



**PENGARUH VARIASI PANJANG KAIT (*INTERLOCKING*) SERAT
KAWAT LOKET LAPIS PVC TERHADAP KEKAKUAN DAN POLA
RETAK BALOK BETON BERTULANG**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD ICHSAN ARDYAN

NIM. 135060101111073

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI PANJANG KAIT (*INTERLOCKING*) SERAT
KAWAT LOKET LAPIS PVC TERHADAP KEKAKUAN DAN POLA
RETAK BALOK BETON BERTULANG**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD ICHSAN ARDYAN

NIM. 135060101111073

Skrripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 13 Juli 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D

NIP. 19740619 200012 1 002

Christin Remayanti, ST.,MT.

NIP. 19840325 201504 2 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)

NIP. 19810220 200604 1 002



Terimakasih untuk Keluarga

Bapak dan Ibu Dosen

Teman-Teman Kuliah

Seluruh Elemen Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Brawijaya

Yang Selalu Saya Banggakan



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Pengaruh Variasi Panjang Kait (*Interlocking*) Serat Kawat Locket Lapis PVC Terhadap Kekakuan dan Pola Retak Balok Beton Bertulang

Nama Mahasiswa : Muhammad Ichsan Ardyan

NIM : 135060101111073

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc

Dosen Penguji 2 : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D

Dosen Penguji 3 : Christin Remayanti N., ST., MT.

Dosen Penguji 4 : Bhondana B.B.K., ST., MT., M.Sc (komp)

Tanggal Ujian : 15 Juni 2017

SK Penguji : 668/UN 10.F07/SK/2017

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai 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 plagiasi, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 13 Juli 2017

Mahasiswa



Muhammad Ichsan Ardyan

NIM. 135060101111073

RIWAYAT HIDUP

Muhammad Ichsan Ardyan, lahir di Jakarta, 06 Juli 1995, anak kedua dari Bapak Edi Utomo dan Ibu Titi Arifawati. Mulai memasuki bangku sekolah di SDN 16 Pagi Jakarta Timur sejak tahun 2001 dan lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP 07 Jakarta Timur dan lulus pada tahun 200. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA 31 Jakarta Timur dan lulus pada tahun 2013. Kemudian mengenyam bangku perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2017 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Selama kuliah aktif berpartisipasi dalam kegiatan organisasi kampus. Aktif sebagai anggota Departemen Amara Himpunan Mahasiswa Sipil periode 2014/2015, anggota Departemen Amara Himpunan Mahasiswa Sipil periode 2015/2016, serta berbagai kepanitiaan yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Malang, Juli 2017

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Panjang Kait (*Interlocking*) Serat Kawat Locket Lapis PVC Terhadap Kekakuan dan Pola Retak Balok Beton Bertulang” dapat terselesaikan. Judul tersebut diambil, karena dalam struktur bangunan terutama balok beton bertulang dibutuhkan sifat yang daktail dan lebih kuat. Maka penelitian tentang teknologi beton serat sangat dibutuhkan dalam pembangunan infrastruktur khususnya di Indonesia.

Naskah ini disusun sebagai hasil dari kajian literatur dan penelitian eksperimental yang dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan kepada:

1. Ayah, Ibu, Kakak, dan segenap keluarga besar yang telah memberikan dukungan moral dan material demi terwujudnya skripsi ini.
2. Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
3. Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
4. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Il. Christin Remayanti N., ST., MT. selaku dosen pembimbing dan seluruh bapak ibu dosen yang telah membantu dalam penelitian,
5. Staff Recording yang telah membantu dalam administrasi dari awal hingga akhir,
6. Rekan tim penelitian dan skripsi, Alodia, Muthiah, Christin, dan Rizky yang telah bekerja sama dan berjuang selama beberapa bulan terakhir,
7. Teman-teman Iwan, Arif, Awi, Rahmi, Linda, Mustika, Reza yang membantu dalam pengujian,
8. Teman-teman dari AmerA Bridge Club dan segenap Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya, khususnya sipil 2013 yang memberikan dukungan dan semangat selama penelitian ini berlangsung, serta semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian.

Terima kasih atas bantuan dan kontribusi pihak-pihak sebagaimana disebutkan, semoga Allah SWT selalu melimpahkan kasih sayang dan kebaikan-Nya.

