $E \text{ beton} = 27617,531 \text{ MPa}$  $n = 7,242$  $y_t = \frac{1}{2} \times 200$

$$= 100 \text{ mm}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 150 \times 200^3$$

$$= 100000000 \text{ mm}^4$$

$$f_r = 0,62\sqrt{f'_c} \rightarrow$$

$$= 0,62\sqrt{31,507}$$

$$= 3,480 \text{ MPa}$$

Rumus tersebut digunakan untuk balok normal, namun dalam kasus ini, rumus tersebut juga digunakan dalam perhitungan balok serat, dikarenakan belum ada rumus modulus retak khusus balok serat.

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t}$$

$$= \frac{3,480 \times 10^8}{100}$$

$$= 3480131,891 \text{ Nmm}$$

$$M_a = 3590000 \text{ Nmm}$$

Perhitungan kedudukan garis netral (y)

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot y^2 + n \cdot A_s' \cdot y - n \cdot A_s' \cdot d' - n \cdot A_s \cdot d + n \cdot A_s \cdot y = 0$$

$$75y^2 + 1035,574y - 54885,427 - 152229,392 + 1035,57y = 0$$

$$75y^2 + 2071,148y - 207114,819 = 0$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \rightarrow y_1 = 40,526 \text{ mm}$$

$$y_2 = -68,142 \text{ mm}$$

digunakan  $y_1 = 40,526 \text{ mm}$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 + n \cdot A_s \cdot (d-y)^2 + n \cdot A_s' \cdot (y-d')^2$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 150 \cdot 40,526^3 + 7,242 \cdot 143 \cdot (147-40,526)^2 + 7,242 \cdot 143 \cdot (40,526-53)^2$$

$$= 15229049,323 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}
 I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) \times I_{cr} \\
 &= \left(\frac{3480131,891}{3590000}\right)^3 \times 10^8 + \left(1 - \left(\frac{3480131,891}{3590000}\right)^3\right) \times 15229049,323 \\
 &= 92452728 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

diperoleh nilai lendutan ;

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \Delta_1 + \Delta_2 \\
 &= \frac{Pl^3}{48 E_c I_e} + \frac{5ql^4}{384 E_c I_e} \\
 &= 0,114 + 0,004 = 0,118 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga, } k = \frac{p}{\Delta} = \frac{1400 \text{ kg}}{0,118 \text{ mm}} = 11874,253 \text{ kg/mm}$$

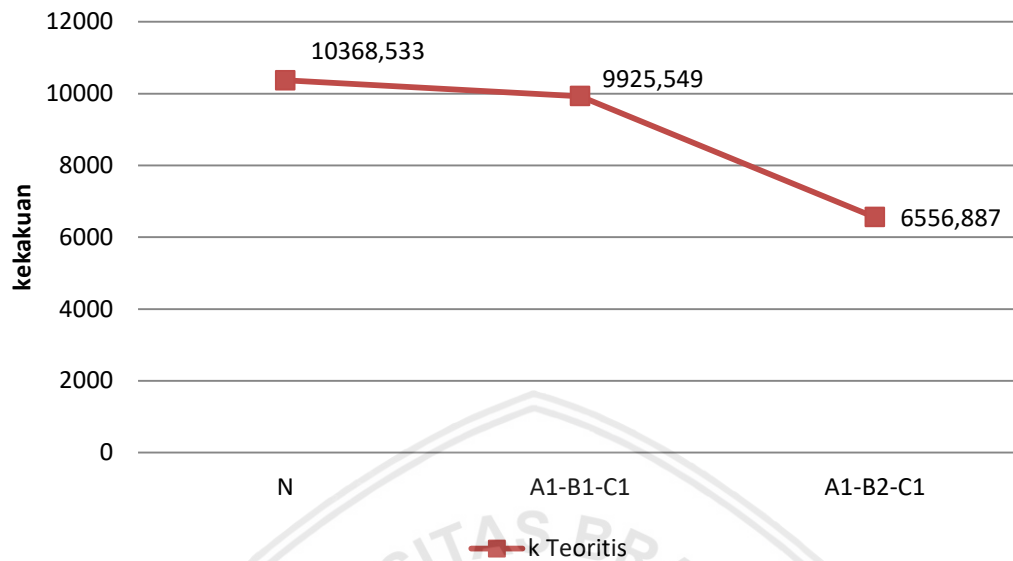
Adapun hasil perhitungan kekakuan tinjau 1 teoritis berdasarkan SNI 2847 – 2013 dituliskan dalam tabel 4.14.

Tabel 4.14 Kekakuan Teoritis Tinjau 1 sesuai SNI 2847 - 2013 (*first crack*)

Kode	Teoritis			
	P <sub>crack</sub> (kg)	Δ (mm)	k (kg/mm)	k rerata (kg/mm)
N1	1400	0,133	10534,191	10368,533
N2 (1)	1600	0,184	8697,155	
N2 (2)	1400	0,118	11874,253	
A1-B1-C1 (1)	1400	0,141	9925,549	9925,549
A1-B1-C1 (2)	1400	0,141	9925,549	
A1-B2-C1 (1)	1600	0,244	6556,887	6556,887
A1-B2-C1 (2)	1600	0,244	6556,887	

Sumber : Hasil Penelitian

**Grafik Kekakuan Balok Tinjau 1 (*First Crack*) secara Teoritis berdasarkan SNI 2847 - 2013**



Gambar 4.8 Grafik kekakuan balok tinjau 1 teoritis berdasarkan SNI 2847 - 2013

(b1.2 Data lendutan sesuai perhitungan **ASTM C469**)

Diketahui : Balok N 2 (2) data sesuai perhitungan Modulus elastisitas sebelumnya

$P_{crack}$  = 1400 kg (sesuai  $P_{first\ crack}$  aktual)

$b$  = 150 mm

$h$  = 200 mm

$q$  =  $b \times h \times (BJ\ Beton)$

= 0,072 kg/mm<sup>3</sup>

$l$  = 1000 mm ( Tumpuan – Tumpuan)

$E\ baja$  = 200000 MPa

$E\ beton$  = 13417,807 MPa

$n$  = 14,906

$y_t$  =  $\frac{1}{2} \times 200$

= 100 mm

$$I_g = \frac{1}{12} \times 150 \times 200^3$$

$$= 100000000 \text{ mm}^4$$

$$f_r = 0,62\sqrt{f'c} \rightarrow$$

$$= 0,62\sqrt{31,507}$$

$$= 3,480 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t}$$

$$= \frac{3,480 \times 10^8}{100}$$

$$= 3480131,891 \text{ Nmm}$$

$$M_a = 3590000 \text{ Nmm}$$

Perhitungan kedudukan garis netral (y)

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot y^2 + n \cdot A_s' \cdot y - n \cdot A_s' \cdot d' - n \cdot A_s \cdot d + n \cdot A_s \cdot y = 0$$

$$75y^2 + 2131,5y - 112969,281 - 313329,893 + 2131,5y = 0$$

$$75y^2 + 4262,99y - 426299,174 = 0$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \rightarrow y_1 = 52,151 \text{ mm}$$

$$y_2 = -108,991 \text{ mm}$$

digunakan  $y_1 = 52,151 \text{ mm}$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 + n \cdot A_s \cdot (d-y)^2 + n \cdot A_s' \cdot (y-d')^2$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 150 \cdot 52,151^3 + 14,906 \cdot 143 \cdot (147-52,151)^2 + 14,906 \cdot 143 \cdot (52,151-53)^2$$

$$= 26259006,211 \text{ mm}^4$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) \times I_{cr}$$

Rumus tersebut digunakan untuk balok normal, namun dalam kasus ini, rumus tersebut juga digunakan dalam perhitungan balok serat, dikarenakan belum ada rumus modulus retak khusus balok serat.



$$= \left(\frac{3480131,891}{3590000}\right)^3 \times 10^8 + \left(1 - \left(\frac{3480131,891}{3590000}\right)^3\right) \times 26259006,211$$

$$= 93435681,537 \text{ mm}^4$$

diperoleh nilai lendutan ;

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

$$= \frac{Pl^3}{48 Ec Ie} + \frac{5ql^4}{384 Ec Ie}$$

$$= 0,233 + 0,0075$$

$$= 0,240 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga, } k = \frac{p}{\Delta} = \frac{1400 \text{ kg}}{0,240 \text{ mm}} = 5830,365 \text{ kg/mm}$$

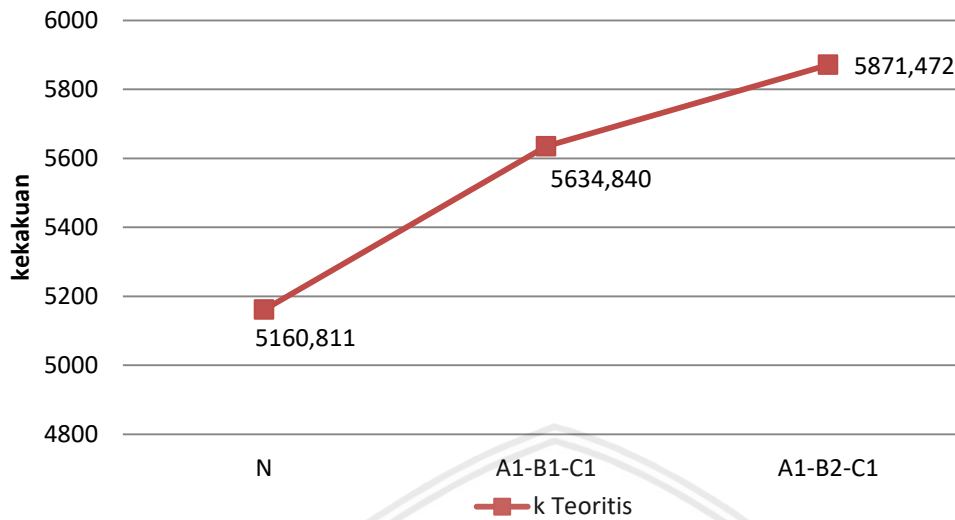
Adapun hasil perhitungan kekakuan tinjau 1 teoritis berdasarkan ASTM C469-02 dituliskan dalam tabel 4.15.

Tabel 4.15 Kekakuan Teoritis Tinjau 1 sesuai ASTM C469 (*first crack*)

Kode	Teoritis			
	P crack (kg)	$\Delta$ (mm)	k (kg/mm)	k rerata (kg/mm)
N1	1400	0,271	5161,076	5160,811
N2 (1)	1600	0,356	4490,991	
N2 (2)	1400	0,240	5830,365	
A1-B1-C1 (1)	1400	0,248	5634,840	5634,840
A1-B1-C1 (2)	1400	0,248	5634,840	
A1-B2-C1 (1)	1600	0,273	5871,472	5871,472
A1-B2-C1 (2)	1600	0,273	5871,472	

Sumber : Hasil Penelitian

**Grafik Kekakuan Balok Tinjau 1 (First Crack) secara Teoritis berdasarkan ASTM C469**



Gambar 4.9 Grafik kekakuan balok tinjau 1 teoritis berdasarkan ASTM C469

## 2. Kekakuan Tinjau II, dihitung saat beban mencapai 1000 kg

### a. Cara Aktual

Diketahui :

$$P_{1000} = 1000 \text{ kg}$$

$$\Delta_{\text{bacaan}} = 2,180 \text{ mm}$$

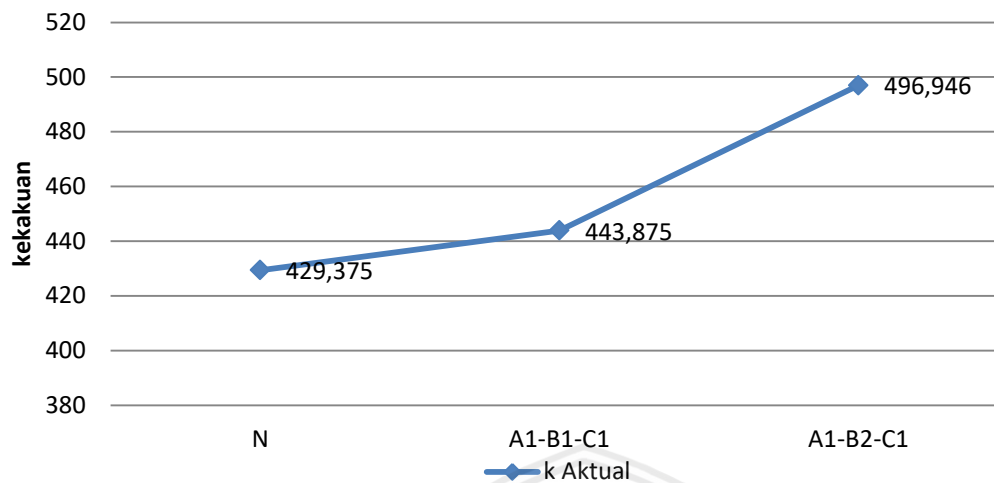
$$\text{Sehingga, } k = \frac{p}{\Delta} = \frac{1000 \text{ kg}}{2,180 \text{ mm}} = 458,716 \text{ kg/mm}$$

Tabel 4.16 Kekakuan Aktual Tinjau 2 (saat beban 1000 kg)

Kode	Aktual			k rerata (kg/mm)
	P 1000 (kg)	$\Delta$ (mm)	k (kg/mm)	
N1	1000	2,180	458,716	
N2 (1)	1000	2,465	405,680	429,375
N2 (2)	1000	2,360	423,729	
A1-B1-C1 (1)	1000	2,115	472,813	443,875
A1-B1-C1 (2)	1000	2,410	414,938	
A1-B2-C1 (1)	1000	1,915	522,193	496,946
A1-B2-C1 (2)	1000	2,120	471,698	

Sumber : Hasil Penelitian

**Grafik Kekakuan Balok Tinjau 2 (Beban 1000 Kg) secara Aktual**



*Gambar 4.10* Grafik kekakuan balok tinjau 2 secara aktual

## b. Cara Teoritis

(b2.1 Data lendutan sesuai perhitungan **SNI 2847 – 2013**)

Diketahui : Balok N 2 (2) data sesuai perhitungan Modulus elastisitas sebelumnya

P1000 = 1000 kg (P kontrol berdasarkan beban kontrol aktual)

b = 150 mm

h = 200 mm

l = 1000 mm ( Tumpuan – Tumpuan)

f'c = 31,507 MPa

E baja = 200000 MPa

\*E beton = 27617,531 MPa

Ig =  $\frac{1}{12} \times 150 \times 200^3$

= 100000000 mm<sup>4</sup> →

Digunakan Ig saja, karena saat beban 1000 kg, balok belum mengalami retak.

diperoleh nilai lendutan ;

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{Pl^3}{48 Ec Ig} + \frac{5ql^4}{384 Ec Ig}$$

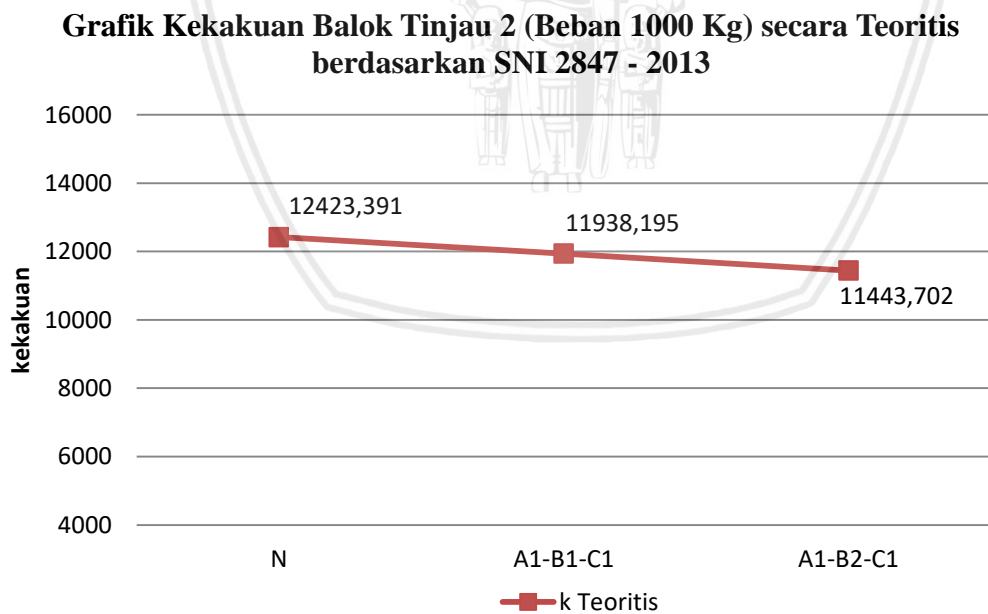
$$= 0,075 + 0,0034 = 0,0788 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga, } k = \frac{p}{\Delta} = \frac{1000 \text{ kg}}{0,0788 \text{ mm}} = 12685,565 \text{ kg/mm}$$

Tabel 4.17 Kekakuan Teoritis Tinjau 2 sesuai SNI 2847 – 2013 (saat beban 1000 kg)

Kode	Teoritis			
	P 1000 (kg)	$\Delta$ (mm)	k (kg/mm)	k rerata (kg/mm)
N1	1000	0,084	11899,043	
N2 (1)	1000	0,079	12685,565	12423,391
N2 (2)	1000	0,079	12685,565	
A1-B1-C1 (1)	1000	0,084	11938,195	11938,195
A1-B1-C1 (2)	1000	0,084	11938,195	
A1-B2-C1 (1)	1000	0,087	11443,702	11443,702
A1-B2-C1 (2)	1000	0,087	11443,702	

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.11 Grafik kekakuan balok tinjau 2 teoritis berdasarkan SNI 2847 - 2013

(b2.2 Data lendutan sesuai perhitungan **ASTM C469**)

Diketahui : Balok N 2 (2) data sesuai perhitungan Modulus elastisitas sebelumnya

$$P1000 = 1000 \text{ kg} \quad (\text{P kontrol berdasarkan beban kontrol aktual})$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$l = 1000 \text{ mm} \quad (\text{Tumpuan} - \text{Tumpuan})$$

$$f'c = 31,507 \text{ MPa}$$

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

$$*E \text{ beton} = 13417,807 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 150 \times 200^3$$

$$= 100000000 \text{ mm}^4 \rightarrow$$

Digunakan  $I_g$  saja, karena saat beban 1000 kg, balok belum mengalami retak.

diperoleh nilai lendutan ;

$$\begin{aligned} \Delta &= \Delta_1 + \Delta_2 \\ &= \frac{Pl^3}{48 Ec Ig} + \frac{5ql^4}{384 Ec Ig} \\ &= 0,155 + 0,007 \\ &= 0,162 \text{ mm} \end{aligned}$$

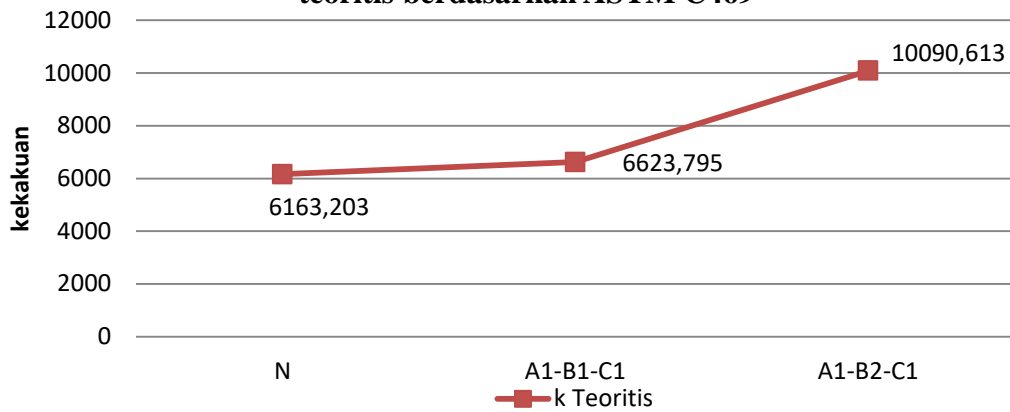
$$\text{Sehingga, } k = \frac{p}{\Delta} = \frac{1000 \text{ kg}}{0,162 \text{ mm}} = 6163,203 \text{ kg/mm}$$

Tabel 4.18 Kekakuan Teoritis Tinjau 2 sesuai ASTM C469 (saat beban 1000 kg)

Kode	Teoritis			
	P 1000 (kg)	$\Delta$ (mm)	k (kg/mm)	k rerata (kg/mm)
N1	1000	0,162	6163,203	
N2 (1)	1000	0,162	6163,203	6163,203
N2 (2)	1000	0,162	6163,203	
A1-B1-C1 (1)	1000	0,151	6623,795	
A1-B1-C1 (2)	1000	0,151	6623,795	6623,795
A1-B2-C1 (1)	1000	0,099	10090,613	
A1-B2-C1 (2)	1000	0,099	10090,613	10090,613

Sumber : Hasil Penelitian

**Grafik Kekakuan Balok Tinjau 2 (Beban 1000 Kg) secara teoritis berdasarkan ASTM C469**



*Gambar Gambar 4.12* Grafik kekakuan Balok Tinjau 2 Teoritis berdasarkan ASTM C469

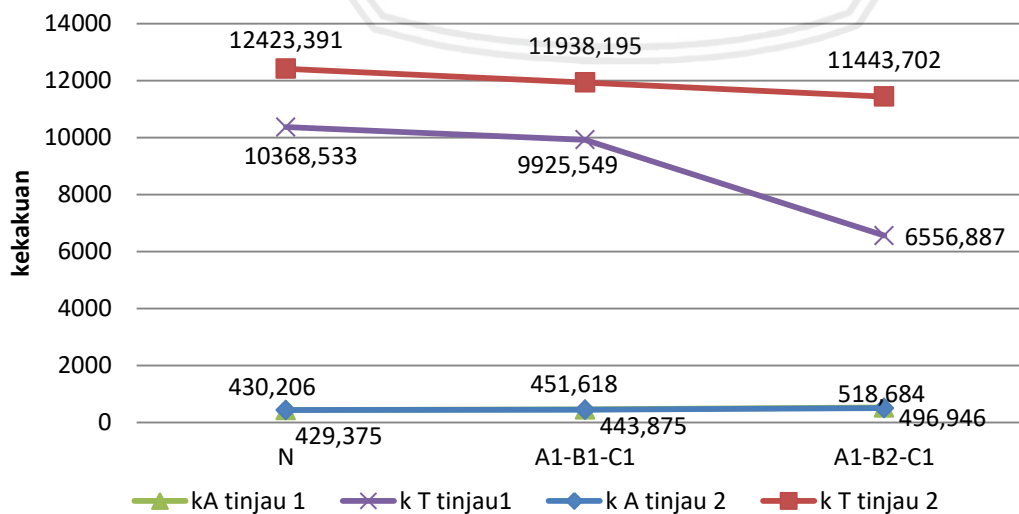
Untuk melihat pengaruh penambahan variasi panjang berdasarkan pengolahan data sebelumnya, dapat dilihat rekapitulasi perbandingannya (cara SNI dan cara ASTM) dalam penyajian data pada tabel 4.19 dan tabel 4.20:

Tabel 4.19 Perbandingan Rerata Kekakuan Balok berdasarkan SNI 2847 - 2013

Kode	Tinjau 1 (first crack)		Tinjau 2 (P = 1000 kg)	
	Aktual	Teoritis	Aktual	Teoritis
N	430,206	10368,533	429,375	12423,391
A1-B1-C1	451,618	9925,549	443,875	11938,195
A1-B2-C1	518,684	6556,887	496,946	11443,702

Sumber : Hasil Penelitian

**Diagram Kekakuan Balok Gabungan berdasarkan SNI 2847 - 2013**



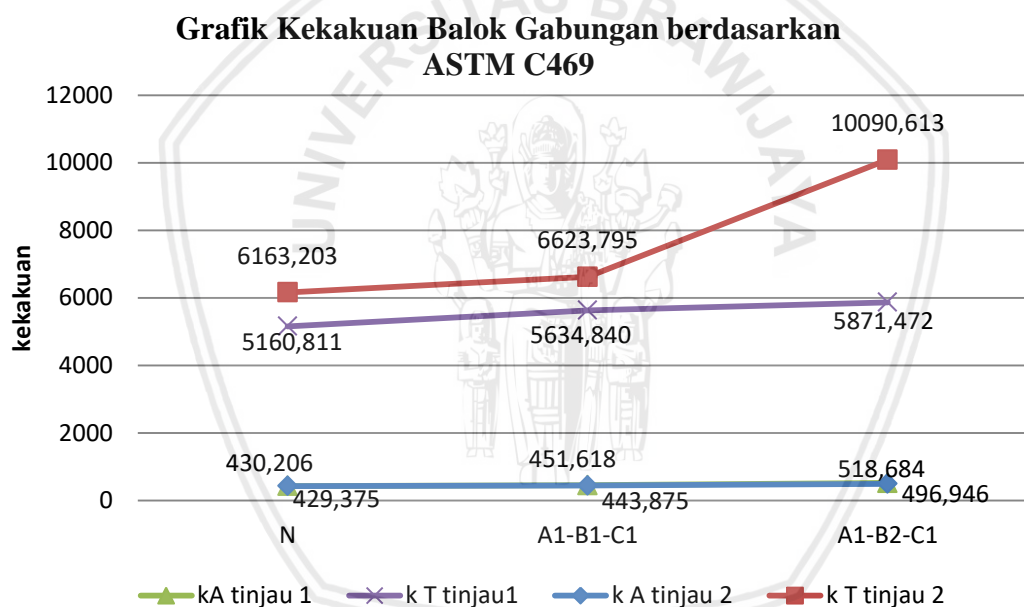
*Gambar 4.13* Grafik kekakuan balok gabungan berdasarkan SNI 2847 - 2013

Berdasarkan hasil perbandingan di atas, dapat disimpulkan bahwa perhitungan kekakuan balok dengan cara SNI 2847 – 2013 memiliki *trendline* yang sebanding dengan modulus elastisitasnya akan tetapi *trendline* kekakuan teoritis berbeda dengan perhitungan kekakuan secara aktual. Sehingga perhitungan dengan cara SNI tidak memperlihatkan pengaruh penggunaan serat kaleng secara signifikan pada balok bertulang.

Tabel 4.20 Perbandingan Rerata Kekakuan Balok berdasarkan ASTM C469

Kode	Tinjau 1 (first crack)		Tinjau 2 (P = 1000 kg)	
	Aktual	Teoritis	Aktual	Teoritis
N	430,206	5160,811	429,375	6163,203
A1-B1-C1	451,618	5634,840	443,875	6623,795
A1-B2-C1	518,684	5871,472	496,946	10090,613

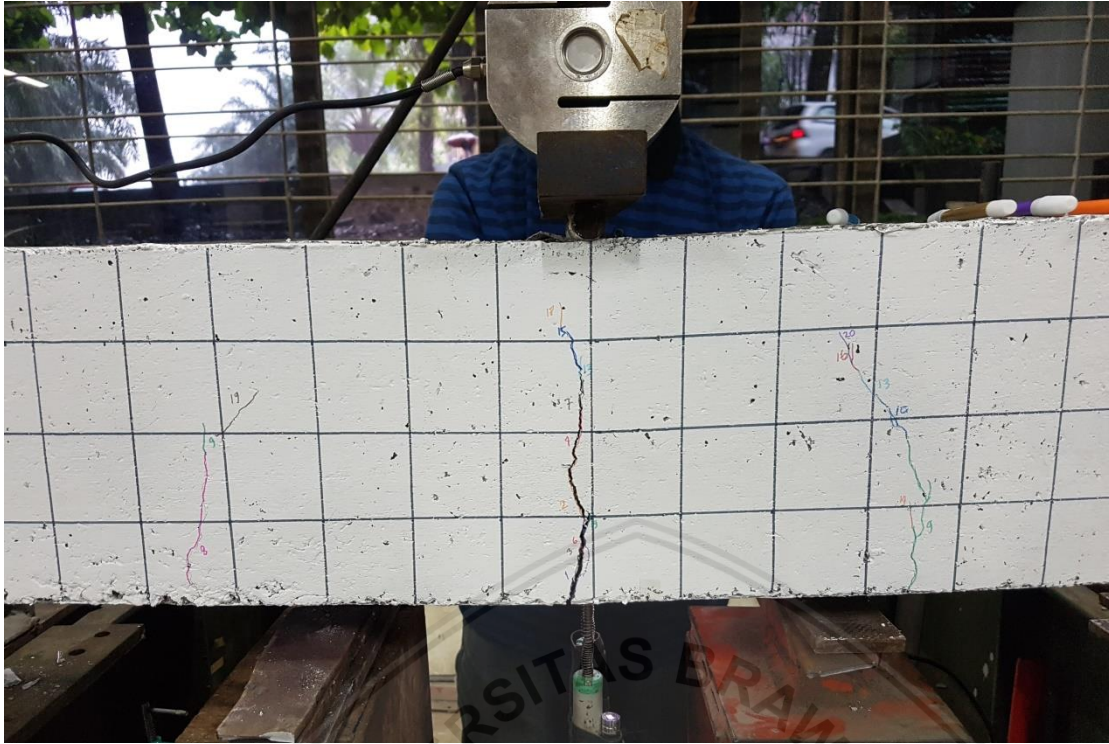
Sumber : Hasil Penelitian



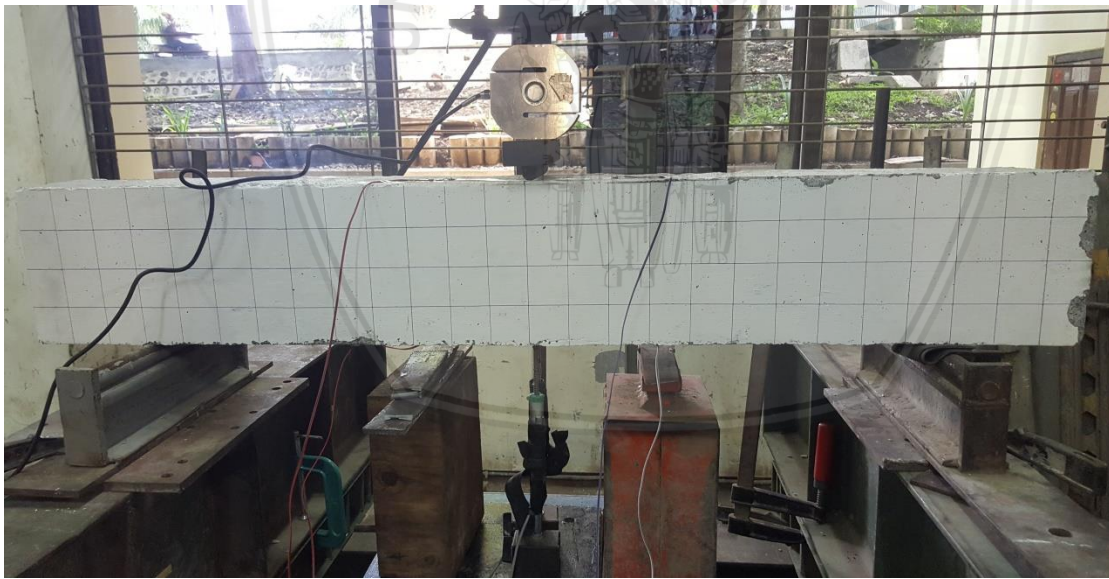
Gambar 4.14 Grafik kekakuan Balok Gabungan berdasarkan ASTM C469

Berdasarkan tabel perbandingan 4.20, dapat disimpulkan bahwa perhitungan kekakuan balok dengan cara ASTM C469 memiliki *trendline* yang sebanding antara kekakuan teoritis dan aktualnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin panjang variasi serat kaleng, maka modulus dan kekakuan akan meningkat dibandingkan dengan balok normal apabila dihitung menggunakan pendekatan ASTM C469-02.





*Gambar 4.15* Kondisi balok N2 (2) pengambilan titik tinjau 1 (saat retak pertama)



*Gambar 4.16* Kondisi balok N2 (2) pengambilan titik tinjau 2 (saat P1000, belum ada retak)

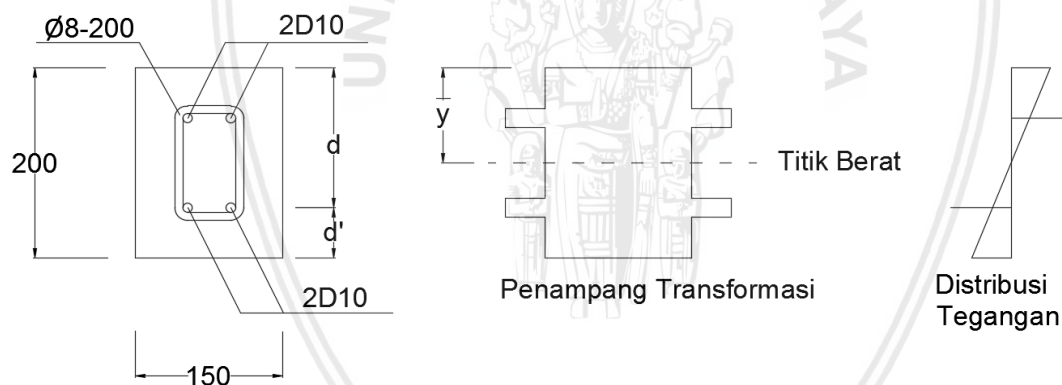
Disamping itu, perhitungan dengan cara ASTM C469 menunjukkan bahwa hasil penelitian telah sesuai dengan 2 hipotesis awal yaitu :

1. Penambahan variasi panjang akan menambahkan nilai modulus elastisitas balok, dan semakin panjang serat kaleng, maka modulus elastisitas balok akan semakin meningkat.
2. Penambahan variasi panjang akan menambahkan nilai kekakuan balok, dan semakin panjang serat kaleng, maka kekakuan balok akan semakin meningkat.

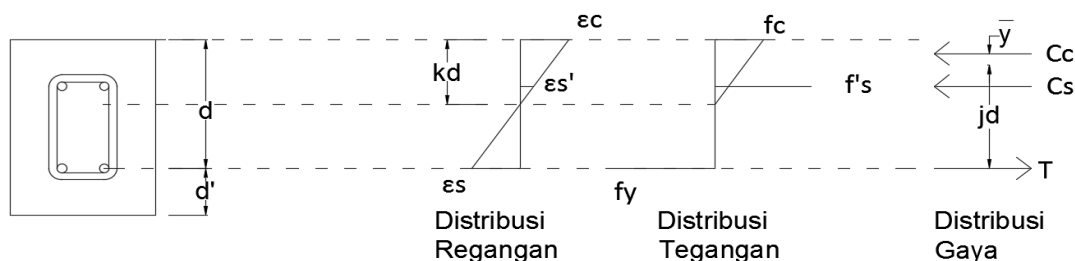
### 4.6.3 Daktilitas

Pada percobaan ini, digunakan perhitungan daktilitas kurvatur. Daktilitas kurvatur sendiri merupakan perbandingan antara besarnya nilai kurvatur pada kondisi *ultimate* dibagi dengan kurvatur pada kondisi *yield*. Untuk mendapatkan besarnya nilai momen – kurvatur pada percobaan ini, dilakukan analisis pada tiga kondisi berbeda yaitu, kondisi tepat sebelum retak pertama (*first crack*), kondisi setelah retak atau leleh pertama (*first yield*) dan kondisi setelah retak saat beban ultimat (*Ultimate*).

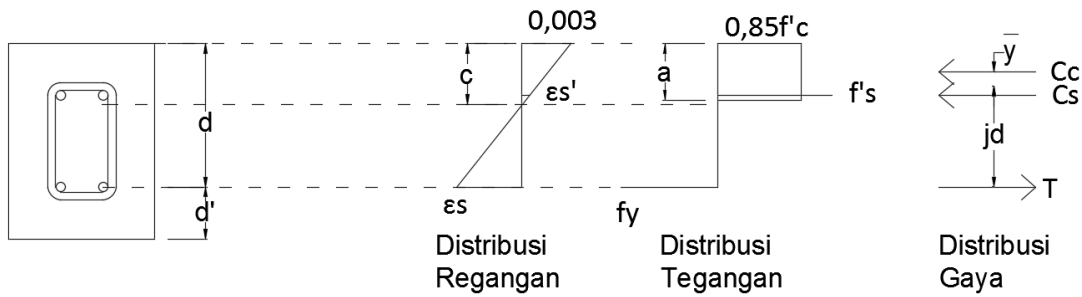
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perhitungan daktilitas secara teoritis pada balok beton bertulang dilakukan dengan cara berikut :



Gambar 4.17 Analisis perhitungan daktilitas dengan teori elastis dan penampang transformasi (kondisi sebelum retak)



Gambar 4.18 Analisis perhitungan daktilitas dengan asumsi beton berperilaku elastis (kondisi setelah retak, saat leleh pertama)



Gambar 4.19 Analisis perhitungan daktilitas dengan asumsi tulangan tekan belum leleh, tulangan tarik sudah leleh (kondisi setelah retak, saat beban ultimat)

$$A_s = A_s' = 143 \text{ mm}^2$$

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

$$f_r = 0,62\sqrt{f'_c} \rightarrow$$

$$= 0,62\sqrt{31,507}$$

$$= 3,480 \text{ MPa}$$

Rumus tersebut digunakan untuk balok normal, namun dalam kasus ini, rumus tersebut juga digunakan dalam perhitungan balok serat, dikarenakan belum ada rumus modulus retak khusus balok serat.

## 1. Daktilitas Teoritis berdasarkan SNI 2847 – 2013 Normal N2 (2):

### a. Kondisi Sebelum Retak

$$E_c = 27617,531 \text{ MPa}$$

$$n = E_s / E_c$$

$$= 7,242$$

$$A = bh + (n - 1)(A_s + A_s')$$

$$= 31785,148 \text{ mm}^2$$

$$\bar{y} = \frac{(bh \times \frac{h}{2}) + ((n-1)A_s \times d) + ((n-1)A_s' \times d')}{A}$$

$$= \frac{(150 \times 200 \times \frac{200}{2}) + ((6,665 - 1)143 \times 147) + ((6,665 - 1)143 \times 53)}{31620,146}$$

$$= 100 \text{ mm}$$

$$y_{\text{bottom}} = h - \bar{y}$$

$$= 200 - 100$$

$$= 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I &= \left(\frac{1}{12} \times bh^3\right) + \left(bh \times \left(\bar{y} - \frac{h}{2}\right)^2\right) + ((n-1)As \times (d - \bar{y})^2) + ((n-1)As' \times (\bar{y} - d')^2) \\
 &= \left(\frac{1}{12} \times 150 \times 200^3\right) + \left(150 \times 200 \times \left(100 - \frac{200}{2}\right)^2\right) + ((7,242 - 1) 143 \times (147 - 100)^2) + ((7,242 - 1)143 \times (100 - 53)^2) \\
 &= 1,039 \cdot 10^8 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I}{y_{bottom}}$$

$$M_{cr} = \frac{3,480 \cdot 1,039 \times 10^8}{100}$$

$$= 3,617 \text{ kNm}$$

$$\phi_{crack} = \frac{f_r/E_c}{y_{bottom}}$$

$$= \frac{3,480/27617,531}{100}$$

$$= 1,260 \cdot 10^{-6} \text{ rad/mm} = 1,260 \cdot 10^{-9} \text{ rad/m}$$

#### b. Kondisi Setelah Retak, Saat Leleh Pertama

$$\begin{aligned}
 k &= \left[ (\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left( \rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (\rho + \rho') n \\
 &= \left[ (0,00649 + 0,00649)^2 \times 7,242^2 + 2 \left( 0,00649 + \frac{0,00649 \times 53}{147} \right) \times 7,242 \right]^{1/2} - (0,00649 + 0,00649) \times 7,242
 \end{aligned}$$

$$k = 0,276$$

$$kd = k \times d$$

$$= 0,276 \times 147$$

$$= 40,526 \text{ mm} < d' (53 \text{ mm}) \text{ maka tulangan tekan semu}$$

$$\epsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$$

$$= \frac{445,634}{200000}$$

$$= 0,00223$$

$$\begin{aligned}\epsilon_c &= \epsilon_s \frac{kd}{d - kd} \\ &= 0,00223 \times \frac{40,526}{147 - 40,526} \\ &= 0,000848\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_c &= \epsilon_c \cdot E_c \\ &= 0,000848 \times 27617,531 \\ &= 23,422 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_c &= 0,5 f_c b kd \\ &= 0,5 \times 23,422 \times 150 \times 40,526 \\ &= 71191,263 \text{ N} \\ &= 71,191 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y} &= \frac{kd}{3} \\ &= \frac{40,526}{3} \\ &= 13,508 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}jd &= d - \bar{Y} \\ &= 147 - 13,508 \\ &= 133,491 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_y &= A_s \cdot f_y \cdot jd \\ &= 143 \times 445,634 \times 133,491 \\ &= 8506813,466 \text{ Nmm} \\ &= 8,507 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega_y &= \frac{\epsilon_s}{d - kd} \\ &= \frac{0,00223}{147 - 40,526} \\ &= 2,093 \cdot 10^{-5} \text{ rad/mm} \\ &= 2,093 \cdot 10^{-8} \text{ rad/m}\end{aligned}$$





### c. Kondisi Setelah Retak, Saat Beban *Ultimate*

$$M_n = 1512550302,572 \text{ Nmm}$$

$$= 15,126 \text{ kNm}$$

$$c = 33,349 \text{ mm}$$

$$\omega_u = \frac{0,003}{c}$$

$$= \frac{0,003}{33,349}$$

$$= 8,996 \cdot 10^{-5} \text{ rad/m} = 8,996 \cdot 10^{-8} \text{ rad/m}$$

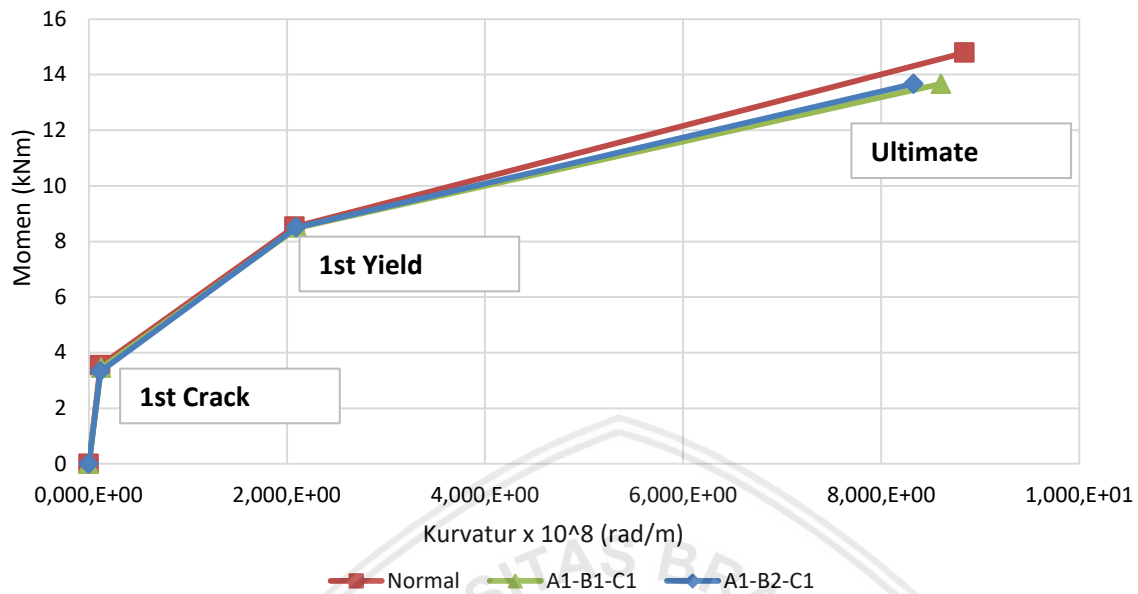
Besarnya rekapitulasi nilai momen – kurvatur pada tiga titik tinjauan (*first crack*, *first yield*, *ultimate*) secara teoritis berdasarkan SNI 2847 – 2013 dituliskan dalam tabel 4.21 dan gambar 4.20 berikut :

Tabel 4.21 Momen – Kurvatur dari Tiga Titik Tinjau berdasarkan SNI 2847 – 2013

Kode	Crack		Yield		Ultimate	
	Mcr (kNm)	$\phi_{cr}$ (rad/m)	My (kNm)	$\phi_y$ (rad/m)	Mult (kNm)	$\phi_{ult}$ (rad/m)
N1	3,423	1,268E-09	8,486	2,112E-08	14,116	8,534E-08
N2 (1)	3,617	1,260E-09	8,507	2,093E-08	15,126	8,996E-08
N2 (2)	3,617	1,260E-09	8,507	2,093E-08	15,126	8,996E-08
A1-B1-C1 (1)	3,455	1,275E-09	8,487	2,111E-08	14,274	8,606E-08
A1-B1-C1 (2)	3,455	1,275E-09	8,487	2,111E-08	14,274	8,606E-08
A1-B2-C1 (1)	3,339	1,283E-09	8,473	2,124E-08	13,668	8,328E-08
A1-B2-C1 (2)	3,339	1,283E-09	8,473	2,124E-08	13,668	8,328E-08