Penyusun



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR ISI

Judul	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penulisan	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Beton Serat (<i>Fiber Concrete</i>)	5
2.1.1 Beton	5
2.1.2 Pengertian Beton Serat	7
2.1.3 Sifat-sifat Beton Serat	7
2.1.4 Serat	8
2.1.5 Serat Kawat	8
2.2 Beton Bertulang	11
2.2.1 Kekuatan Beton Bertulang	12
2.2.2 Tulangan	12
2.3 Teori analisa penampang beton bertulang	13
2.4 Teori Underreinforced, Overreinforced dan Balance Steel Ratio	18
2.5 Perhitungan Defleksi	19
2.6 Kekakuan	20
2.7 Pola Retak Dalam Balok Beton Bertulang	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
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	Persiapan	28
3.5.2	Uji Tarik Baja Tulangan	29
3.5.3	Pembuatan Model Balok.....	29
3.5.4	Benda Uji dan Setting up	31
3.6	Variabel Penelitian.....	32
3.7	Metode Analisis Data.....	33
3.7.1	Kekakuan	33
3.7.2	Pola Retak	34
3.8	Hipotesa Penelitian	34
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Hasil Pengujian Bahan Penyusun Balok.....	35
4.1.1	Slump Test	35
4.1.2	Pengujian Kuat Tarik Serat Kawat dan Baja Tulangan	35
4.1.3	Perencanaan <i>Mix Design</i> Beton	37
4.1.4	Pengujian Kuat Tekan.....	38
4.2	Analisis Perhitungan Beban Maksimum (Pu).....	40
4.2.1	Pemodelan Struktur.....	40
4.2.2	Perhitungan Beban Maksimum Teoritis	40
4.2.3	Beban Maksimum Aktual Hasil Pengujian	40
4.3	Berat Balok Beton.....	43
4.4	Analisis Lendutan dan Kekakuan Balok Beton Serat.....	44
4.4.1	Perbandingan Lendutan Aktual dan Teoritis	44
4.4.2	Perhitungan Kekakuan Balok Teoritis	45
4.4.3	Perbandingan Kekakuan Balok Teoritis dan Aktual.....	45
4.5	Hasil Pengujian Pola Retak.....	47
BAB V PENUTUP		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN		55
Lampiran 1. Analisa Gradasi Agregat		55



Lampiran 2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	59
Lampiran 3. Berat Isi Agregat.....	61
Lampiran 4. Kadar Air Agregat	62
Lampiran 5. Pengujian Kuat Tarik Kawat Locket Lapis PVC	63
Lampiran 6. Berat Isi Serat Kawat	64
Lampiran 7. Kuat Tekan dan Slump Beton.....	67
Lampiran 8. Hasil Pengujian Balok Serat	68
Lampiran 9. Perhitungan Beban Maksimum Teoritis	112
Lampiran 10. Perhitungan Lendutan Teoritis	114
Lampiran 12. Perhitungan Kekakuan Teoritis	116
Lampiran 12. Perhitungan Kekakuan Teoritis dengan $P = 1000 \text{ kg}$	117
Lampiran 13. Keruntuhan Geser Teoritis.....	118
Lampiran 14. Hasil Pola Retak	119
Lampiran 15. Gambar Pengecoran.....	123
Lampiran 16. Gambar Akhir Pola Retak.....	125