Sumber : Hasil Penelitian

### Grafik Hubungan Momen - Kurvatur Balok Rerata Gabungan



Gambar 4.20 Grafik hubungan momen – kurvatur rerata gabungan berdasarkan SNI 2847 – 2013

Untuk mendapatkan nilai daktilitasnya, diperoleh dengan membagi nilai kurvatur saat *ultimate* dibagi dengan kurvatur *yield* nya. Hasil perhitungan daktilitas teoritis dalam percobaan ini dituliskan dalam tabel berikut :

Tabel 4.22 Daktilitas Teoritis berdasarkan SNI 2847 - 2013

Kode	Daktilitas	Rerata
N1	4,041	
N2 (1)	4,299	4,213
N2 (2)	4,299	
A1-B1-C1 (1)	4,077	4,077
A1-B1-C1 (2)	4,077	
A1-B2-C1 (1)	3,921	3,921
A1-B2-C1 (2)	3,921	

Sumber : Hasil Penelitian



## 2. Daktilitas Teoritis berdasarkan ASTM C469 Normal N2 (2) :

### a. Kondisi Sebelum Retak

$$E_c = 13417,807 \text{ MPa}$$

$$n = E_s / E_c$$

$$= 14,906$$

$$A = bh + (n - 1)(As + As')$$

$$= 33976,992 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{(bh \times \frac{h}{2}) + ((n-1)As \times d) + ((n-1)As' \times d')}{A} \\ &= \frac{(150 \times 200 \times \frac{200}{2}) + ((14,906 - 1)143 \times 147) + ((14,906 - 1)143 \times 53)}{33976,992} \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$y_{\text{bottom}} = h - \bar{y}$$

$$= 200 - 100$$

$$= 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I &= \left(\frac{1}{12} \times bh^3\right) + \left(bh \times \left(\bar{y} - \frac{h}{2}\right)^2\right) + ((n - 1)As \times (d - \bar{y})^2) + ((n - 1)As' \times (\bar{y} - d')^2) \\ &= \left(\frac{1}{12} \times 150 \times 200^3\right) + \left(150 \times 200 \times \left(100 - \frac{200}{2}\right)^2\right) + ((14,906 - 1)143 \times (147 - 100)^2) + ((14,906 - 1)143 \times (100 - 53)^2) \\ &= 1,088 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I}{y_{\text{bottom}}}$$

$$M_{cr} = \frac{3,480 \cdot 1,088 \times 10^8}{100}$$

$$= 3,786 \text{ kNm}$$

$$\phi_{\text{crack}} = \frac{f_r / E_c}{y_{\text{bottom}}}$$

$$= \frac{3,480 / 13417,807}{100}$$

$$= 2,594 \cdot 10^{-6} \text{ rad/mm} = 2,594 \cdot 10^{-9} \text{ rad/m}$$

**b. Kondisi Setelah Retak, Saat Leleh Pertama**

$$k = \left[ (\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left( \rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (\rho + \rho') n$$

$$= \left[ (0,00649 + 0,00649)^2 \times 14,906^2 + 2 \left( 0,00649 + \frac{0,00649 \times 53}{147} \right) \times 14,906 \right]^{1/2} - (0,00649 + 0,00649) \times 14,906$$

$$k = 0,355$$

$$kd = k \times d$$

$$= 0,355 \times 147$$

$$= 52,151 \text{ mm} < d' (53 \text{ mm}) \text{ maka tulangan tekan semu}$$

$$\epsilon_s = \frac{fy}{Es}$$

$$= \frac{445,634}{200000}$$

$$= 0,00223$$

$$\epsilon_c = \epsilon_s \frac{kd}{d - kd}$$

$$= 0,00223 \times \frac{52,151}{147 - 52,151}$$

$$= 0,00122$$

$$f_c = \epsilon_c \cdot E_c$$

$$= 0,00122 \times 13417,807$$

$$= 16,438 \text{ MPa}$$

$$C_c = 0,5 f_c b kd$$

$$= 0,5 \times 16,438 \times 150 \times 52,151$$

$$= 64296,031 \text{ N}$$

$$= 64,296 \text{ kN}$$

$$\bar{Y} = \frac{kd}{3}$$

$$= \frac{52,151}{3}$$

$$= 17,384 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 jd &= d - \bar{Y} \\
 &= 147 - 17,384 \\
 &= 129,616 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 My &= As \cdot fy \cdot jd \\
 &= 143 \times 445,634 \times 129,616 \\
 &= 8259883,023 \text{ Nmm} \\
 &= 8,260 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega_y &= \frac{\epsilon_s}{d - kd} \\
 &= \frac{0,00223}{147 - 52,151} \\
 &= 2,349 \cdot 10^{-5} \text{ rad/mm} \\
 &= 2,349 \cdot 10^{-8} \text{ rad/m}
 \end{aligned}$$

**c. Kondisi Setelah Retak, Saat Leleh Pertama**

$$\begin{aligned}
 Mn &= 1512550302,572 \text{ Nmm} \\
 &= 15,126 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$c = 33,349 \text{ mm}$$

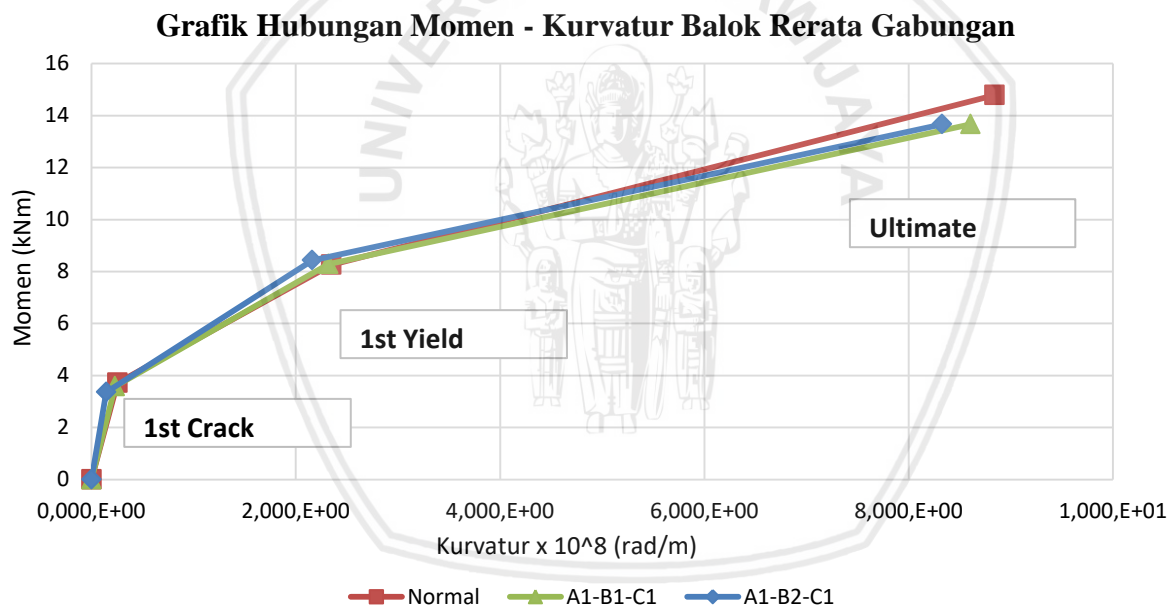
$$\begin{aligned}
 \omega_u &= \frac{0,003}{c} = \frac{0,003}{33,349} \\
 &= 8,996 \cdot 10^{-5} \text{ rad/m} = 8,996 \cdot 10^{-8} \text{ rad/m}
 \end{aligned}$$

Besarnya rekapitulasi nilai momen – kurvatur pada tiga titik tinjauan (*first crack*, *first yield*, *ultimate*) secara teoritis berdasarkan ASTM C469-02 dituliskan dalam tabel 4.23 dan gambar 4.21 berikut :

Tabel 4.23 Momen – Kurvatur dari Tiga Titik Tinjau berdasarkan ASTM C469

Kode	Crack		Yield		Ultimate	
	Mcr (kNm)	$\phi_{cr}$ (rad/m)	$M_y$ (kNm)	$\phi_y$ (rad/m)	Mult (kNm)	$\phi_{ult}$ (rad/m)
N1	3,573	2,448E-09	8,260	2,349E-08	14,116	8,534E-08
N2 (1)	3,786	2,594E-09	8,260	2,349E-08	15,126	8,996E-08
N2 (2)	3,786	2,594E-09	8,260	2,349E-08	15,126	8,996E-08
A1-B1-C1 (1)	3,584	2,299E-09	8,286	2,320E-08	14,274	8,606E-08
A1-B1-C1 (2)	3,584	2,299E-09	8,286	2,320E-08	14,274	8,606E-08
A1-B2-C1 (1)	3,360	1,455E-09	8,432	2,165E-08	13,668	8,328E-08
A1-B2-C1 (2)	3,360	1,455E-09	8,432	2,165E-08	13,668	8,328E-08

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.21 Grafik hubungan momen – kurvatur rerata gabungan berdasarkan ASTM C469

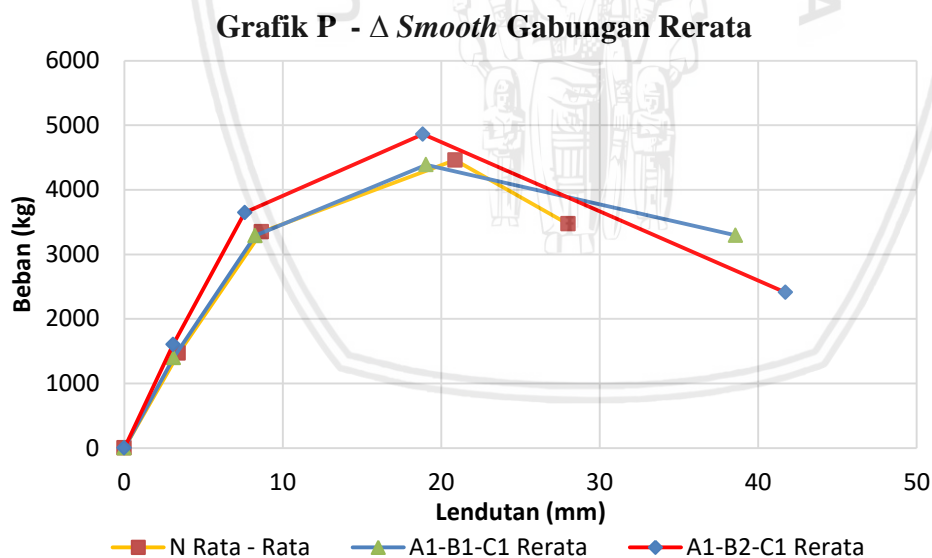
Untuk mendapatkan nilai daktilitasnya, diperoleh dengan membagi nilai kurvatur saat *ultimate* dibagi dengan kurvatur *yield* nya. Hasil perhitungan daktilitas teoritis dalam percobaan ini dituliskan dalam tabel 4.24 :

Tabel 4.24 Daktilitas Teoritis berdasarkan ASTM C469

Kode	Daktilitas	Rerata
N1	3,633	
N2 (1)	3,829	3,764
N2 (2)	3,829	
A1-B1-C1 (1)	3,710	3,710
A1-B1-C1 (2)	3,710	
A1-B2-C1 (1)	3,847	3,847
A1-B2-C1 (2)	3,847	

Sumber : Hasil Penelitian

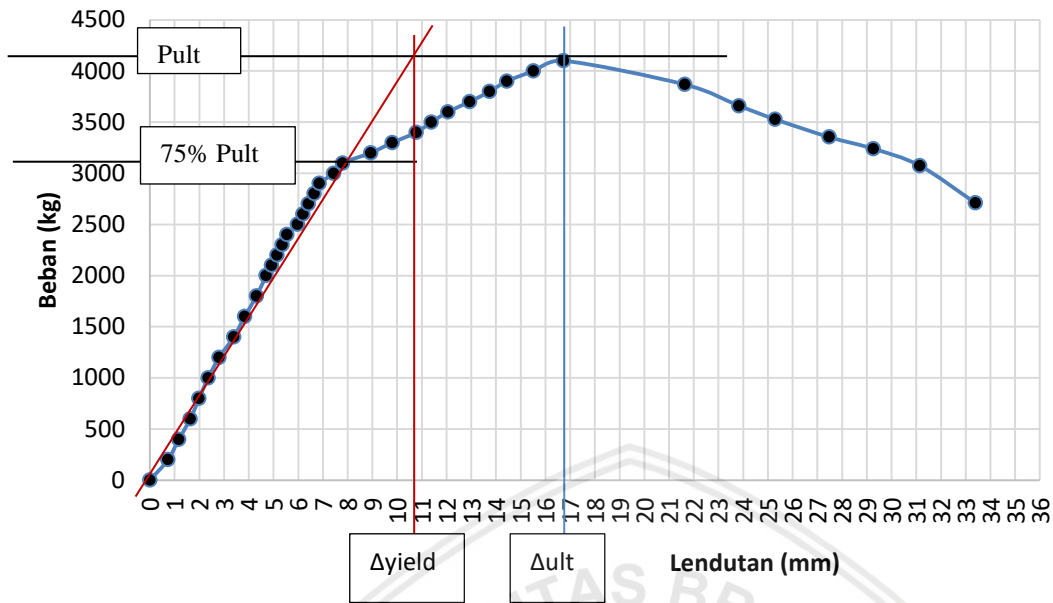
Perhitungan aktual untuk mendapatkan nilai daktilitas kurvatur tidak dapat dilakukan karena keterbatasan data. Hal ini dikarenakan, pada saat percobaan tidak dilakukan pemasangan LVDT secara horizontal dan alasan – alasan teknis lainnya. Untuk itu, pada penelitian ini digunakan grafik hubungan P -  $\Delta$  sebagai data pembanding nya, dimana grafik P -  $\Delta$  yang telah di haluskan, disajikan dalam Gambar 4.22 :



Gambar 4.22 Grafik hubungan P -  $\Delta$  yang telah dihaluskan

Berdasarkan gambar 4.22, diperoleh besarnya laju penurunan yang dihitung dengan persamaan *pythagoras* ; balok normal sebesar 950,026 kgmm, penambahan serat 4 cm sebesar 1050,154 kgmm dan penambahan serat 8 cm sebesar 2450,108 kgmm. Sedangkan untuk mendapatkan besarnya nilai daktilitas aktual berdasarkan grafik beban (P) – lendutan ( $\Delta$ ), diperoleh berdasarkan cara (daktilitas perpindahan) berikut :

Grafik Hubungan P - Δ Balok normal N2 (2)

Gambar 4.23 Grafik hubungan P-Δ untuk menentukan lendutan saat *ultimate* dan *yield*

Berdasarkan grafik di atas, maka dapat diperoleh data berikut :

$$\Delta_{ult} = 16,73 \text{ mm}$$

$$\Delta_{yield} = 10,60 \text{ mm}$$

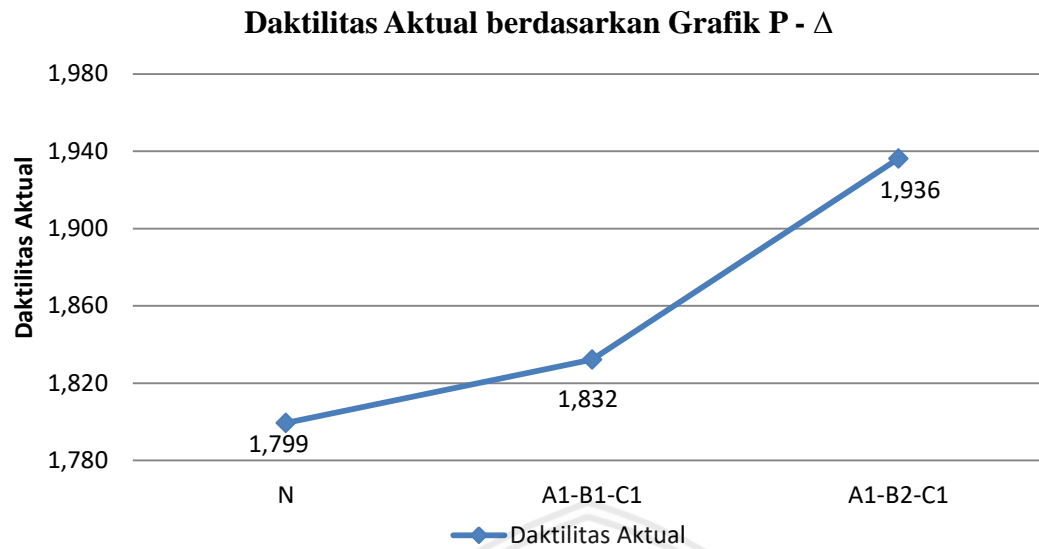
$$\begin{aligned} \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = \frac{16,73}{10,20} \\ &= 1,578 \end{aligned}$$

Besarnya nilai daktilitas secara actual dihitung berdasarkan grafik hubungan P - Δ, disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 4.25 Daktilitas Aktual berdasarkan grafik hubungan P - Δ

Kode	ΔU	Δy	μΔ	μΔ Rerata
N1	25,730	11,60	2,218	
N2 (1)	20,180	12,60	1,602	1,799
N2 (2)	16,730	10,60	1,578	
Kode	ΔU	Δy	μΔ	μΔ Rerata
A1-B1-C1 (1)	17,985	9,80	1,835	
A1-B1-C1 (2)	20,120	11,00	1,829	1,832
A1-B2-C1 (1)	16,68	9,20	1,813	
A1-B2-C1 (2)	21,005	10,20	2,059	1,936

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.24 Grafik daktilitas secara aktual berdasarkan P -  $\Delta$

Berdasarkan gambar 4.24, dapat dilihat bahwa penambahan variasi panjang serat kaleng memberikan pengaruh terhadap daktilitas balok beton bertulang secara aktual. Sesuai dengan hipotesis diawal, bahwa semakin panjang variasi serat kaleng yang ditambahkan, maka balok akan menjadi semakin daktil.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa penambahan variasi panjang dalam pembuatan balok beton bertulang dapat meningkatkan besarnya nilai modulus elastisitas beton, kekakuan serta daktilitasnya. Dan semakin panjang serat kaleng yang dipergunakan, maka nilai – nilai tersebut juga akan meningkat. Hal ini dikarenakan, serat kaleng dapat menambahkan daerah panjang penyaluran beban lateral serta memperkuat balok karena adanya daya lekat antara serat dengan campuran beton.

Namun, perlu diperhatikan bahwa, penggunaan serat yang terlalu panjang dan dalam konsentrasi berlebih akan mengakibatkan penurunan kualitas balok beton bertulang, karena dapat menyebabkan terjadinya penggumpalan pada campuran saat pembuatan benda uji.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian ini, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Penambahan variasi panjang serat kaleng pada balok beton bertulang dilihat berdasarkan pengujian secara aktual, dapat menaikkan nilai modulus elastisitasnya apabila dihitung berdasarkan ASTM C469-02, dimana besarnya nilai modulus rata – rata yang diperoleh pada balok normal sebesar 13417,807 MPa; balok A1-B1-C1 (serat 4 cm) sebesar 14420,554 MPa mengalami kenaikan 6,9% dari balok normal; dan balok A1-B2-C1 (serat 8 cm) sebesar 21968,106 MPa mengalami kenaikan 38,9% dari balok normal.
2. Penambahan variasi panjang serat kaleng pada balok beton bertulang baik secara teoritis maupun aktual, dapat menaikkan nilai kekakuannya apabila dihitung berdasarkan ASTM C469-02, dimana besarnya nilai kekakuan rata – rata yang diperoleh pada balok ini dilakukan dengan dua cara yaitu :
  - Tinjau 1 (*first crack*), dimana hasil yang didapatkan untuk kekakuan **aktual** balok normal, A1-B1-C1, A1-B2-C1 secara berturut – turut memiliki nilai aktual 430,206; 451,618 (naik 4,7% dari balok normal); dan 518,684 (naik 17,1% dari balok normal). Sedangkan untuk kekakuan **teoritis** balok normal, A1-B1-C1, A1-B2-C1 secara berturut – turut memiliki nilai teoritis 5160,811; 5634,840 (naik 8,4% dari balok normal); dan 5871,472 (naik 12,1% dari balok normal).
  - Tinjau 2 (beban 1000 kg), dimana hasil yang didapatkan untuk kekakuan **aktual** balok normal, A1-B1-C1, A1-B2-C1 secara berturut – turut memiliki nilai aktual 429,375; 443,875 (naik 3,3% dari balok normal); dan 496,946 (naik 13,6% dari balok normal). Sedangkan untuk kekakuan **teoritis** balok normal, A1-B1-C1, A1-B2-C1 secara berturut – turut memiliki nilai teoritis 6163,203; 6623,795 (naik 6,9% dari balok normal); dan 10090,613 (naik 38,9% dari balok normal).

Pada kedua titik tinjau tersebut, terlihat bahwa besarnya nilai kekakuan tetap mengalami kenaikan. Semakin panjang variasi serat, maka kekakuan akan semakin besar. Titik tinjau ke-1 diambil berdasarkan titik retak pertama balok pada saat pengujian dilakukan, sedangkan titik tinjau ke-2 merupakan titik kontrol yang dipilih, yaitu pada saat pembebanan sebesar 1000 Kg, saat pemompaan beban ke-5 dilakukan. Kedua titik tinjau ini menggunakan persamaan yang sama, tetapi berbeda pada penggunaan variabel Inersianya.