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hubungan antara Tegangan dan Regangan Beton.....	6
Gambar 2.2	Balok beton tanpa tulangan ((a) balok dengan beban P dan q, (b) balok melengkung, (c) diagram tegangan beton)	7
Gambar 2.3	Grafik Kuat Tekan dengan Panjang Serat	9
Gambar 2.4	Grafik Kuat Tarik dengan Panjang Serat.....	9
Gambar 2.5	Serat kawat loket pvc dan potongan serat yang akan digunakan sebagai campuran adukan beton	11
Gambar 2.6	Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Baja Tulangan	13
Gambar 2.7	Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton bertulang	14
Gambar 2.8	Diagram Regangan, Tegangan, Gaya-Gaya dalam Penampang Balok	15
Gambar 2.9	Jenis-jenis keruntuhan balok. (a) penampang balok. (b) distribusi regangan ultimate pada keruntuhan under reinforced. (c) distribusi regangan ultimate pada keruntuhan over reinforced. (d) distribusi regangan ultimate pada keruntuhan balance.	16
Gambar 2.10	Defleksi Balok Tunggal dengan Beban Merata (a) Bidang momen akibat beban merata (b) Bidang Momen yang menjadi beban untuk memperoleh grafik defleksi	19
Gambar 2.11	Jenis-jenis pola retak pada balok. (a) retak lentur (b) retak geser (c) retak geser lentur	21
Gambar 2.12	Jenis-jenis keruntuhan geser. (a) Balok tinggi dengan rasio $a/d < \frac{1}{2}$. (b) Balok pendek dengan $1 < a/d < 2,5$. (c) Balok panjang dengan rasio $a/d > 2,5$	23
Gambar 2.13	Variasi kekuatan geser	23
Gambar 3.1	Gambar detail penulangan balok beton	30
Gambar 3.2	Variasi serat kawat loket Lapis PVC yang digunakan pada benda uji 1, benda uji 2, dan benda uji 3	31
Gambar 3.3	Penempatan balok sebelum diuji	32
Gambar 3.4	Setting up pengujian benda uji	32
Gambar 3.5	Grafik Hubungan Antara Beban (P) dan Deformasi (Δ)	34
Gambar 4.1	Pemodelan struktur saat pembebanan.....	40
Gambar 4.2	Grafik Gabungan Hubungan Beban dan Lendutan.....	41
Gambar 4.3	Perbaikan I.O,6 Grafik Gabungan Hubungan Beban dan Lendutan	42
Gambar 4.4	Pemodelan struktur saat pembebanan.....	46



Gambar 4.5 Hasil Pola Retak Balok Tampak Depan 48

Gambar 4.6 Hasil Pola Retak Balok Tampak Belakang 49



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Rumus untuk menentukan defleksi, dengan berbagai macam bentuk beban baik beban merata maupun terpusat	19
Tabel 3.1	Form Data Hasil Pengujian Beban dengan Deformasi	33
Tabel 4.1	Hasil Nilai Slump Benda Uji Balok	35
Tabel 4.2	Spesifikasi Serat Kawat Locket Lapis PVC	35
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Kuat Tarik Kawat	36
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Tarik Baja tulangan polos diameter 8 mm dan 10 mm	37
Tabel 4.5	Perencanaan Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)	37
Tabel 4.6	Perbandingan Campuran Pada Perencanaan Mix design 21,7 Mpa	38
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	39
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	39
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Beban Maksimum Teoritis	40
Tabel 4.10	Perbandingan Nilai Lendutan Balok Teoritis dan Aktual	41
Tabel 4.11	Perbandingan Beban Maksimum Teoritis dan Aktual Setelah Perbaikan	43
Tabel 4.12	Hasil Penimbangan Berat Balok	44
Tabel 4.13	Perbandingan Lendutan Teoritis dan Aktual	44
Tabel 4.14	Perbandingan Nilai Kekakuan Balok Teoritis dan Aktual	45
Tabel 4.15	Perbandingan Nilai Kekakuan Balok Teoritis dan Aktual	46
Tabel 4.16	Perbandingan Nilai P crack Aktual dan Teoritis	47



Halaman ini sengaja dikosongkan



RINGKASAN

Muhammad Ichsan Ardyan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2017, *Pengaruh Variasi Panjang Kait (Interlocking) Serat kawat Locket Lapis PVC terhadap Kekakuan dan Pola Retak Balok Beton*, Dosen Pembimbing : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D Dan Christin Remayanti, ST.,MT.

Beton serat merupakan beton dengan penambahan serat yang dapat berupa serat asbestos, serat plastik (*poly-propylene*), potongan kawat baja, atau serat alami. Penambahan serat bertujuan untuk meningkatkan sifat daktil dan kuat lentur dari beton.

Kemampuan beton serat cocok untuk digunakan untuk struktur balok pada bangunan dikarenakan tujuannya yang membuat struktur gedung lebih kuat menahan beban yang terjadi. Peningkatan kekuatan beton serat tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis serat dan seberapa banyak campuran serat yang digunakan dalam adukan beton segar.