3. Penambahan variasi panjang serat kaleng pada balok beton bertulang dilihat berdasarkan pengujian secara aktual (daktilitas perpindahan), dapat menaikkan nilai daktilitasnya apabila dihitung menggunakan perhitungan daktilitas perpindahan, dimana besarnya nilai daktilitas rata – rata yang diperoleh pada balok normal sebesar 1,799; balok A1-B1-C1 (serat 4 cm) sebesar 1,832 mengalami kenaikan 1,8% dari balok normal; dan balok A1-B2-C1 (serat 8 cm) sebesar 1,936 mengalami kenaikan 7,1% dari balok normal.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa saran dari penulis sebagai pertimbangan dalam melakukan penelitian berikutnya, untuk memperbaiki kekurangan dari penelitian ini, antara lain:

1. Perhatikan *setting time* pada saat memasukkan serat kaleng kedalam campuran beton. Periksalah terlebih dahulu apakah campuran beton telah tercampur dengan merata, kemudian basahi serat kaleng terlebih dahulu, sehingga meminimalkan terjadinya penggumpalan dan kekurangan air saat proses pencampuran berlangsung.
2. Diperlukan adanya pengujian untuk menentukan besarnya nilai kuat tarik lentur ( $f_r$ ) pada beton serat. Baik berupa pengujian balok, maupun silinder dengan berbagai variasi mutu beton dan serat, sehingga dapat diperoleh persamaan  $f_r$  untuk perhitungan lanjut yang lebih optimal.

**DAFTAR PUSTAKA**

- ACI Committee 544, 1982. *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete – Report ACI 544 IR – 82*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- ASTM C 469-02. *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. United States : Association of Standard Testing Materials.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *SNI 03-2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSNi.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. *SNI 03-2847 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Dipohusodo, Istimawan. 1993. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Karima, Dhia. Wijatmiko, Indradi. Waluyohadi, Indra. 2018. *Pengaruh Variasi Fraksi dari Serat Kaleng terhadap Besaran Karakteristik Beton*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Vol.1 No.1. Malang: Universitas Brawijaya.
- Karolina, Rahmi. 2008. *Analisa dan Kajian Eksperimental Hubungan Momen – Kurvatur pada Balok Beton Bertulang*. Tesis. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- McCormac, Jack C. 2003. *Desain Beton Bertulang*. Edisi ke 5. Terjemahan oleh Sumargo. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Suryoatmono, Ir Bambang. Bandung. PT Eresco. Terjemahan dari: *Reinforced Concrete – A Fundamental Approach*.
- Park, R. and Ruitong, D. 1988. *Ductility of Doubly Reinforced Concrete Beam Section*. ACI Structural Journal. Vol. 85, No. 2, March 1988, pp. 217-225.
- Park, R. and Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

- Pratama, Rizky Fajar. Budio, Sugeng P. Wijaya, Ming Narto. 2016. *Analisis Kekakuan Struktur Balok Beton Bertulang dengan Lubang Hollow Core pada Tengah Balok*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Malang: Universitas Brawijaya.
- Prakasa, Ida Bagus S. Wibowo, Ari. Waluyohadi, Indra. 2018. *Pengaruh Variasi Pilin Serat Kaleng terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Modulus Elastisitas Beton Normal*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Malang: Universitas Brawijaya.
- Satiadi, Heru. Djauhari, Zulfikar. Suryanita, Reni. 2016. *Simulasi Numerik Kurva Hubungan Momen dan Kurvatur Balok Beton Bertulang dengan Variasi Penampang*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau Vol.3 No.1. Riau: Universitas Riau
- Sihotang, Alodia Vannia. Wibowo, Ari. Remayanti, Christin. 2017. *Pengaruh Variasi Panjang Kait (Interlocking) Serat Kawat Loket Lapis PVC terhadap Lendutan dan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Malang: Universitas Brawijaya.
- Vikriansyah, Andhika. Wijatmiko, Indradi. Bayu, Bhondana BK. 2018. *Pengaruh Variasi Fraksi dari Serat Kaleng terhadap Besaran Karakteristik Beton Ringan*. Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Malang: Universitas Brawijaya
- Wariyatno, Nanang Gunawan & Yanuar Haryanto. 2013. *Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Sebagai Nilai Estimasi Kekuatan Sisa Pada Beton Serat Kasa Aluminium akibat Variasi Suhu*. Jurnal Dinamika Rekayasa. Vol.9 No.1. Purwokerto: Universitas Jenderal Soedirman.
- Wisnumurti., Hidayat, M. Taufik., dan Bramanto. 2008. *Pengaruh Waktu Pengecoran Pada Balok Lapis Komposit Beton Bertulang Terhadap Aksi Komposit, Kapasitas Lentur dan Defleksi*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol.2 No.3. Malang: Universitas Brawijaya.

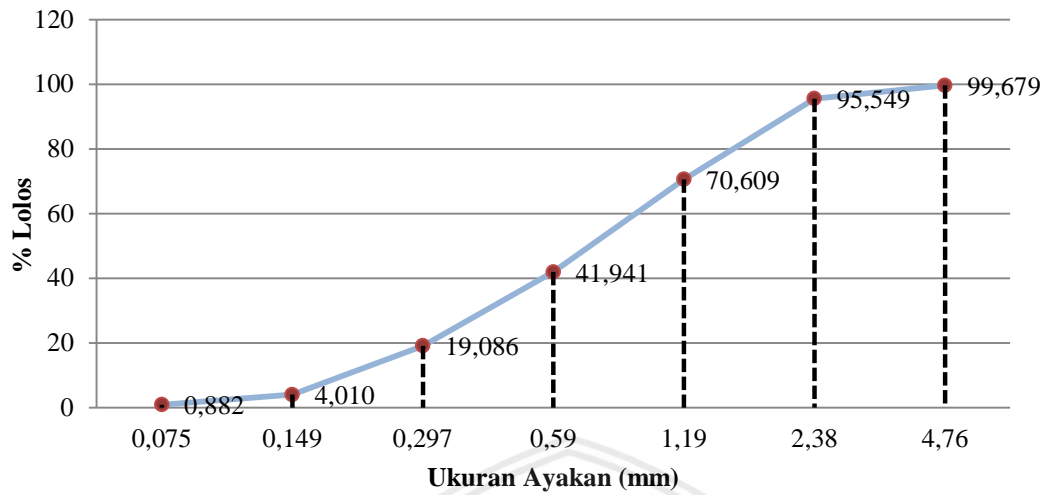
## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Analisa Gradasi Agregat

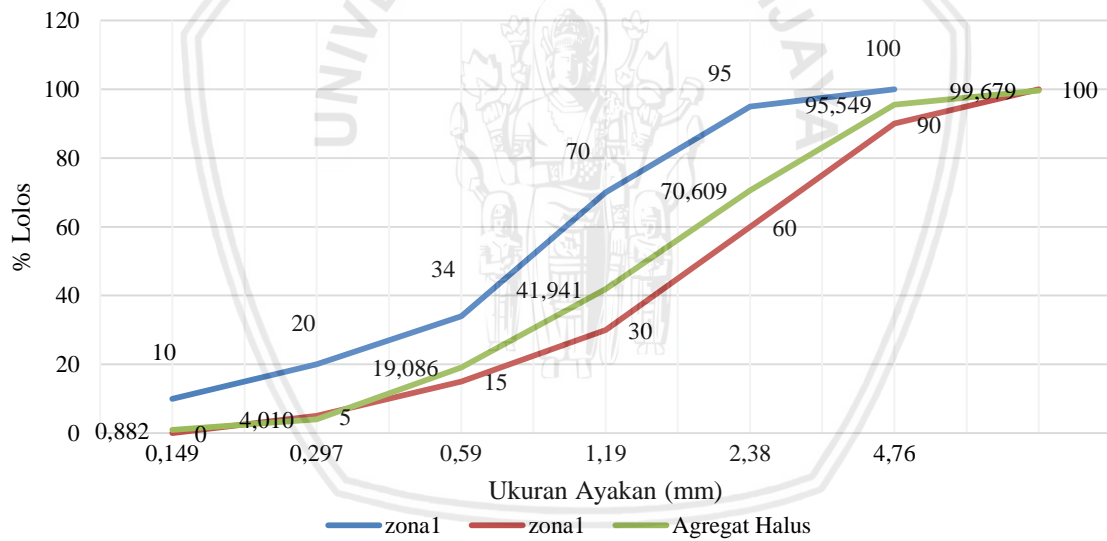
## 1. Agregat Halus

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		%Kumulatif	
No	mm	Gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	-
2.5"	63.5	-	-	-	-
2"	50.8	-	-	-	-
1.5"	38.1	-	-	-	-
1"	25.4	-	-	-	-
3/4"	19.1	-	-	-	-
1/2"	12.7	-	-	-	-
3/8"	9.5	-	-	-	100
4	4.76	1.6	0.321	0.321	99.679
8	2.38	20.60	4.130	4.451	95.549
16	1.19	124.4	24.940	29.391	70.609
30	0.59	143	28.669	58.059	41.941
50	0.297	114	22.855	80.914	19.086
100	0.149	75.2	15.076	95.990	4.010
200	0.075	15.6	3.128	99.118	0.882
Pan		4.4	0.882	100.000	0.000
$\Sigma =$		498.8	100	368.244	

### Grafik Lengkung Ayakan Agregat Halus



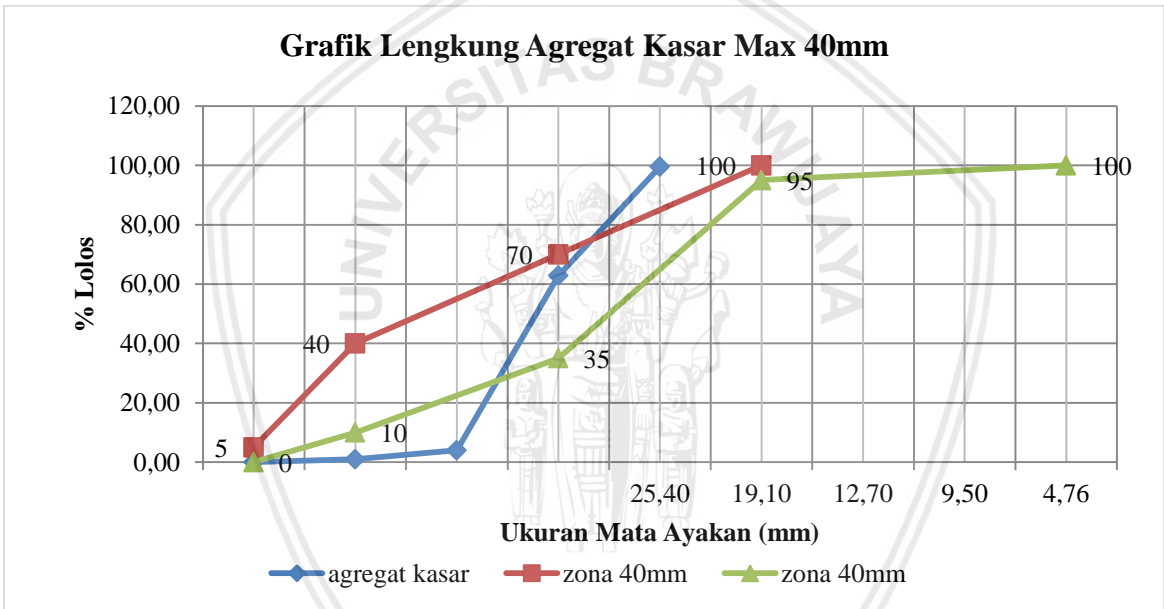
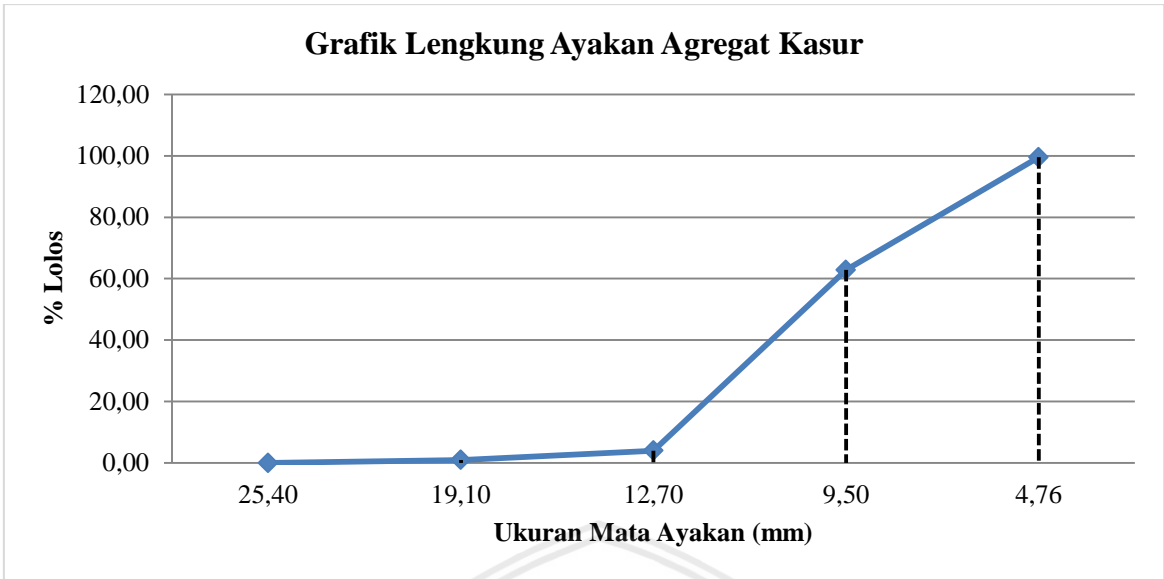
### Grafik Lengkung Ayakan Agregat Halus Zona 1





## 2. Agregat Kasar

Lubang Saringan		Kerikil			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	100
2.5"	63.5	-	-	-	100
2"	50.8	-	-	-	100
1.5"	38.1	-	-	-	100
1"	25.4	50	0.50	0.50	99.50
0.75"	19.1	3650	36.68	37.19	62.81
0.5"	12.7	5850	58.79	95.98	4.02
0.375"	9.5	300	3.02	98.99	1.01
4	4.76	100	1.01	100.00	0.00
8	2.38	-	-	-	-
16	1.19	-	-	-	-
20	0.85	-	-	-	-
50	0.297	-	-	-	-
100	0.149	-	-	-	-
200	0.075	-	-	-	-
Pan		0	0	-	-
$\Sigma =$		9950	100.0	332.66	



## Lampiran 2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

### 1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian	Simbol	Satuan	A	B
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	(gr)	495.7	484.9
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	492.8	483.5
Berat piknometer diisi air	B	(gr)	683	671
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pada suhu kamar)	Bt	(gr)	995	973.5

Uraian	Simbol	A	B	RERATA
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$Bk/(B+500-Bt)$	2.621	2.448	2.535
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$500/(B+500-Bt)$	2.660	2.532	2.596
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$Bk/(B+Bk-Bt)$	2.726	2.671	2.698
Penyerapan (%) (Absorption)	$(500-Bk)/Bk \times 100\%$	1.461	3.413	2.437

### 2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Simbol	Satuan	A	B
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5050	5100
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	5000	5000
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	3065	3121

Uraian	Simbol	A	B	RERATA
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$Bk/(Bj-Ba)$	2.519	2.527	2.523
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$Bj/(Bj-Ba)$	2.544	2.577	2.561
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$Bk/(Bk-Ba)$	2.584	2.661	2.622
Penyerapan (%) (Absorption)	$(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	1.000	2.000	1.500

**Lampiran 3. Kadar Air Agregat****1. Kadar Air Agregat Halus**

No.	Uraian	Satuan	A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	58.8	67
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	56	64
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	2.8	3
4	Berat Talam	(gr)	4	5.2
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	52	58.8
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	5.38	5.10
7	Kadar Air rata-rata	(%)	5.2433	

**2. Kadar Air Agregat Kasar**

No.	Uraian	Satuan	A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	110.4	98.8
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	109.6	97.6
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	0.8	1.2
4	Berat Talam	(gr)	7.2	6.8
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	102.4	90.8
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0.0078	0.0132
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0.01051	

## Lampiran 4. Hasil Pengujian Balok

### 1. Balok Normal

Nama Benda Uji : N1

Tanggal Pembuatan : 23 September 2018

Tanggal Pengujian : 6 Desember 2018

Umur Beton : 84 hari

Mutu Beton Rencana : 20,75 MPa

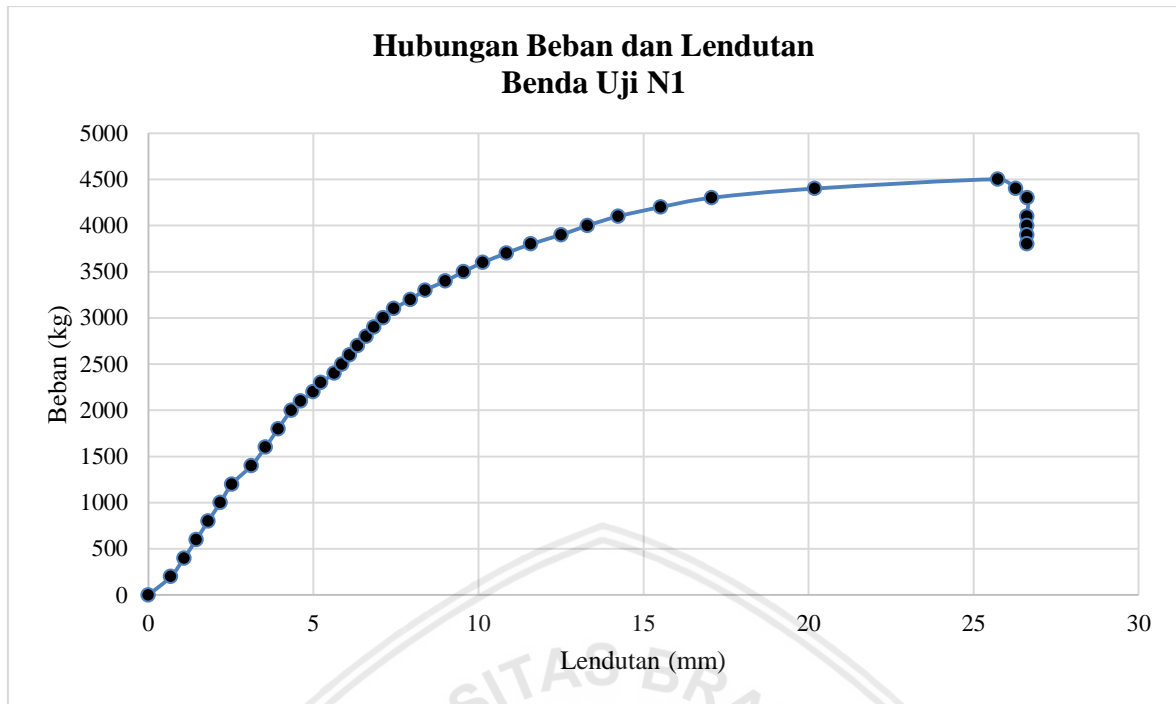
Mutu Beton Aktual : 28,057 MPa

No.	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata-Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	200	200	0.64	0.72	0.68
2	200	400	1.01	1.15	1.08
3	200	600	1.36	1.55	1.455
4	200	800	1.69	1.93	1.81
5	200	1000	2.04	2.32	2.18
6	200	1200	2.35	2.7	2.525
<b>7</b>	<b>200</b>	<b>1400</b>	<b>2.93</b>	<b>3.31</b>	<b>3.12</b>
8	200	1600	3.34	3.75	3.545
9	200	1800	3.71	4.15	3.93
10	200	2000	4.08	4.58	4.33
11	100	2100	4.36	4.87	4.615
12	100	2200	4.74	5.24	4.99
13	100	2300	4.97	5.48	5.225
14	100	2400	5.36	5.9	5.63
15	100	2500	5.59	6.14	5.865
16	100	2600	5.82	6.38	6.1
17	100	2700	6.07	6.61	6.34
18	100	2800	6.31	6.9	6.605
19	100	2900	6.54	7.13	6.835

20	100	3000	6.82	7.41	7.115
21	100	3100	7.12	7.75	7.435
22	100	3200	7.62	8.26	7.94
23	100	3300	8.07	8.7	8.385
24	100	3400	8.68	9.32	9
25	100	3500	9.21	9.89	9.55
26	100	3600	9.78	10.48	10.13
27	100	3700	10.46	11.23	10.845
28	100	3800	11.18	12	11.59
29	100	3900	12.04	12.98	12.51
30	100	4000	12.8	13.81	13.305
31	100	4100	13.69	14.78	14.235
32	100	4200	14.96	16.09	15.525
33	100	4300	16.6	17.53	17.065
34	100	4400	20.74	19.63	20.185
<b>35</b>	<b>100</b>	<b>4500</b>	<b>26.86</b>	<b>24.6</b>	<b>25.73</b>
36	-100	4400	27.47	25.08	26.275
37	-100	4300	28.18	25.08	26.63
38	-200	4100	28.17	25.07	26.62
39	-100	4000	28.17	25.07	26.62
40	-100	3900	28.16	25.07	26.615
41	-100	3800	28.16	25.07	26.615

Pcarck = 1400 kg

P ult. = 4500 kg





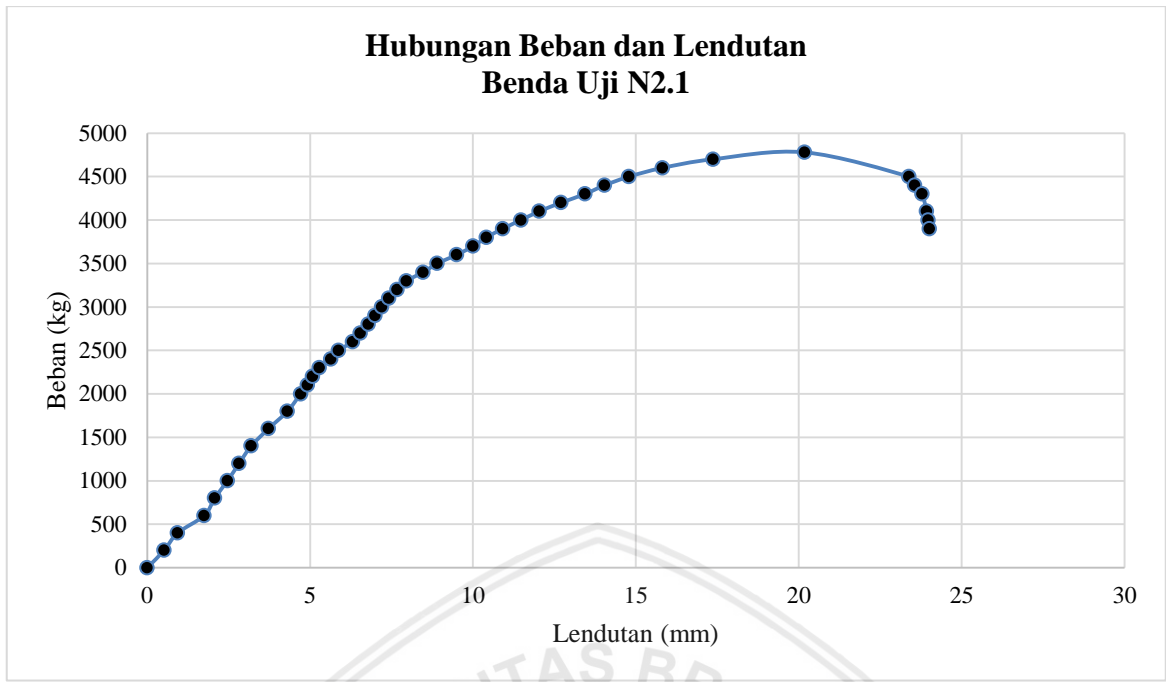
Nama Benda Uji : N2 (1)  
 Tanggal Pembuatan : 23 September 2018  
 Tanggal Pengujian : 5 Desember 2018  
 Umur Beton : 83 hari  
 Mutu Beton Rencana : 20,75 MPa  
 Mutu Beton Aktual : 31,057 MPa

No.	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata-Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	200	200	0.58	0.46	0.52
2	200	400	1	0.87	0.935
3	200	600	1.98	1.52	1.75
4	200	800	2.13	2.01	2.07
5	200	1000	2.54	2.39	2.465
6	200	1200	2.9	2.74	2.82
7	200	1400	3.27	3.11	3.19
<b>8</b>	<b>200</b>	<b>1600</b>	<b>3.81</b>	<b>3.64</b>	<b>3.725</b>
9	200	1800	4.4	4.21	4.305
10	200	2000	4.81	4.61	4.71
11	100	2100	5.01	4.83	4.92
12	100	2200	5.18	4.97	5.075
13	100	2300	5.39	5.18	5.285
14	100	2400	5.73	5.54	5.635
15	100	2500	5.97	5.78	5.875
16	100	2600	6.41	6.2	6.305
17	100	2700	6.64	6.44	6.54
18	100	2800	6.89	6.69	6.79
19	100	2900	7.1	6.89	6.995
20	100	3000	7.31	7.09	7.2
21	100	3100	7.52	7.31	7.415

22	100	3200	7.78	7.57	7.675
23	100	3300	8.07	7.85	7.96
24	100	3400	8.59	8.35	8.47
25	100	3500	9.03	8.78	8.905
26	100	3600	9.62	9.37	9.495
27	100	3700	10.13	9.88	10.005
28	100	3800	10.53	10.29	10.41
29	100	3900	11.02	10.81	10.915
30	100	4000	11.54	11.4	11.47
31	100	4100	12.1	11.97	12.035
32	100	4200	12.73	12.68	12.705
33	100	4300	13.41	13.47	13.44
34	100	4400	13.96	14.12	14.04
35	100	4500	14.67	14.91	14.79
36	100	4600	15.63	16	15.815
37	100	4700	17.16	17.58	17.37
<b>38</b>	<b>80</b>	<b>4780</b>	<b>20.46</b>	<b>19.9</b>	<b>20.18</b>
39	-280	4500	24.68	22.08	23.38
40	-100	4400	24.84	22.28	23.56
41	-100	4300	25.04	22.53	23.785
42	-200	4100	25.28	22.58	23.93
43	-100	4000	25.32	22.63	23.975
44	-100	3900	25.39	22.64	24.015

P crack= 1600 kg

P ult. = 4780 kg



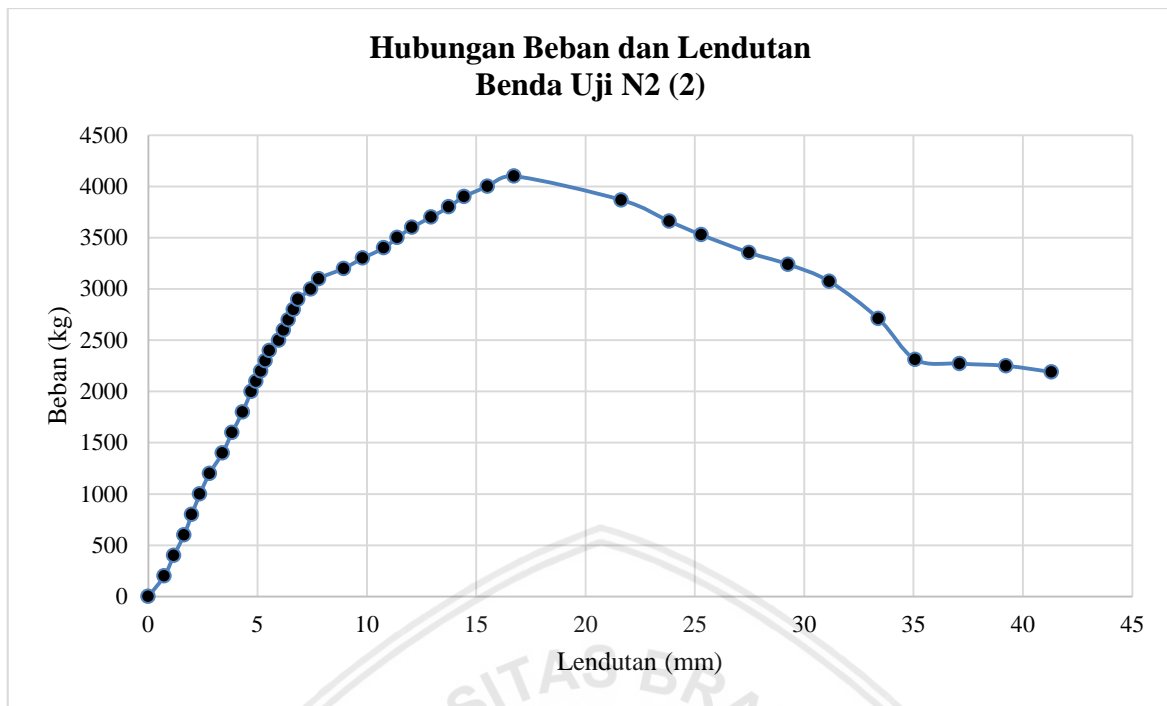
Nama Benda Uji : N2 (2)  
 Tanggal Pembuatan : 23 September 2018  
 Tanggal Pengujian : 10 Desember 2018  
 Umur Beton : 88 hari  
 Mutu Beton Rencana : 20,75 MPa  
 Mutu Beton Aktual : 31,057 MPa

No.	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata-Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	200	200	0.85	0.61	0.73
2	200	400	1.3	1.04	1.17
3	200	600	1.76	1.51	1.635
4	200	800	2.12	1.86	1.99
5	200	1000	2.5	2.22	2.36
6	200	1200	2.93	2.67	2.8
<b>7</b>	<b>200</b>	<b>1400</b>	<b>3.53</b>	<b>3.26</b>	<b>3.395</b>
8	200	1600	3.96	3.71	3.835
9	200	1800	4.42	4.2	4.31
10	200	2000	4.8	4.61	4.705
11	100	2100	5.02	4.84	4.93
12	100	2200	5.23	5.06	5.145
13	100	2300	5.43	5.27	5.35
14	100	2400	5.63	5.47	5.55
15	100	2500	6.04	5.9	5.97
16	100	2600	6.25	6.13	6.19
17	100	2700	6.46	6.36	6.41
18	100	2800	6.69	6.6	6.645
19	100	2900	6.89	6.81	6.85
20	100	3000	7.46	7.41	7.435
21	100	3100	7.83	7.77	7.8

22	100	3200	8.97	8.9	8.935
23	100	3300	9.83	9.79	9.81
24	100	3400	10.8	10.75	10.775
25	100	3500	11.41	11.35	11.38
26	100	3600	12.09	12.03	12.06
27	100	3700	12.99	12.88	12.935
28	100	3800	13.8	13.69	13.745
29	100	3900	14.52	14.36	14.44
30	100	4000	15.59	15.44	15.515
<b>31</b>	<b>100</b>	<b>4100</b>	<b>16.81</b>	<b>16.65</b>	<b>16.73</b>
32	-232	3868	21.82	21.45	21.635
33	-208	3660	24.05	23.61	23.83
34	-132	3528	25.53	25.05	25.29
35	-174	3354	27.73	27.23	27.48
36	-114	3240	29.51	29.02	29.265
37	-166	3074	31.41	30.88	31.145
38	-364	2710	33.66	33.13	33.395

P crack= 1400 kg

P ult. = 4100 kg



Gambar 3. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji N2.2



## 2. Balok Serat Panjang 4 cm

Nama Benda Uji : A1-B1-C1 (1)

Tanggal Pembuatan : 29 September 2018

Tanggal Pengujian : 15 Desember 2018

Umur Beton : 76 hari

Mutu Beton Rencana : 20,75 MPa

Mutu Beton Aktual : 28,585 MPa

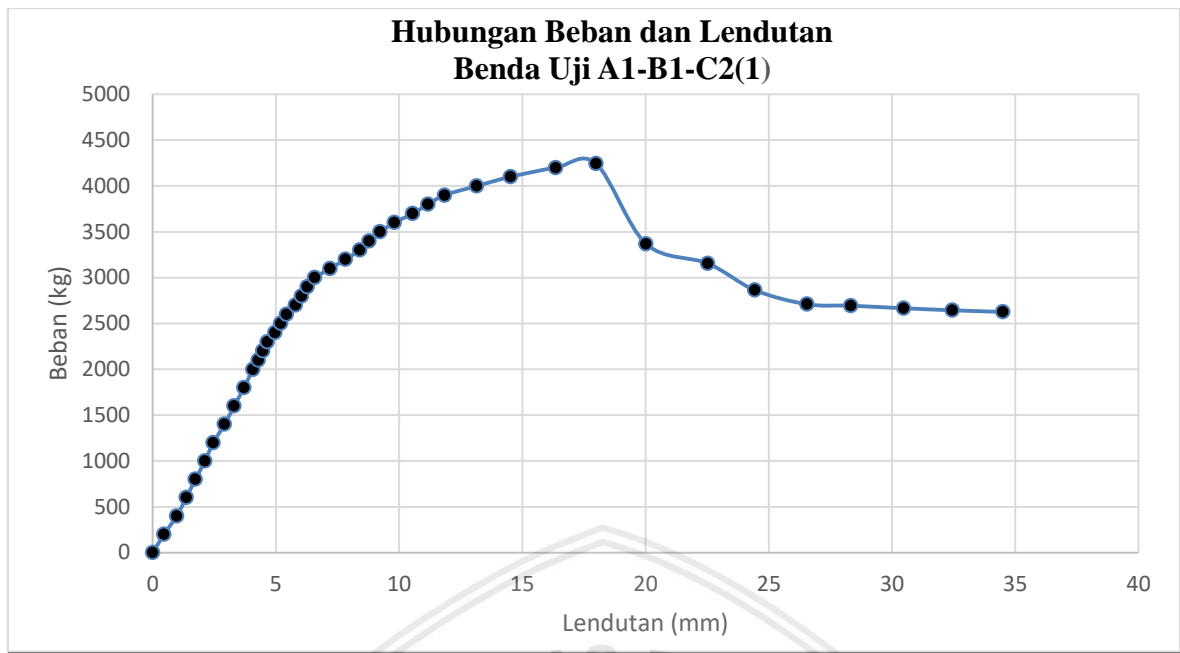
No.	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata-Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	200	200	0,37	0,55	0,46
2	200	400	0,83	1,12	0,975
3	200	600	1,18	1,54	1,36
4	200	800	1,52	1,95	1,735
5	200	1000	1,87	2,36	2,115
6	200	1200	2,19	2,73	2,46
<b>7</b>	<b>200</b>	<b>1400</b>	<b>2,64</b>	<b>3,19</b>	<b>2,915</b>
8	200	1600	3,02	3,59	3,305
9	200	1800	3,41	4	3,705
10	100	2000	3,77	4,36	4,065
11	100	2100	4	4,58	4,29
12	100	2200	4,17	4,76	4,465
13	100	2300	4,36	4,94	4,65
14	100	2400	4,66	5,27	4,965
15	100	2500	4,89	5,5	5,195
16	100	2600	5,11	5,75	5,43
17	100	2700	5,48	6,11	5,795
18	100	2800	5,73	6,35	6,04
19	100	2900	5,96	6,59	6,275
20	100	3000	6,26	6,9	6,58



21	100	3100	6,88	7,52	7,2
22	100	3200	7,49	8,16	7,825
23	100	3300	8,07	8,73	8,4
24	100	3400	8,44	9,12	8,78
25	100	3500	8,89	9,57	9,23
26	100	3600	9,46	10,15	9,805
27	100	3700	10,22	10,89	10,555
28	100	3800	10,84	11,5	11,17
29	100	3900	11,52	12,17	11,845
30	100	4000	12,82	13,47	13,145
31	100	4100	14,17	14,87	14,52
32	100	4200	16,02	16,69	16,355
<b>33</b>	<b>44</b>	<b>4244</b>	<b>17,67</b>	<b>18,3</b>	<b>17,985</b>
34	-876	3368	19,74	20,3	20,02
35	-214	3154	22,28	22,78	22,53
36	-290	2864	24,21	24,65	24,43
37	-154	2710	26,36	26,73	26,545
38	-16	2694	28,19	28,48	28,335
39	-28	2666	30,35	30,6	30,475
40	-22	2644	32,32	32,57	32,445
41	-18	2626	34,39	34,61	34,5

P crack= 1400 kg

P ult. = 4244 kg



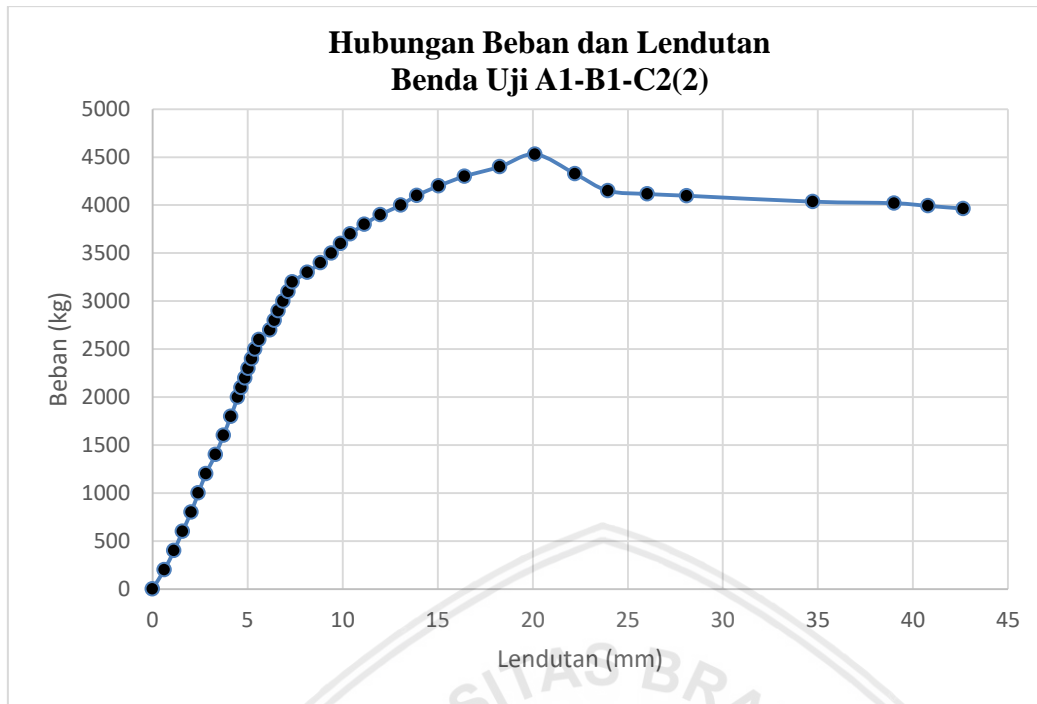
Nama Benda Uji : A1-B2-C1(2)  
 Tanggal Pembuatan : 29 September 2018  
 Tanggal Pengujian : 10 Desember 2018  
 Umur Beton : 71 hari  
 Mutu Beton Rencana : 20,75 MPa  
 Mutu Beton Aktual : 28,585 MPa

No.	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata-Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	200	200	0,36	0,87	0,615
2	200	400	0,87	1,39	1,13
3	200	600	1,3	1,85	1,575
4	200	800	1,72	2,33	2,025
5	200	1000	2,1	2,72	2,41
6	200	1200	2,48	3,13	2,805
<b>7</b>	<b>200</b>	<b>1400</b>	<b>2,95</b>	<b>3,67</b>	<b>3,31</b>
8	200	1600	3,37	4,08	3,725
9	200	1800	3,75	4,49	4,12
10	100	2000	4,1	4,86	4,48
11	100	2100	4,28	5,04	4,66
12	100	2200	4,46	5,25	4,855
13	100	2300	4,64	5,42	5,03
14	100	2400	4,82	5,62	5,22
15	100	2500	4,98	5,78	5,38
16	100	2600	5,18	6,01	5,595
17	100	2700	5,78	6,58	6,18
18	100	2800	6	6,81	6,405
19	100	2900	6,19	7,02	6,605
20	100	3000	6,45	7,28	6,865
21	100	3100	6,72	7,54	7,13

22	100	3200	6,94	7,78	7,36
23	100	3300	7,72	8,57	8,145
24	100	3400	8,43	9,24	8,835
25	100	3500	9,01	9,82	9,415
26	100	3600	9,49	10,29	9,89
27	100	3700	9,99	10,81	10,4
28	100	3800	10,74	11,53	11,135
29	100	3900	11,61	12,36	11,985
30	100	4000	12,72	13,39	13,055
31	100	4100	13,57	14,22	13,895
32	100	4200	14,75	15,35	15,05
33	100	4300	16,13	16,7	16,415
34	100	4400	18	18,54	18,27
<b>35</b>	<b>130</b>	<b>4530</b>	<b>19,84</b>	<b>20,4</b>	<b>20,12</b>
36	-204	4326	21,97	22,47	22,22
37	-176	4150	23,77	24,13	23,95
38	-34	4116	25,91	26,15	26,03
39	-18	4098	28,09	28,12	28,105
40	-62	4036	34,94	34,53	34,735
41	-16	4020	39,38	38,64	39,01
42	-28	3992	41,29	40,3	40,795
43	-28	3964	43,37	41,91	42,64

P crack= 1400 kg

P ult. = 4530 kg



### 3. Balok Serat Panjang 8 cm

Nama Benda Uji : A1-B2-C1(1)

Tanggal Pembuatan : 6 Oktober 2018

Tanggal Pengujian : 16 Desember 2018

Umur Beton : 70 hari

Mutu Beton Rencana : 20,75 MPa

Mutu Beton Aktual : 26,586 MPa

No.	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata-Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	200	200	0,49	0,04	0,265
2	200	400	0,79	0,87	0,83
3	200	600	1,23	1,32	1,275
4	200	800	1,52	1,66	1,59
5	200	1000	1,83	2	1,915
6	200	1200	2,15	2,34	2,245
7	200	1400	2,46	2,68	2,57
<b>8</b>	<b>200</b>	<b>1600</b>	<b>2,86</b>	<b>3,13</b>	<b>2,995</b>
9	200	1800	3,26	3,53	3,395
10	200	2000	3,65	3,92	3,785
11	100	2100	3,89	4,18	4,035
12	100	2200	4,05	4,36	4,205
13	100	2300	4,24	4,56	4,4
14	100	2400	4,48	4,79	4,635
15	100	2500	4,68	5,01	4,845
16	100	2600	4,97	5,3	5,135
17	100	2700	5,15	5,51	5,33
18	100	2800	5,36	5,71	5,535
19	100	2900	5,57	5,91	5,74
20	100	3000	5,76	6,11	5,935

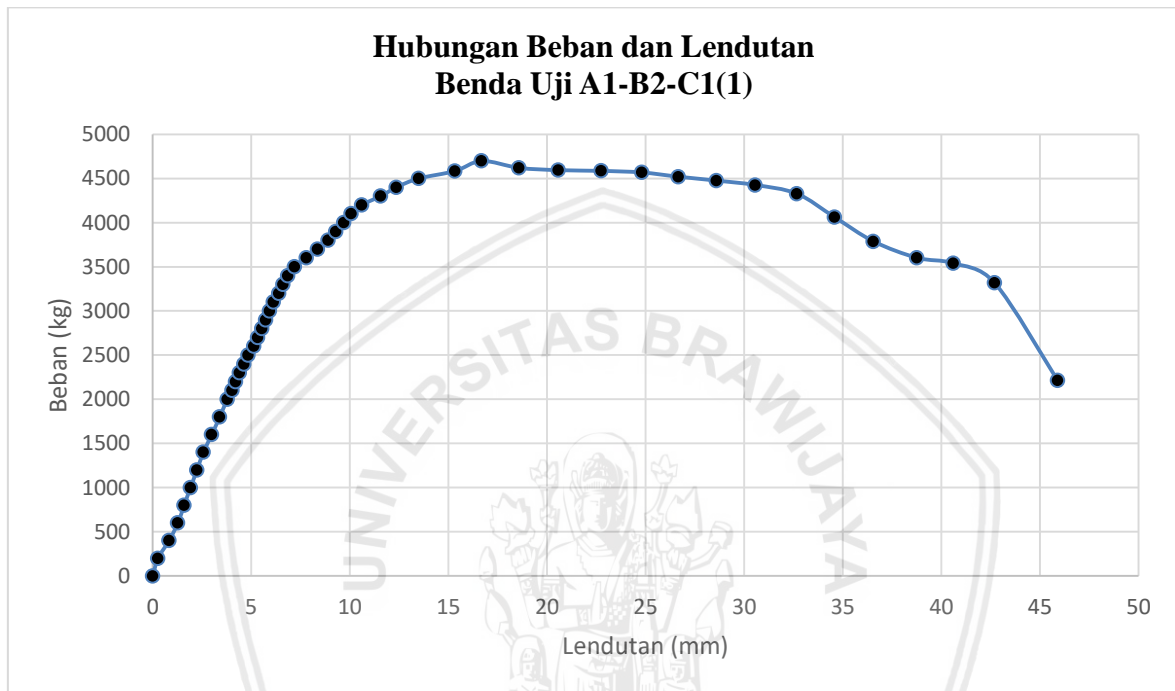
21	100	3100	5,98	6,26	6,12
22	100	3200	6,21	6,58	6,395
23	100	3300	6,43	6,78	6,605
24	100	3400	6,68	7,04	6,86
25	100	3500	7,01	7,37	7,19
26	100	3600	7,61	7,97	7,79
27	100	3700	8,18	8,56	8,37
28	100	3800	8,71	9,1	8,905
29	100	3900	9,08	9,48	9,28
30	100	4000	9,49	9,9	9,695
31	100	4100	9,88	10,27	10,075
32	100	4200	10,4	10,79	10,595
33	100	4300	11,37	11,76	11,565
34	100	4400	12,17	12,54	12,355
35	100	4500	13,3	13,69	13,495
36	84	4584	15,11	15,56	15,335
<b>37</b>	<b>114</b>	<b>4698</b>	<b>16,52</b>	<b>16,84</b>	<b>16,68</b>
38	-78	4620	18,46	18,69	18,575
39	-26	4594	20,49	20,67	20,58
40	-8	4586	22,67	22,81	22,74
41	-18	4568	24,74	24,87	24,805
42	-48	4520	26,63	26,69	26,66
43	-44	4476	28,56	28,63	28,595
44	-50	4426	30,56	30,57	30,565
45	-98	4328	32,64	32,7	32,67
46	-266	4062	34,56	34,61	34,585
47	-274	3788	36,56	36,55	36,555
48	-186	3602	38,83	38,69	38,76