Pada penelitian ini dilaksanakan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah untuk benda uji beton serat silinder dan pembebanan titik di tengah bentang pada balok beton serat dengan bentang balok dari tumpuan ke tumpuan sepanjang 1 m. Variasi yang digunakan pada benda uji yaitu dengan panjang kait (*interlocking*) yang berbeda sepanjang 0,6; 1,2 dan 1,8 cm dengan panjang serat fiber untuk semua variasi adalah 3,6 cm, masing-masing variasi tersebut dibuat 3 benda uji balok dan 6 benda uji silinder. Setelah melakukan pengujian pada beton serat silinder dan balok dilakukan pengambilan data berupa kuat tekan balok serat, beban, lendutan dan pola retak yang terjadi.

Hasil dari pengujian dan analisis yang dilakukan terhadap data benda uji balok beton serat adalah kekakuan balok dengan panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm memiliki nilai terendah dan mencapai maksimum pada variasi 1,2 cm dengan peningkatan kekakuan sebesar 2,33% untuk kondisi setelah crack dan 8,47% untuk beban P sebesar 1000 kg atau sebelum terjadi crack, lalu kekakuan kembali mengecil pada variasi 1,8 cm. Untuk hasil pola retak yang terjadi pada balok tidak terlihat perbedaan yang signifikan. Semua balok diawali dengan pola retak lentur murni dan untuk balok dengan penambahan serat memiliki lebih banyak pola retak yang menyebar dan terus memanjang ke arah titik beban terpusat di tengah bentang.

Kata Kunci : Beton Serat, Serat Kawat Locket, Panjang Kait, Kekakuan, Pola Retak

SUMMARY

Muhammad Ichsan Ardyan, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2017, Effect of Interlocking Length of PVC Coated Welded Wire Mesh on the Stiffnes and Crack Pattern of Reinforced Concrete Beam. Academic Supervisor : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D Dan Christin Remayanti, ST.,MT.*

Fiber concrete is concrete with addition of fibers that can be either asbestos fibers, fiber plastic (poly-propylene), pieces of steel wire, or natural fibers. The addition of fiber aims to improve the nature of daktail and strong bending of concrete.

The ability of concrete fiber suitable for use for the structure of the beams on the building due to the goal that makes the building more powerful structures withstand the loads that occur. The fiber concrete strength was greatly influenced by the type of fiber and how much fiber blend used in the fresh concrete mortar.

On the research of the testing carried out powerful press, strong tensile test of concrete objects to halve the fiber cylinder and the imposition of the point in the middle of the span on the concrete beam with fiber span beams from object to object of all 1 m. Variation used on the test object with a interlocking are different along 0.6; 1.2 and 1.8 cm with a length of fiber for all variations is 3.6 cm, each made 3 variations of objects test beam and 6 cylinder test objects. After conducting testson concrete cylinders and fibre beam data retrieval be done strong press beam fiber, load, deflection and the pattern of cracks that occurred.

The results of the testing and analysis of concrete beams test object data fiber is the stiffness of the beam with a long hook (interlocking) 0.6 cm have the lowest value and the maximum variation has weathered 1.2 cm with increased rigidity of 2.33% for condition after crack and 8.47% for the load P of 1000 kg or crack before they occur, and then shrink back stiffness variation 1.8 cm. Results for the pattern of cracks that occurred on the block look no significant difference. All beams at the start with the elastic pure crack pattern and for beams with the addition of fibers have more widespread cracking pattern that keeps centralized load point breached in the middle of the span.

Keyword: *Fiber Concrete, Wiremesh Fiber, Interlocking, Stiffness, Pattern Cracks*



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan rekayasa teknologi dalam bidang teknik sipil terasa begitu cepat, salah satunya yaitu beton sebagai salah satu unsur teknik sipil yang selalu mengalami perkembangan. Beton merupakan salah satu unsur yang sangat penting, mengingat fungsinya sebagai salah satu elemen pembentuk struktur yang banyak digunakan oleh masyarakat. Keadaan dikarenakan sistem konstruksi beton yang mempunyai banyak kelebihan bila dibandingkan dengan bahan lain, misalnya mempunyai kuat tekan tinggi, dapat mengikuti bentuk bangunan secara bebas, tahan terhadap api dan biaya perawatannya relatif murah.