49	-62	3540	40,76	40,45	40,605
50	-220	3320	42,79	42,6	42,695
51	-1108	2212	45,58	46,22	45,9

P crack= 1600 kg

P ult. = 4698 kg



Nama Benda Uji : A1-B2-C1(2)  
 Tanggal Pembuatan : 6 Oktober 2018  
 Tanggal Pengujian : 12 Desember 2018  
 Umur Beton : 66 hari  
 Mutu Beton Rencana : 20,75 MPa  
 Mutu Beton Aktual : 26,586 MPa

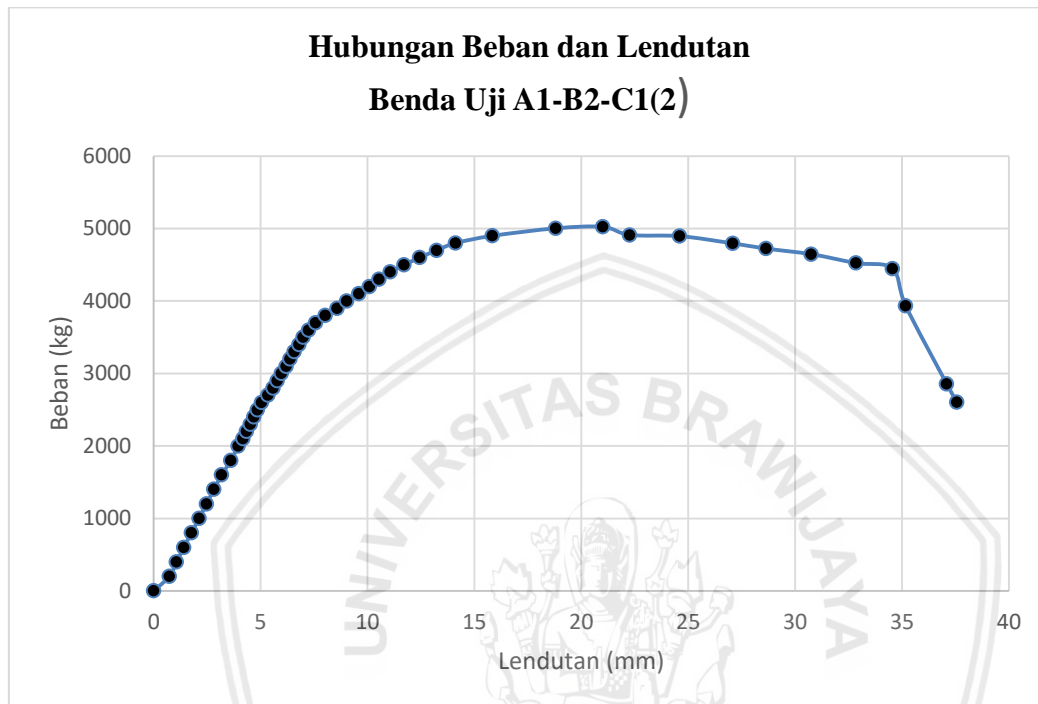
No.	Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)		Rata-Rata (mm)
			Titik 1	Titik 2	
1	200	200	0,69	0,77	0,73
2	200	400	1,01	1,13	1,07
3	200	600	1,34	1,47	1,405
4	200	800	1,68	1,84	1,76
5	200	1000	2,03	2,21	2,12
6	200	1200	2,36	2,57	2,465
7	200	1400	2,7	2,92	2,81
<b>8</b>	<b>200</b>	<b>1600</b>	<b>3,08</b>	<b>3,28</b>	<b>3,18</b>
9	200	1800	3,5	3,71	3,605
10	100	2000	3,85	4,07	3,96
11	100	2100	4,07	4,29	4,18
12	100	2200	4,25	4,45	4,35
13	100	2300	4,42	4,63	4,525
14	100	2400	4,57	4,79	4,68
15	100	2500	4,74	4,95	4,845
16	100	2600	4,95	5,15	5,05
17	100	2700	5,24	5,44	5,34
18	100	2800	5,49	5,69	5,59
19	100	2900	5,68	5,87	5,775
20	100	3000	5,89	6,07	5,98
21	100	3100	6,11	6,29	6,2

22	100	3200	6,28	6,47	6,375
23	100	3300	6,48	6,67	6,575
24	100	3400	6,7	6,89	6,795
25	100	3500	6,91	7,09	7
26	100	3600	7,16	7,32	7,24
27	100	3700	7,49	7,65	7,57
28	100	3800	7,95	8,1	8,025
29	100	3900	8,54	8,62	8,58
30	100	4000	8,98	9,08	9,03
31	100	4100	9,56	9,63	9,595
32	100	4200	10,1	10,09	10,095
33	100	4300	10,54	10,55	10,545
34	100	4400	11,06	11,06	11,06
35	100	4500	11,73	11,7	11,715
36	100	4600	12,46	12,43	12,445
37	100	4700	13,27	13,19	13,23
38	100	4800	14,17	14,07	14,12
39	100	4900	15,92	15,76	15,84
40	104	5004	19,63	17,99	18,81
<b>41</b>	<b>20</b>	<b>5024</b>	<b>21,85</b>	<b>20,16</b>	<b>21,005</b>
42	-112	4912	23,14	21,4	22,27
43	-16	4896	25,47	23,74	24,605
44	-100	4796	27,96	26,2	27,08
45	-72	4724	29,51	27,78	28,645
46	-78	4646	31,63	29,89	30,76
47	-122	4524	33,78	31,93	32,855
48	-76	4448	35,48	33,64	34,56
49	-516	3932	36,09	34,26	35,175

50	-1076	2856	38	36,18	37,09
51	-250	2606	38,48	36,64	37,56

P crack= 1600 kg

P ult. = 5024 kg



**Lampiran 5. Hasil Tegangan Regangan Balok****1. Balok N2 (2)**

$$I = 100000000 \text{ mm}^4$$

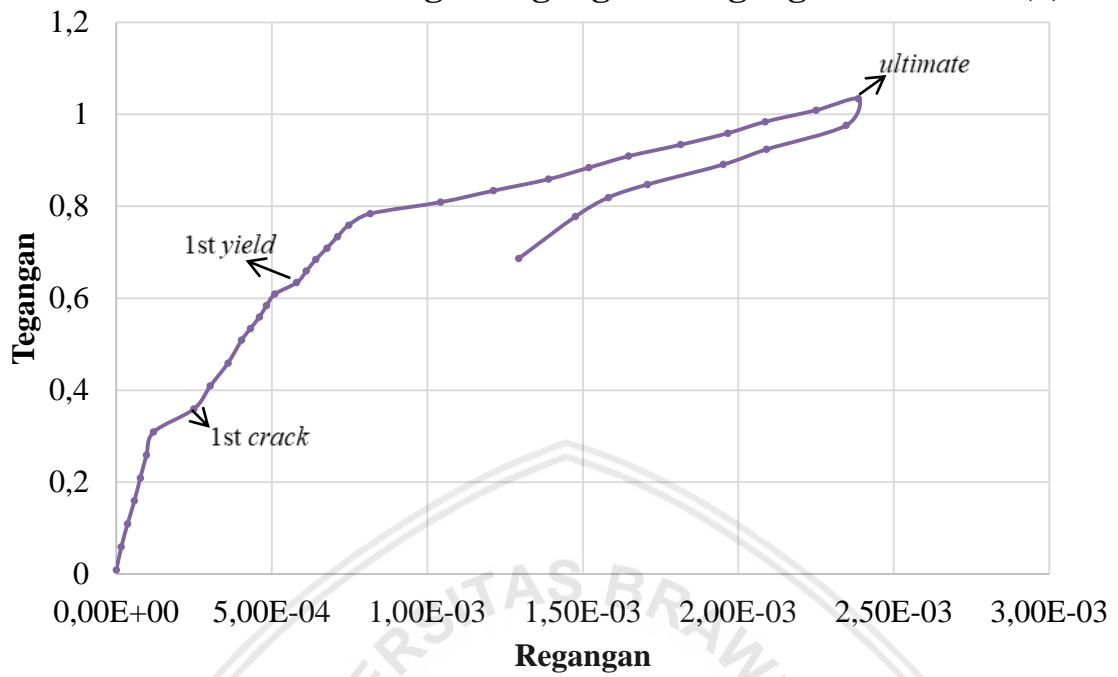
$$y = 100 \text{ mm}$$

$$q = 0,072 \text{ kg/mm}$$

$$L = 1000 \text{ m}$$

No.	Beban (kg)	Momen (kgmm)	Tegangan (kg/mm <sup>2</sup> )	Regangan (ε)
1	200	59000	0,059	1,60E-05
2	400	109000	0,109	3,60E-05
3	600	159000	0,159	5,80E-05
4	800	209000	0,209	7,70E-05
5	1000	259000	0,259	9,70E-05
6	1200	309000	0,309	1,20E-04
<b>7</b>	<b>1400</b>	<b>359000</b>	<b>0,359</b>	<b>2,49E-04</b>
8	1600	409000	0,409	3,02E-04
9	1800	459000	0,459	3,59E-04
10	2000	509000	0,509	4,03E-04
11	2100	534000	0,534	4,31E-04
12	2200	559000	0,559	4,60E-04
13	2300	584000	0,584	4,83E-04
14	2400	609000	0,609	5,10E-04
<b>15</b>	<b>2500</b>	<b>634000</b>	<b>0,634</b>	<b>5,80E-04</b>
16	2600	659000	0,659	6,11E-04
17	2700	684000	0,684	6,41E-04
18	2800	709000	0,709	6,77E-04
19	2900	734000	0,734	7,11E-04
20	3000	759000	0,759	7,47E-04
21	3100	784000	0,784	8,16E-04

22	3200	809000	0,809	1,04E-03
23	3300	834000	0,834	1,21E-03
24	3400	859000	0,859	1,39E-03
25	3500	884000	0,884	1,52E-03
26	3600	909000	0,909	1,65E-03
27	3700	934000	0,934	1,82E-03
28	3800	959000	0,959	1,97E-03
29	3900	984000	0,984	2,09E-03
30	4000	1009000	1,009	2,25E-03
<b>31</b>	<b>4100</b>	<b>1034000</b>	<b>1,034</b>	<b>2,39E-03</b>
32	3868	976000	0,976	2,35E-03
33	3660	924000	0,924	2,09E-03
34	3528	891000	0,891	1,95E-03
35	3354	847500	0,8475	1,71E-03
36	3240	819000	0,819	1,58E-03
37	3074	777500	0,7775	1,48E-03
38	2710	686500	0,6865	1,29E-03

**Grafik Hubungan Tegangan - Regangan Balok N2 (2)**



**2. Balok A1-B1-C1 (1)**

$$I = 100000000 \text{ mm}^4$$

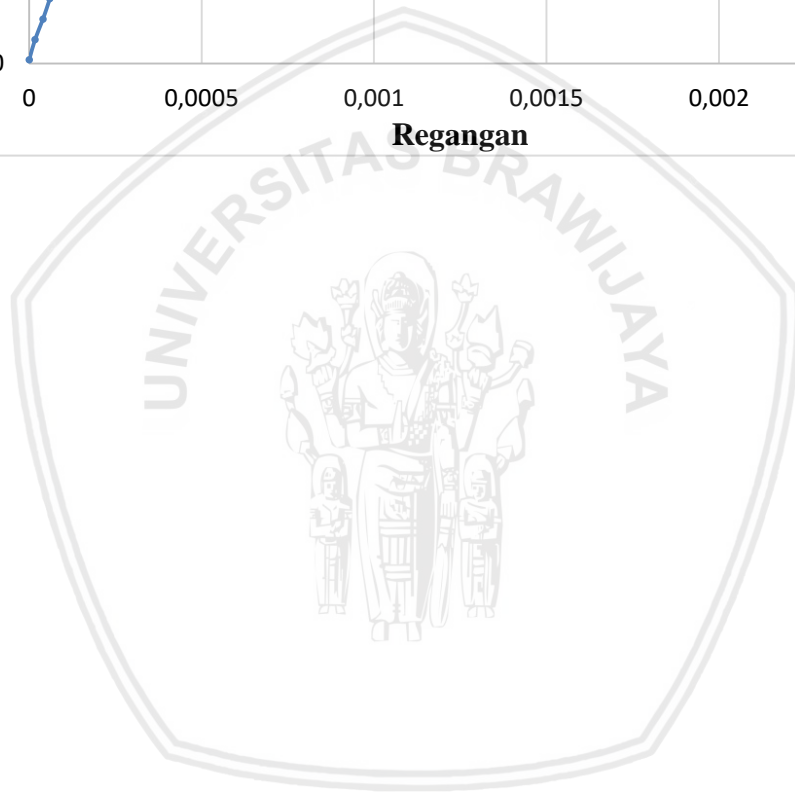
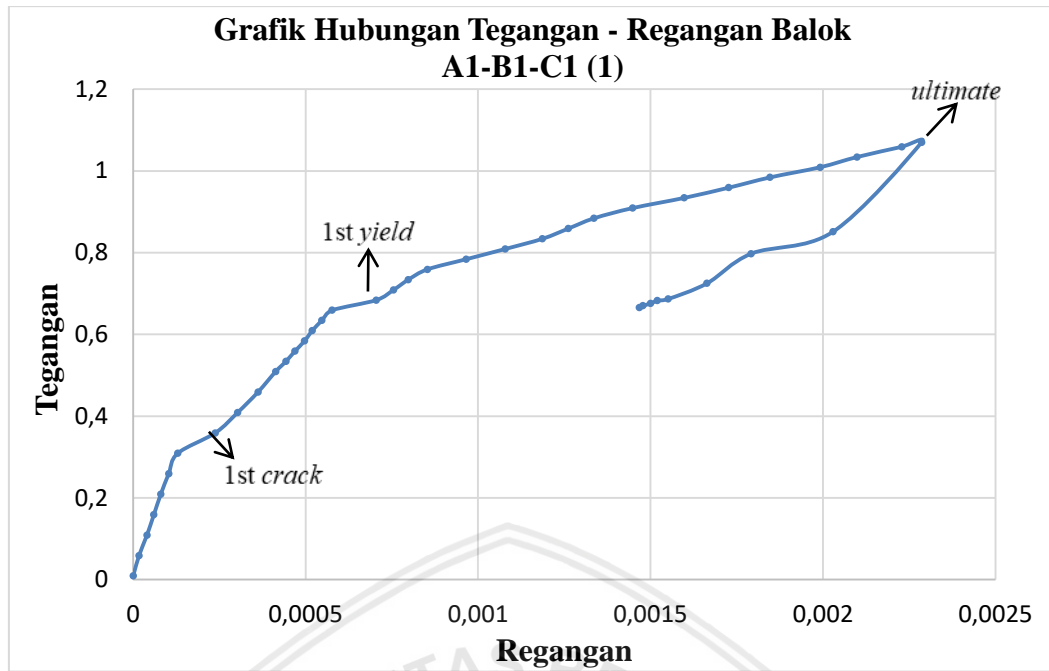
$$y = 100 \text{ mm}$$

$$q = 0,072 \text{ kg/mm}$$

$$L = 1000 \text{ m}$$

No.	Beban (kg)	Momen (kgmm)	Tegangan (kg/mm <sup>2</sup> )	Regangan (ε)
1	200	59000	0,059	1,70E-05
2	400	109000	0,109	4,00E-05
3	600	159000	0,159	6,00E-05
4	800	209000	0,209	8,00E-05
5	1000	259000	0,259	1,03E-04
6	1200	309000	0,309	1,29E-04
<b>7</b>	<b>1400</b>	<b>359000</b>	<b>0,359</b>	<b>2,38E-04</b>
8	1600	409000	0,409	3,03E-04
9	1800	459000	0,459	3,62E-04
10	2000	509000	0,509	4,13E-04
11	2100	534000	0,534	4,43E-04
12	2200	559000	0,559	4,69E-04
13	2300	584000	0,584	4,97E-04
14	2400	609000	0,609	5,19E-04
15	2500	634000	0,634	5,47E-04
16	2600	659000	0,659	5,77E-04
<b>17</b>	<b>2700</b>	<b>684000</b>	<b>0,684</b>	<b>7,05E-04</b>
18	2800	709000	0,709	7,55E-04
19	2900	734000	0,734	7,98E-04
20	3000	759000	0,759	8,53E-04
21	3100	784000	0,784	9,66E-04
22	3200	809000	0,809	1,08E-03

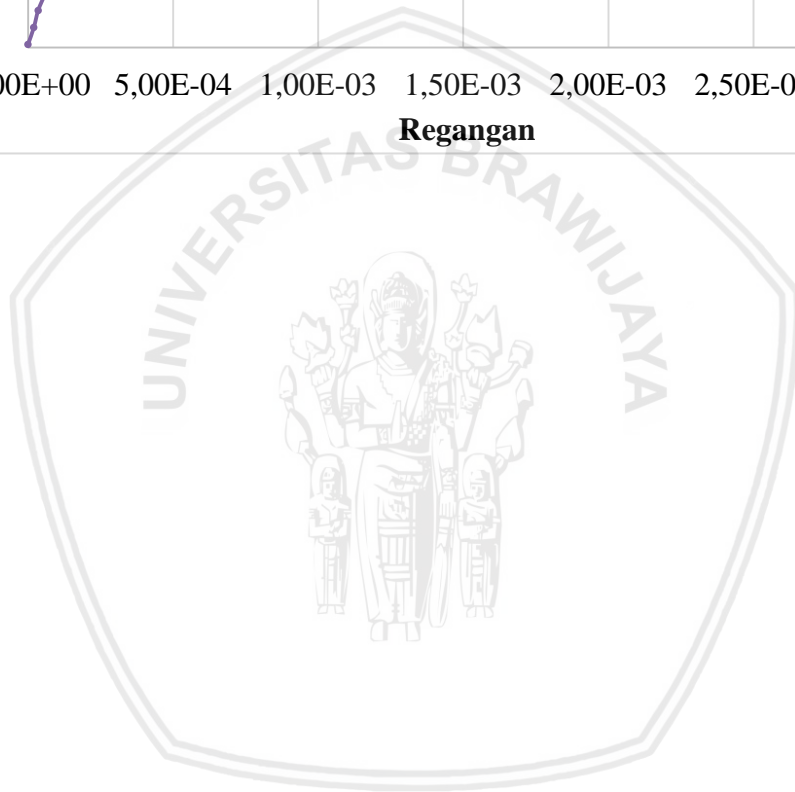
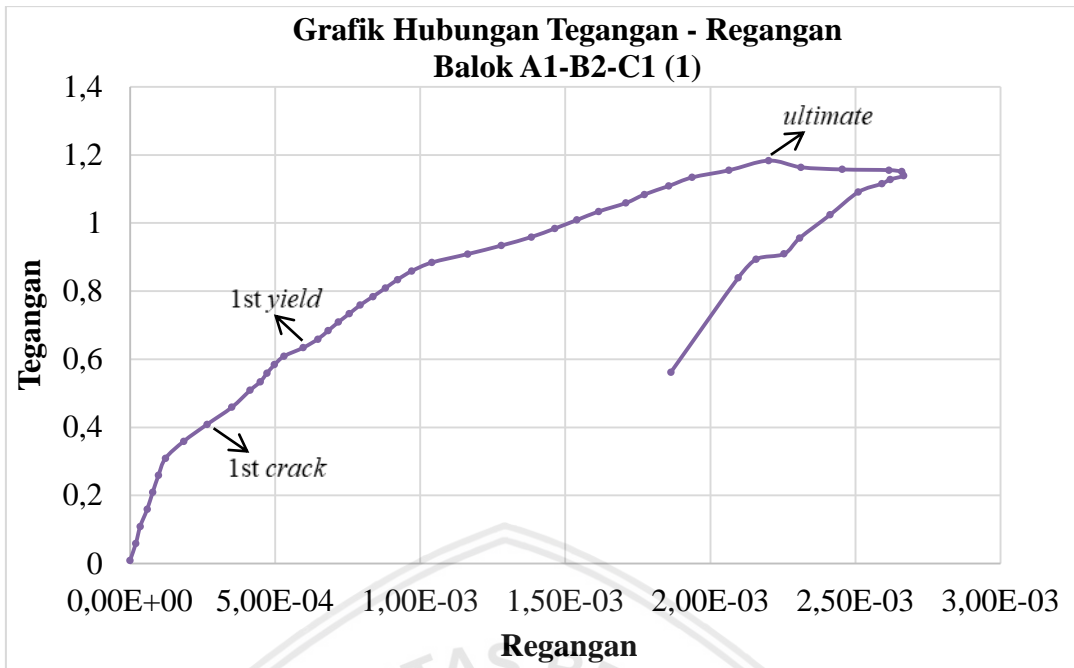
23	3300	834000	0,834	1,19E-03
24	3400	859000	0,859	1,26E-03
25	3500	884000	0,884	1,34E-03
26	3600	909000	0,909	1,45E-03
27	3700	934000	0,934	1,60E-03
28	3800	959000	0,959	1,73E-03
29	3900	984000	0,984	1,85E-03
30	4000	1009000	1,009	1,99E-03
31	4100	1034000	1,034	2,10E-03
32	4200	1059000	1,059	2,23E-03
<b>33</b>	<b>4244</b>	<b>1070000</b>	<b>1,070</b>	<b>2,29E-03</b>
34	3368	851000	0,851	2,03E-03
35	3154	797500	0,7975	1,79E-03
36	2864	725000	0,725	1,66E-03
37	2710	686500	0,6865	1,55E-03
38	2694	682500	0,6825	1,52E-03
39	2666	675500	0,6755	1,50E-03
40	2644	670000	0,6700	1,48E-03
41	2626	665500	0,6655	1,47E-03



## 3. Balok A1-B2-C1 (1)

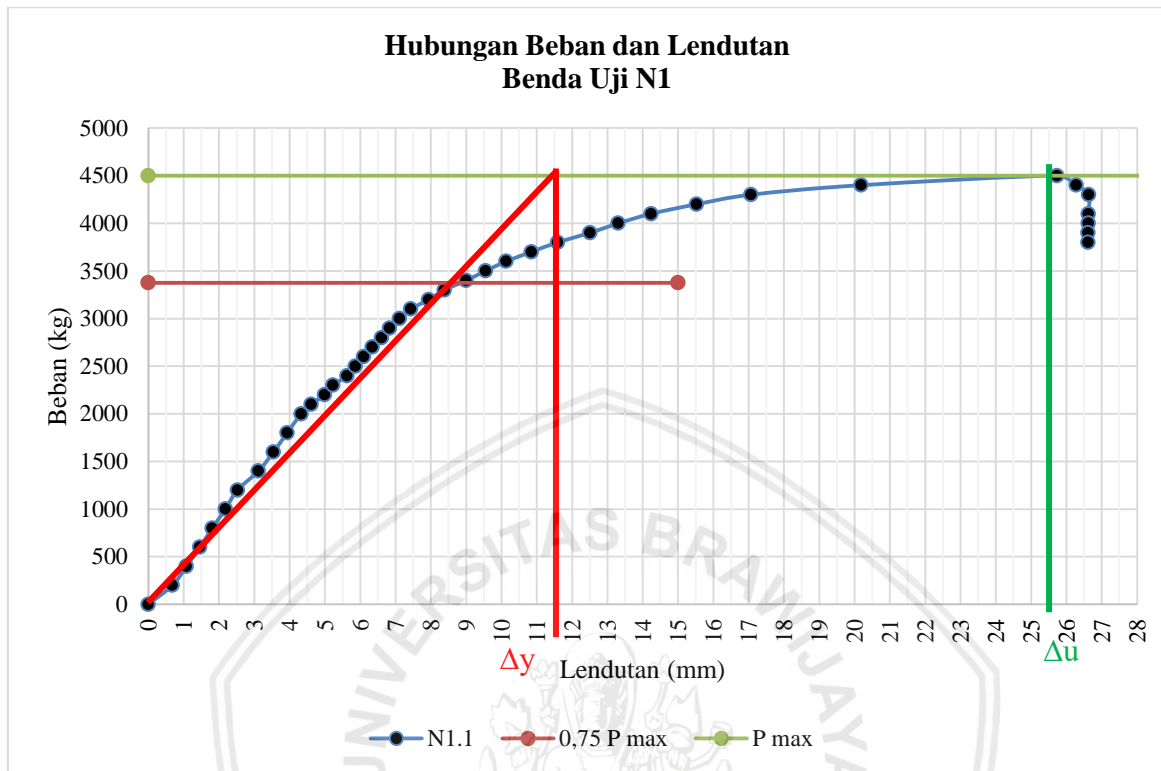
No.	Beban (kg)	Momen (kgmm)	Tegangan (kg/mm <sup>2</sup> )	Regangan (ε)
1	200	59000	0,059	2,00E-05
2	400	109000	0,109	3,50E-05
3	600	159000	0,159	5,90E-05
4	800	209000	0,209	7,80E-05
5	1000	259000	0,259	9,80E-05
6	1200	309000	0,309	1,22E-04
7	1400	359000	0,359	1,85E-04
<b>8</b>	<b>1600</b>	<b>409000</b>	<b>0,409</b>	<b>2,66E-04</b>
9	1800	459000	0,459	3,51E-04
10	2000	509000	0,509	4,14E-04
11	2100	534000	0,534	4,49E-04
12	2200	559000	0,559	4,72E-04
13	2300	584000	0,584	4,98E-04
14	2400	609000	0,609	5,31E-04
<b>15</b>	<b>2500</b>	<b>634000</b>	<b>0,634</b>	<b>5,97E-04</b>
16	2600	659000	0,659	6,47E-04
17	2700	684000	0,684	6,83E-04
18	2800	709000	0,709	7,18E-04
19	2900	734000	0,734	7,56E-04
20	3000	759000	0,759	7,93E-04
21	3100	784000	0,784	8,37E-04
22	3200	809000	0,809	8,80E-04
23	3300	834000	0,834	9,22E-04
24	3400	859000	0,859	9,71E-04
25	3500	884000	0,884	1,04E-03

26	3600	909000	0,909	1,16E-03
27	3700	934000	0,934	1,28E-03
28	3800	959000	0,959	1,38E-03
29	3900	984000	0,984	1,46E-03
30	4000	1009000	1,009	1,54E-03
31	4100	1034000	1,034	1,62E-03
32	4200	1059000	1,059	1,71E-03
33	4300	1084000	1,084	1,77E-03
34	4400	1109000	1,109	1,86E-03
35	4500	1134000	1,134	1,94E-03
36	4584	1155000	1,155	2,06E-03
<b>37</b>	<b>4698</b>	<b>1183500</b>	<b>1,1835</b>	<b>2,20E-03</b>
38	4620	1164000	1,164	2,31E-03
39	4594	1157500	1,1575	2,45E-03
40	4568	1155500	1,1555	2,62E-03
41	4568	1151000	1,151	2,66E-03
42	4520	1139000	1,139	2,67E-03
43	4476	1128000	1,128	2,62E-03
44	4426	1115500	1,1155	2,59E-03
45	4328	1091000	1,091	2,51E-03
46	4062	1024500	1,0245	2,41E-03
47	3788	956000	0,956	2,31E-03
48	3602	909500	0,9095	2,25E-03
49	3540	894000	0,894	2,16E-03
50	3320	839000	0,839	2,10E-03
51	2212	562000	0,562	1,86E-03



## Lampiran 6. Analisis Daktilitas Aktual P- $\Delta$

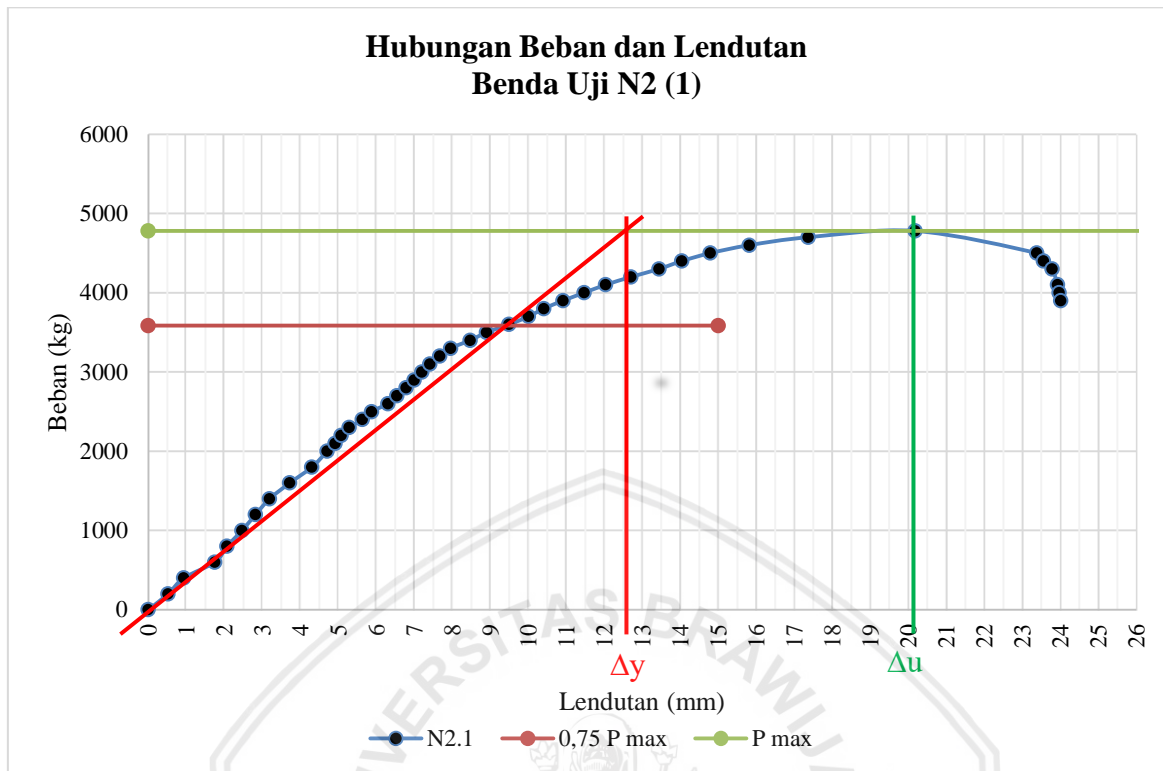
### 1. Benda Uji N1



$$\begin{aligned} \Delta y &= 11,6 \text{ mm} \\ \Delta u &= 25,73 \text{ mm} \\ \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta u}{\Delta y} \\ &= \frac{25,73}{11,6} \\ &= 2,218 \end{aligned}$$

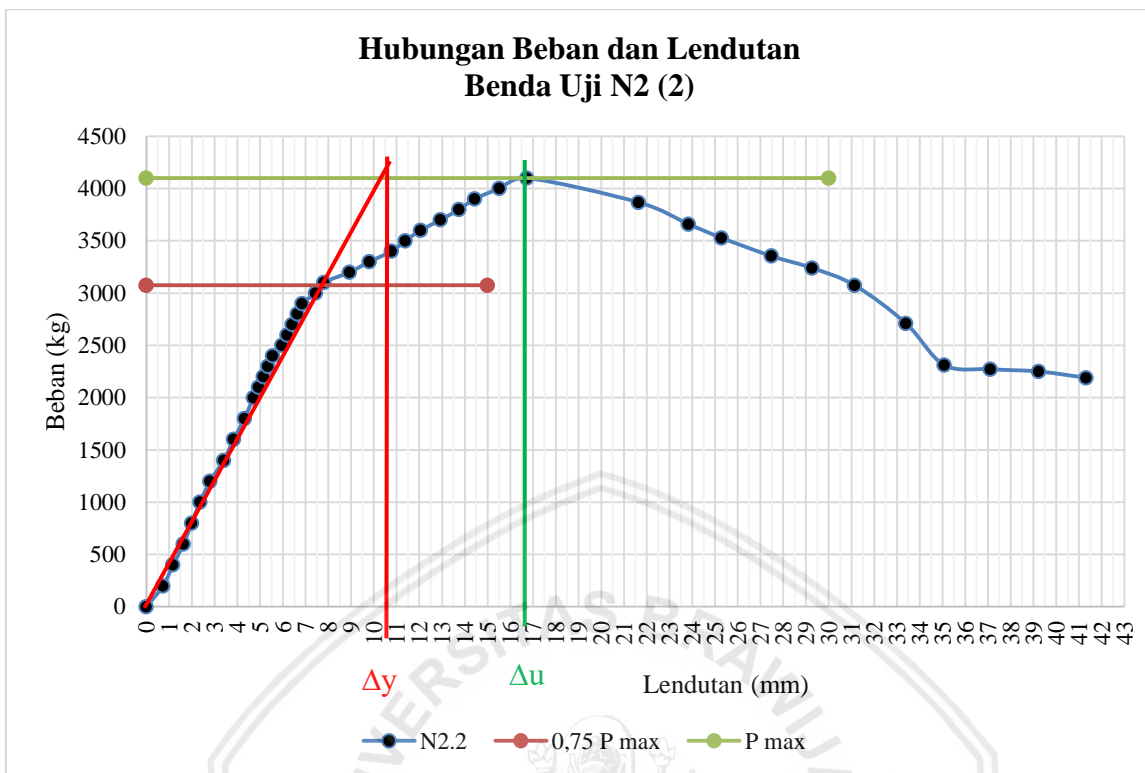


## 2. Benda Uji N2 (1)



$$\begin{aligned} \Delta y &= 12,6 \text{ mm} \\ \Delta u &= 20,18 \text{ mm} \\ \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta u}{\Delta y} \\ &= \frac{20,18}{12,5} \\ &= 1,602 \end{aligned}$$

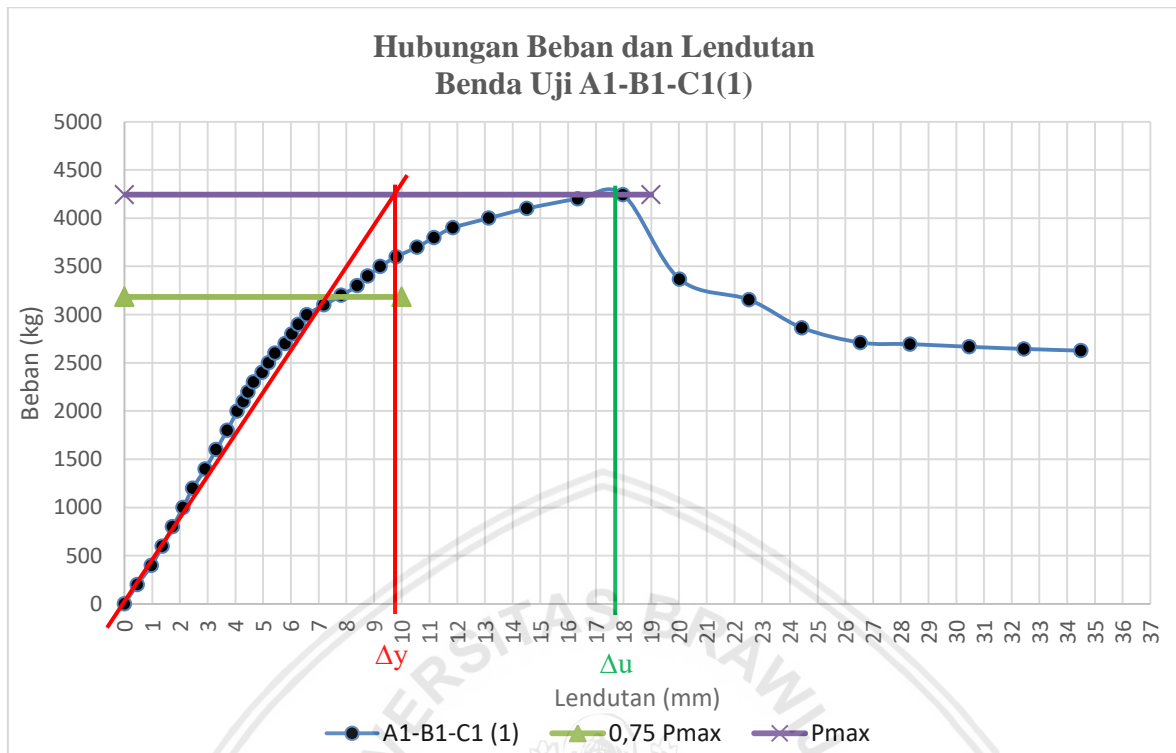
3. Benda Uji N2.2



$$\begin{aligned} \Delta y &= 10,6 \text{ mm} \\ \Delta u &= 16,73 \text{ mm} \\ \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta u}{\Delta y} \\ &= \frac{16,73}{10,5} \\ &= 1,578 \end{aligned}$$



## 4. Benda Uji A1-B1-C1 (1)

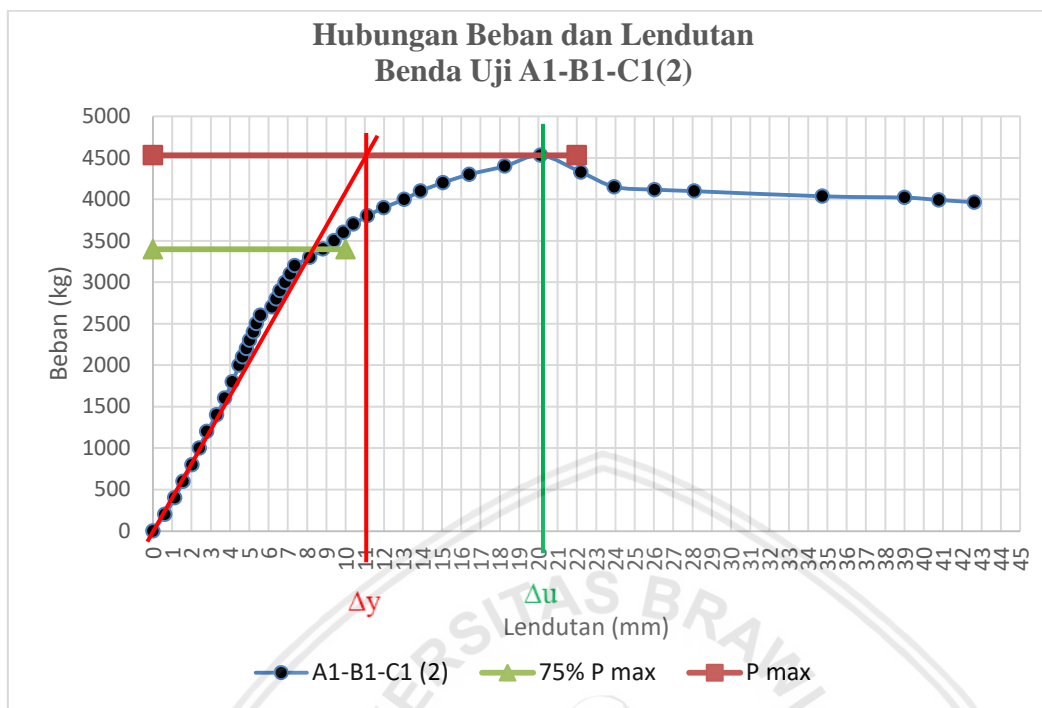


$$\Delta y = 9,8 \text{ mm}$$

$$\Delta u = 17,985 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta u}{\Delta y} \\ &= \frac{17,895}{9,8} \\ &= 1,835 \end{aligned}$$

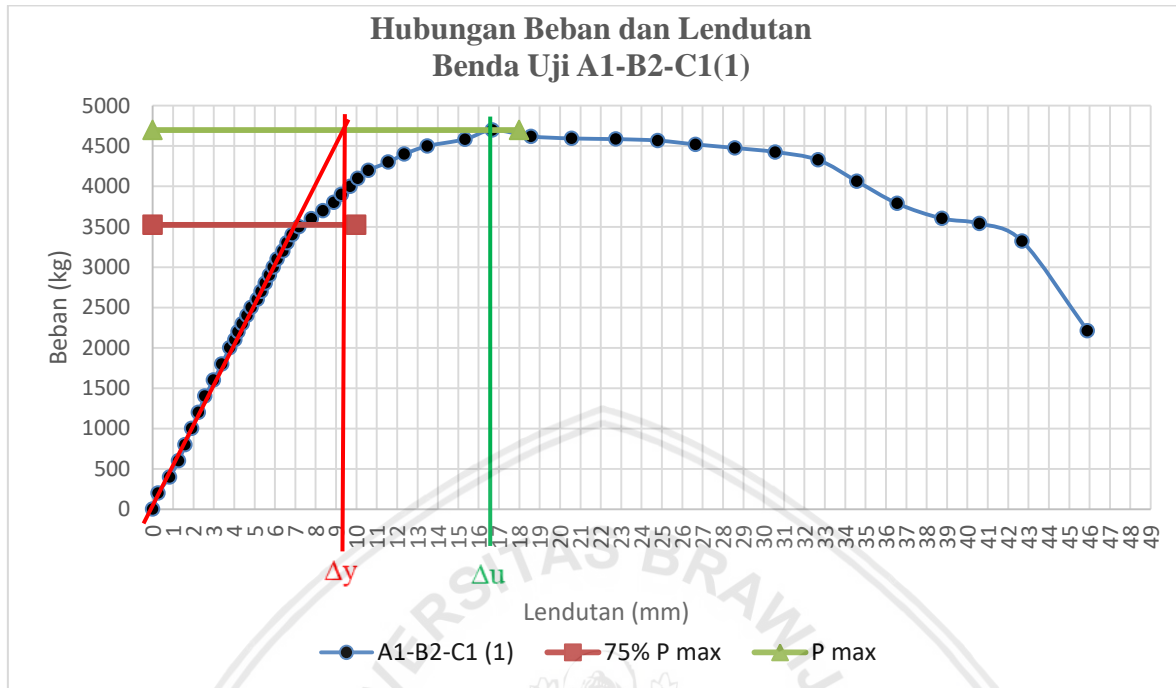
## 5. Benda Uji A1-B1-C1 (2)



$$\begin{aligned} \Delta y &= 11 \text{ mm} \\ \Delta u &= 20,120 \text{ mm} \\ \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta u}{\Delta y} \\ &= \frac{20,120}{11} \\ &= 1,829 \end{aligned}$$



## 6. Benda Uji A1-B2-C1 (1)

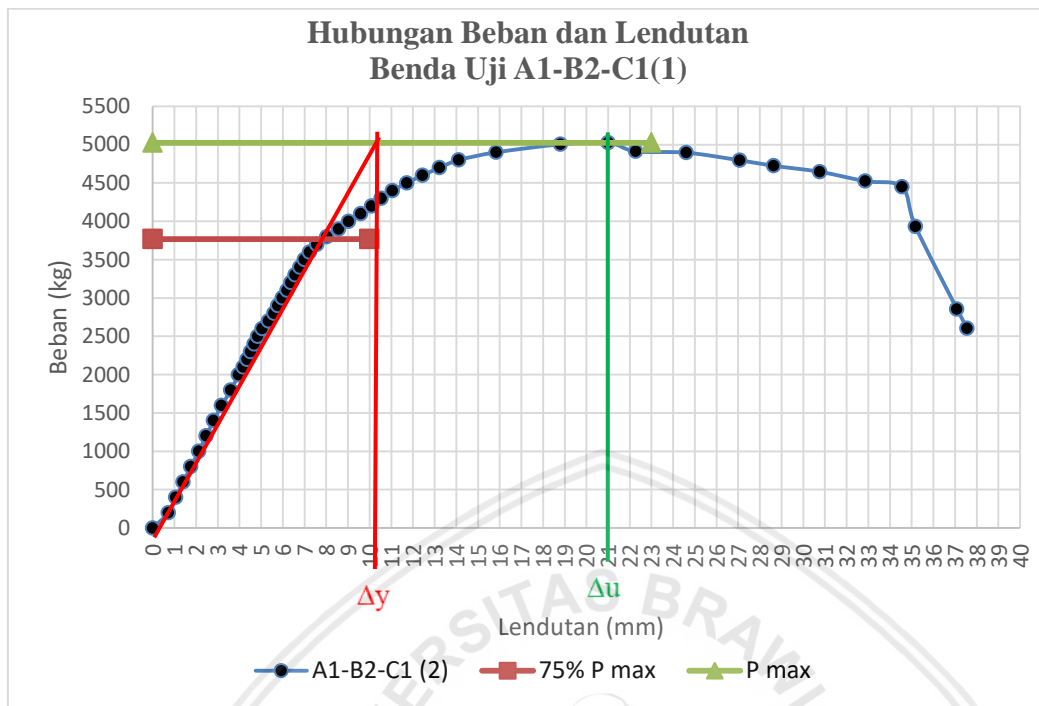


$$\Delta y = 9,2 \text{ mm}$$

$$\Delta u = 16,68 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta u}{\Delta y} \\ &= \frac{16,68}{9,2} \\ &= 1,813 \end{aligned}$$