Beton dengan mutu dan kinerja yang tinggi merupakan material bangunan yang sudah banyak digunakan dalam pelaksanaan struktur bangunan modern. Beton adalah material yang hampir pada setiap aspek kehidupan sehari-hari dijumpai, baik secara langsung maupun tidak langsung. Menurut SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Struktur yang terbuat dari beton antara lain balok, kolom, atap, pelat lantai (decks) jembatan, dan bangunan gedung-gedung bertingkat.

Struktur Beton tersebut memiliki kelemahan yaitu tidak mampu menahan gaya tarik, dimana nilai kuat tarik beton berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1994). Selain kuat tarik yang rendah, beton juga memiliki sifat getas (*brittle*). Oleh karena itu umumnya beton diperkuat dengan tulangan baja untuk menahan gaya tarik dan sifat getas yang terjadi. Penambahan baja tulangan belum memberikan hasil yang cukup, karena retak-retak melintang halus akan tetap timbul didekat tulangan baja yang mendukung gaya tarik. Selain diperkuat dengan tulangan baja struktur beton juga bisa diperkuat dengan penambahan serat atau *fiber* yang terbuat dari baja.

Dalam perancangan struktur beton, tegangan tarik yang terjadi ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beton tarik tidak diperhitungkan menahan tegangan-tegangan tarik yang terjadi karena beton akan segera retak jika mendapat tegangan tarik yang melampaui

kuat tarik. Dilihat dari segi keawetan struktur, retakan ini akan mengakibatkan korosi pada baja tulangan yang akan mengurangi luasan penampang baja. Oleh karena itu Selain diperkuat dengan tulangan baja, kuat tarik beton ini harus ditingkatkan agar mampu menahan tegangan tarik tanpa mengalami retakan yaitu salah satunya dengan menambahkan serat atau bahan fiber pada adukan sehingga menjadi beton serat.

Beton serat adalah material komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat (Tjokrodinuljo, 1996). Serat itu sendiri termasuk jenis bahan tambahan (additive) selain admixture dan *fly ash* (abu terbang) yang umum digunakan pada campuran adukan beton. Dengan ditambahkan serat, beton menjadi lebih tahan terhadap retak dan tahan terhadap benturan sehingga beton serat lebih daktil daripada beton biasa. Dengan kata lain pengaruhnya terhadap kekuatan beton adalah meningkatkan kuat tarik, sementara terhadap kuat tekan beton pengaruhnya tidak begitu signifikan. Sehingga beton serat efektif digunakan pada struktur yang menerima tegangan tarik seperti struktur balok pada bangunan.

Balok beton adalah bagian struktur yang berfungsi untuk menopang lantai di atasnya dan juga berfungsi sebagai penyalur momen menuju kolom. Balok merupakan elemen lentur, yang menerima tegangan tekan pada serat atas dan tegangan tarik pada serat bawah.

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini kami akan meneliti lebih lanjut tentang pola retak yang terjadi pada balok beton serat dengan menggunakan serat kawat loket lapis PVC. Sehingga balok beton serat ini dapat menjadi alternatif yang baik sebagai balok struktural yang memiliki keunggulan dalam segi kekuatan dan ketahanannya terhadap pola retak.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kekakuan balok beton bertulang serat kawat loket lapis PVC dengan variasi panjang kait (*interlocking*)?
2. Bagaimana pengaruh pola retak balok beton bertulang serat kawat loket lapis PVC dengan variasi panjang kait (*interlocking*)?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pengaruh lingkungan luar diabaikan.
2. Balok menggunakan dimensi 150 x 200 mm dengan panjang 1300 mm.
3. Tulangan utama balok beton yaitu 2 - Ø10
4. Tulangan sengkang yang digunakan Ø8 – 200.
5. Tumpuan diasumsikan sendi-roll.
6. Jenis kawat yang digunakan adalah kawat loket berlapis PVC hijau.
7. Semen yang digunakan adalah PPC (*Portland Pozzolon Cement*).
8. Agregat halus berupa pasir.
9. Agregat kasar berupa kerikil.
10. Variasi panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm; 1,2 cm; dan 1,8 cm
11. Volume fraksi serat kawat loket lapis PVC hijau yang digunakan sebesar 1% terhadap volume beton.
12. Panjang serat kawat loket hijau sebesar 3,6 cm.
13. Mutu beton yang direncanakan $f'c$ 21,7 Mpa.
14. Pengaruh korositas diabaikan.
15. Pengujian dilakukan pada saat balok beton serat telah berumur 28 hari.