## 7. Benda Uji A1-B2-C1 (2)



$$\begin{aligned} \Delta y &= 10,2 \text{ mm} \\ \Delta u &= 21,005 \text{ mm} \\ \mu_{\Delta} &= \frac{\Delta u}{\Delta y} \\ &= \frac{21,005}{10,15} \\ &= 2,059 \end{aligned}$$



**Lampiran 7. Dokumentasi Kegiatan Penelitian**

Gambar 1. Pencampuran serat kaleng ke dalam campuran beton



Gambar 2. Pengujian slump beton



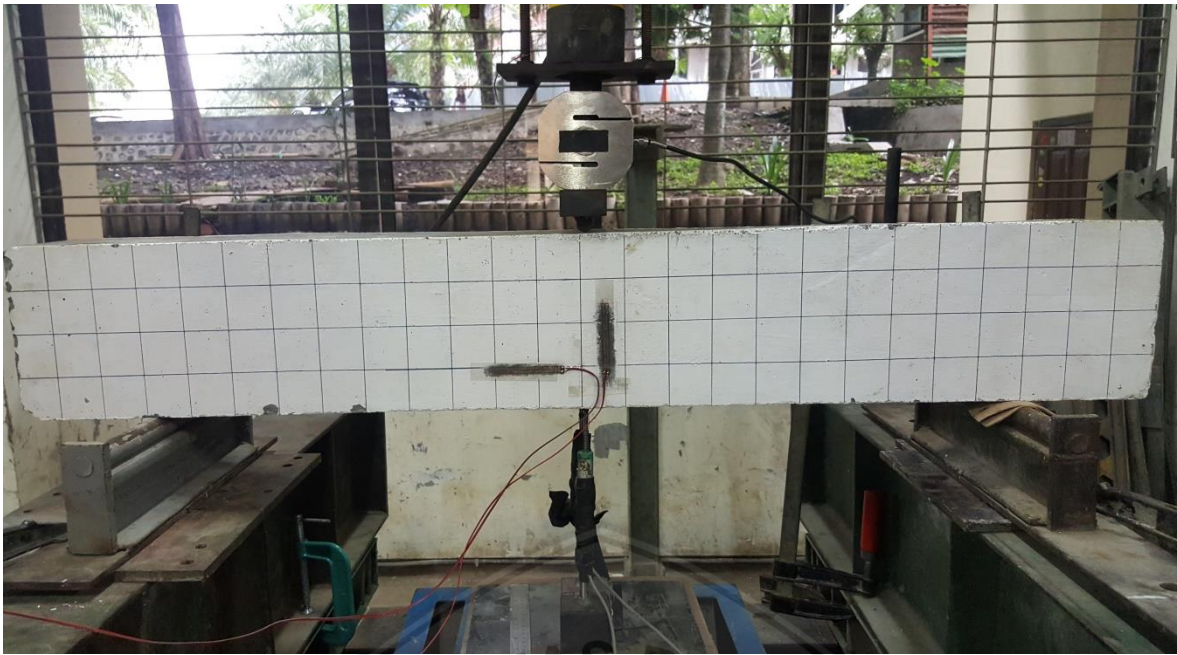


Gambar 3. Pengecoran silinder



Gambar 4. Balok dengan penambahan serat kaleng





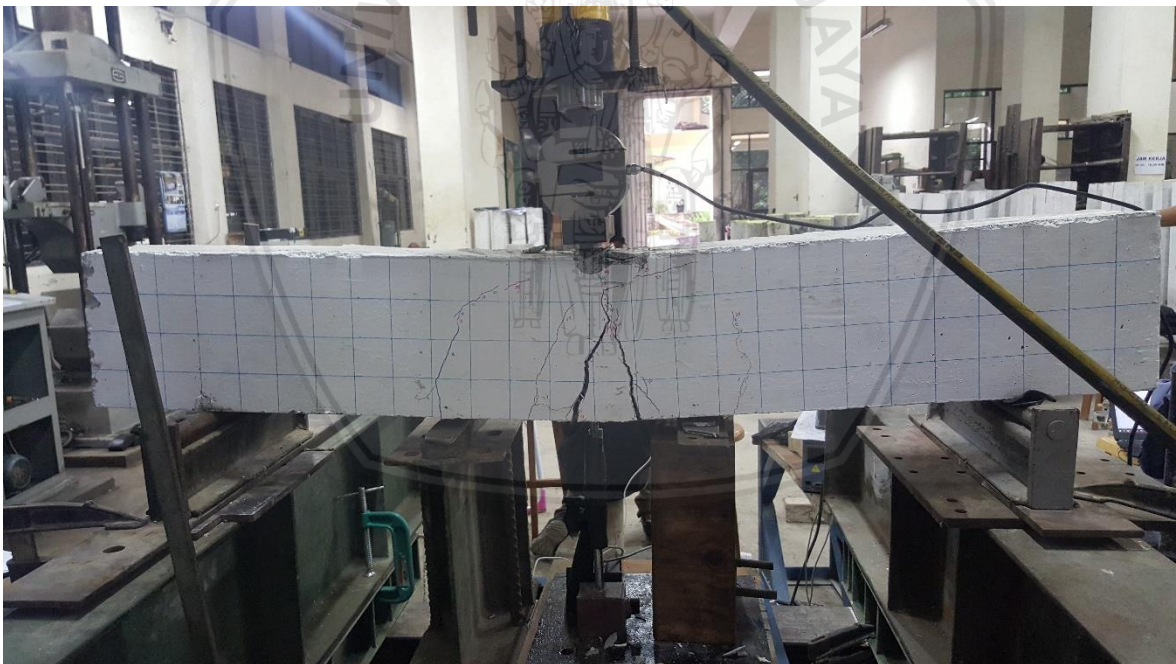
Gambar 5. Kondisi balok N1 sebelum pengujian (Diuji 5 Desember 2018)



Gambar 6. Kondisi balok N1 setelah pengujian dengan beban maksimum 4500 kg

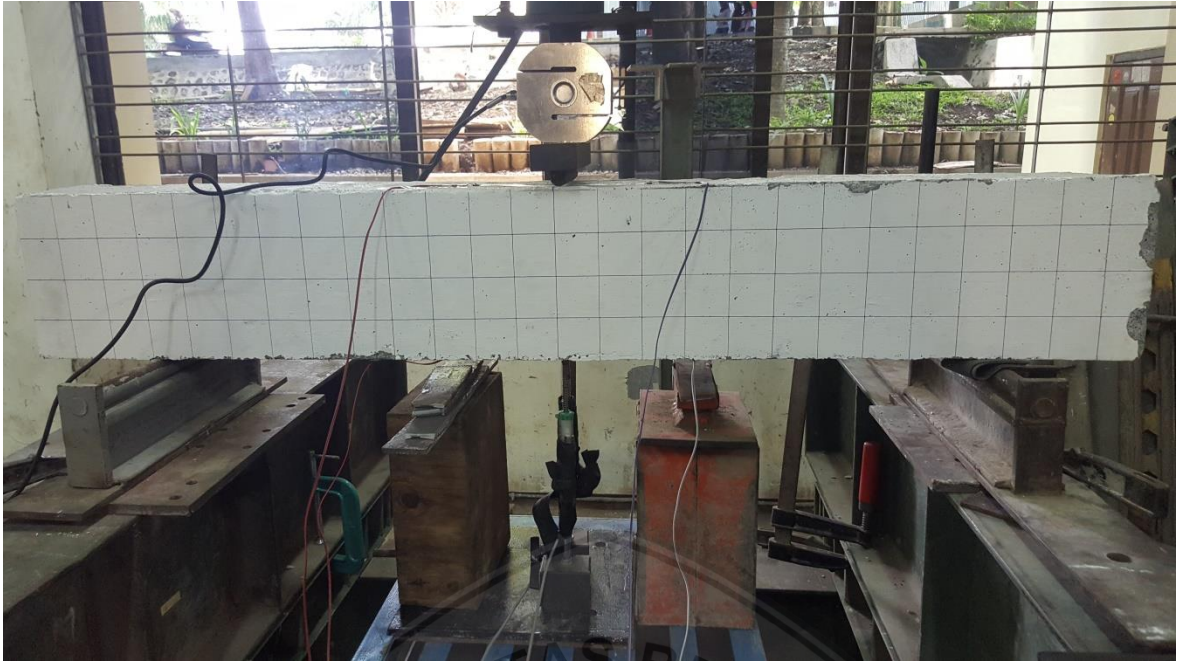


Gambar 7. Kondisi balok N2 (1) sebelum pengujian (Diuji 6 Desember 2018)



Gambar 8. Kondisi balok N2 (1) setelah pengujian dengan beban maksimum 4780 kg





Gambar 9. Kondisi balok N2 (2) sebelum pengujian (Diuji 10 Desember 2018)

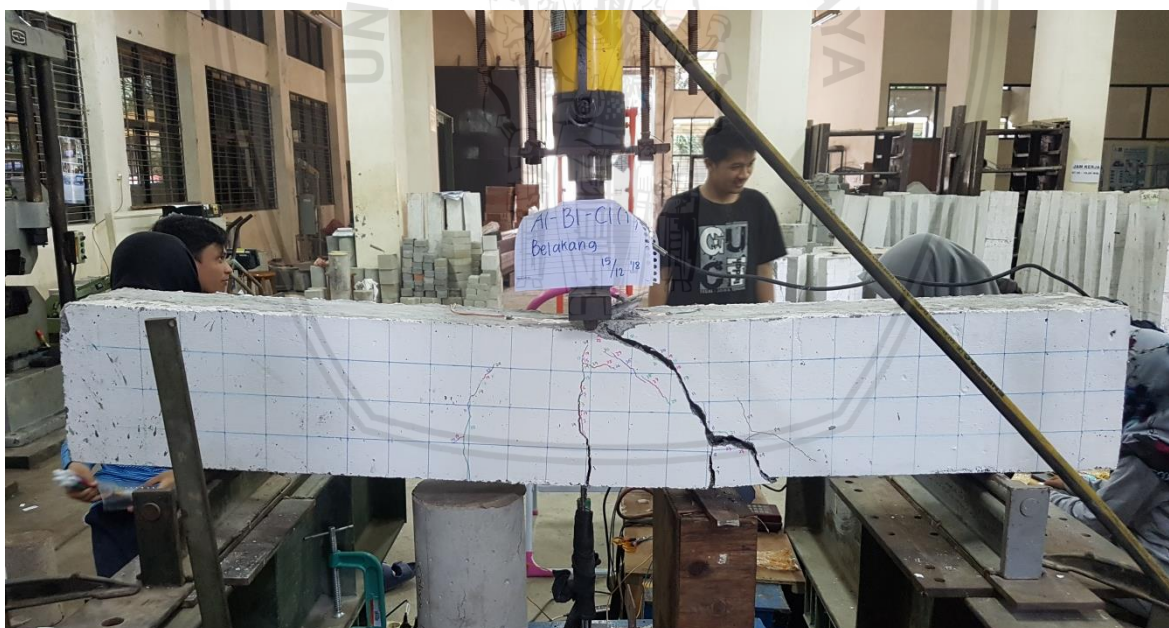


Gambar 10. Kondisi balok N2 (2) setelah pengujian dengan beban maksimum 4100 kg

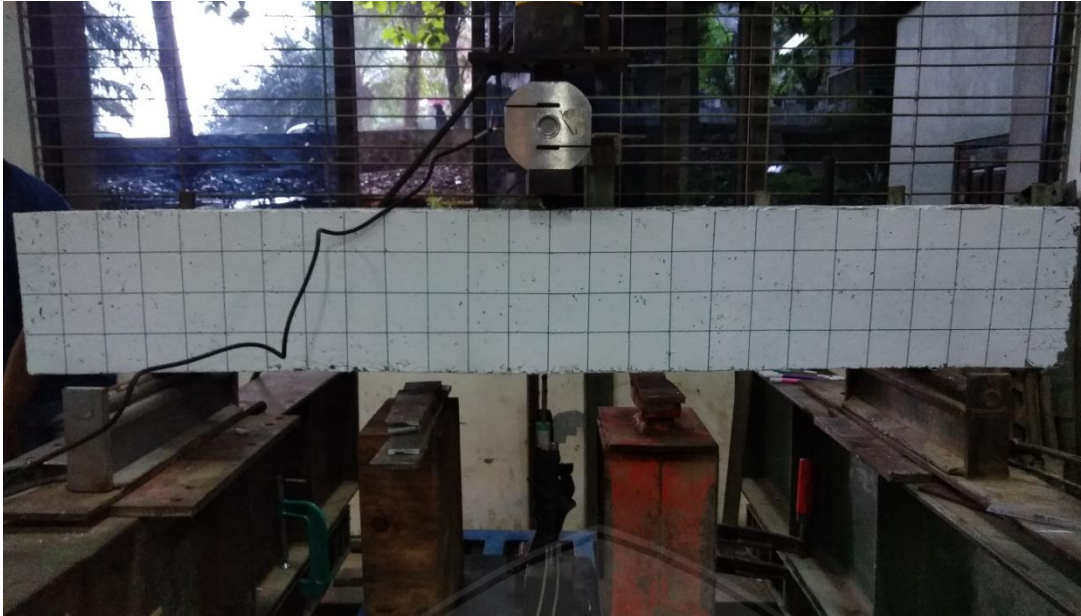




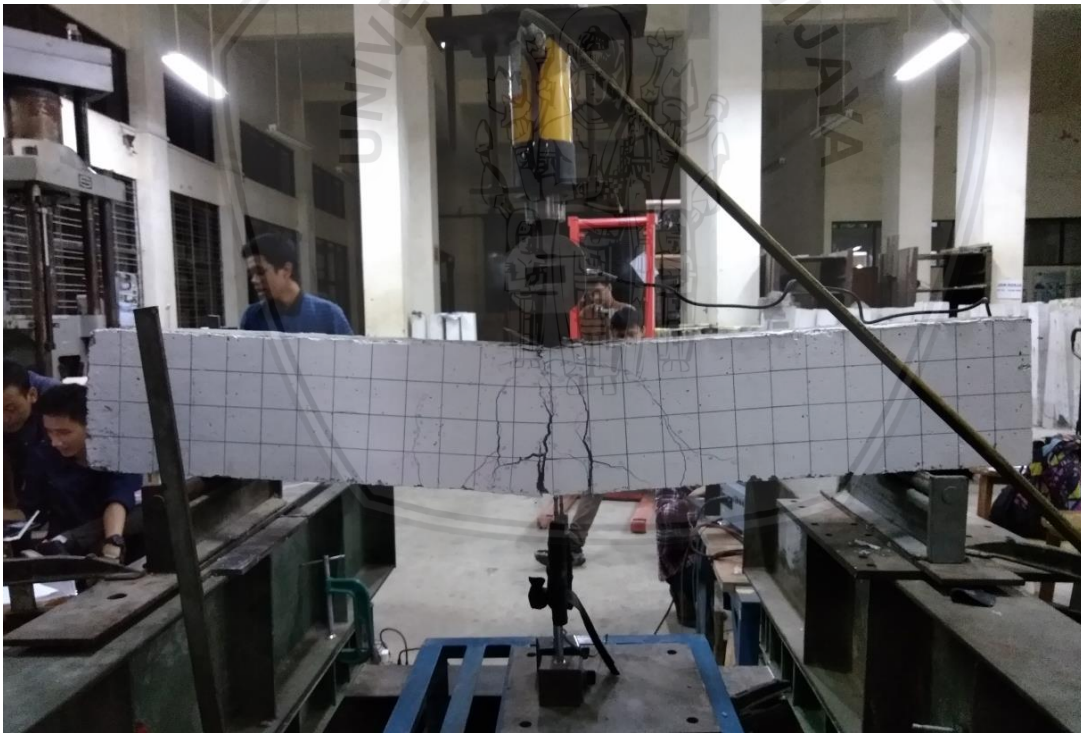
Gambar 11. Kondisi balok A1-B1-C1 (1) sebelum pengujian (Diuji 15 September 2018)



Gambar 12. Kondisi balok A1-B1-C1 (1) setelah pengujian dengan beban maksimum 4244kg



Gambar 13. Kondisi balok A1-B1-C1 (2) sebelum pengujian (Diuji 10 Desember 2018)



Gambar 14. Kondisi balok A1-B1-C1 (2) setelah pengujian dengan beban maksimum 4530kg



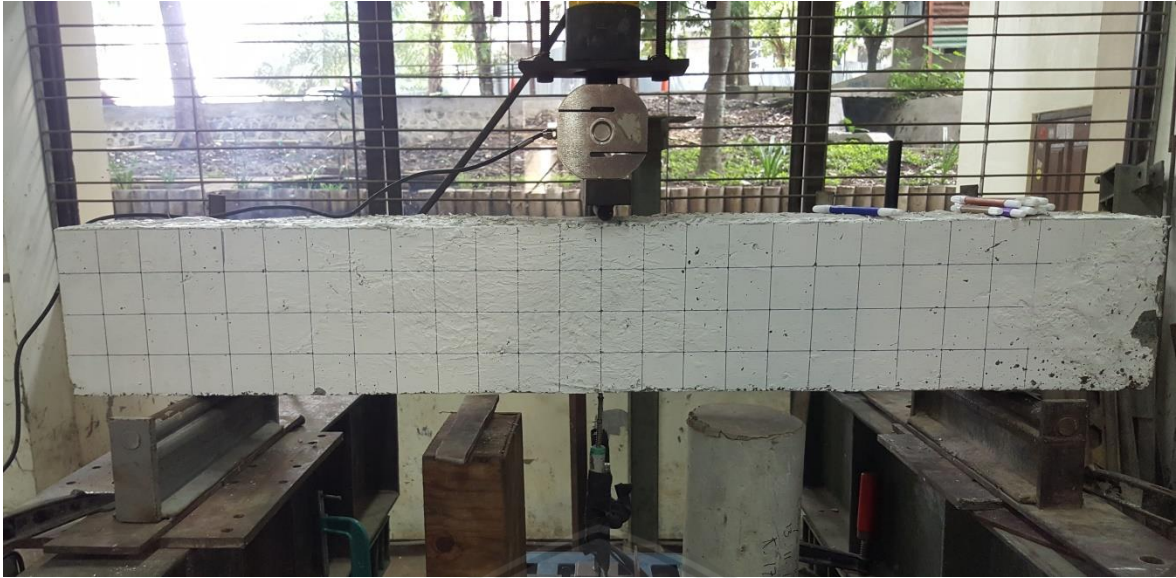


Gambar 15. Kondisi balok A1-B2-C1 (1) sebelum pengujian (Diuji 16 Desember 2018)

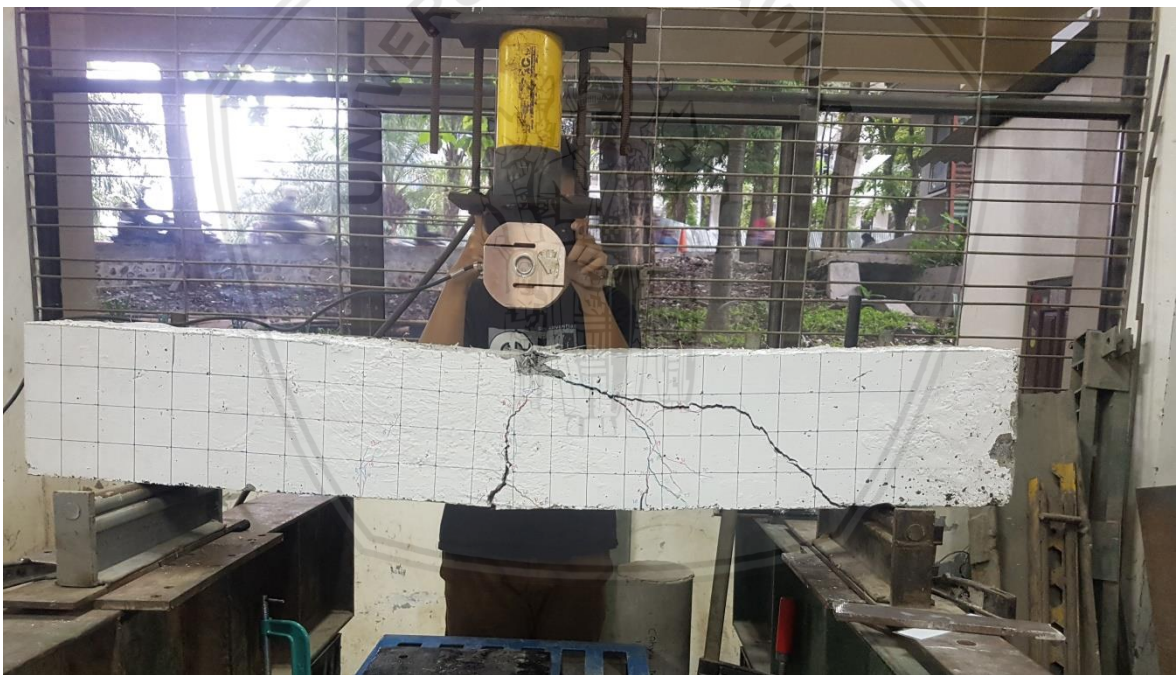


Gambar 16. Kondisi balok A1-B2-C1 (1) setelah pengujian dengan beban maksimum 4698 kg





Gambar 17. Kondisi balok A1-B2-C1 (2) sebelum pengujian (Diuji 12 Desember 2018)



Gambar 18. Kondisi balok A1-B2-C1 (2) setelah pengujian dengan beban maksimum 5024 kg



Gambar 19. Pengaruh serat 4 cm pada balok setelah dihancurkan





Gambar 20. Kondisi pengaruh serat 8 cm pada balok setelah dihancurkan