1.4 Tujuan Penulisan

Beberapa tujuan yang dapat diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh kekakuan balok beton bertulang serat kawat loket lapis PVC dengan variasi panjang kait (*interlocking*).
2. Untuk mengetahui pengaruh pola retak balok beton bertulang serat kawat loket lapis PVC dengan variasi panjang kait (*interlocking*).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk menambah wawasan dan pengetahuan dalam dunia konstruksi pada umumnya, juga menjadi bahan pembelajaran serta penelitian selanjutnya untuk mahasiswa ataupun para peneliti lainnya. Penelitian ini akan memberikan pengaruh kekakuan dan pola retak terhadap penambahan serat kawat loket berlapis PVC hijau pada balok beton. Sehingga didapatkan balok beton yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap retak.



BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Beton Serat (*Fiber Concrete*)

2.1.1 Beton

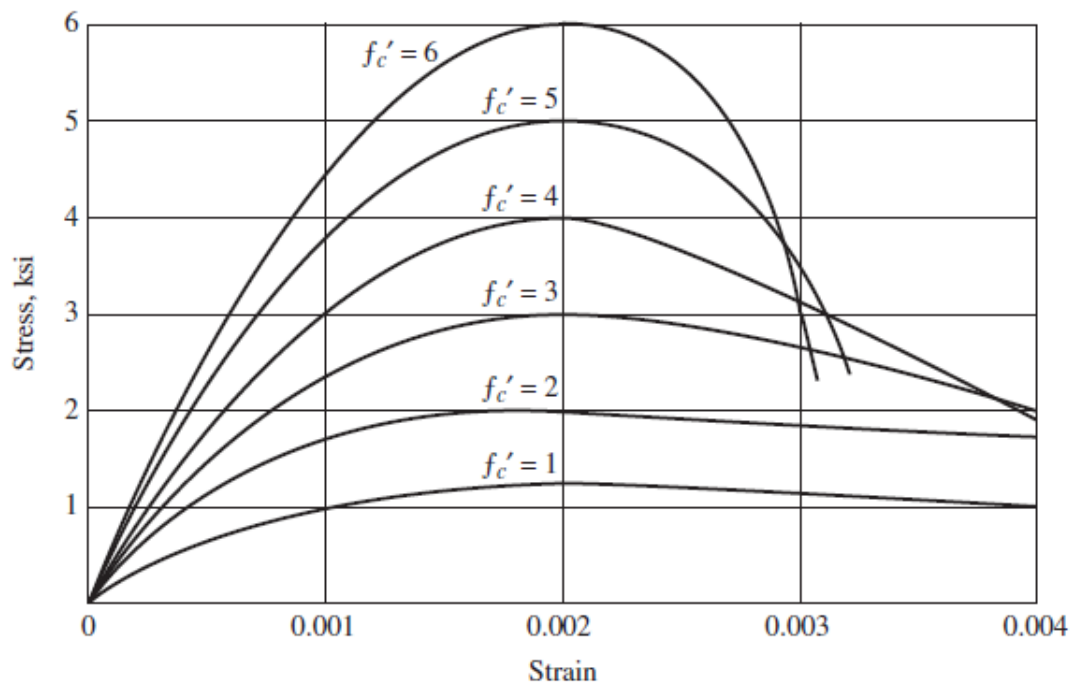
Sifat dari bahan beton, yaitu sangat kuat untuk menahan tegangan tekan, tetapi tidak kuat (lemah) untuk menahan tegangan tarik. Oleh karena itu, beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kuat tariknya (Asroni, 2010).

Beton sangat kuat menahan tekan, sehingga mutu beton hanya ditinjau terhadap kuat tekannya saja. Kuat tarik, modulus elastisitas beton dapat dikorelasikan dengan kuat tekan beton. Kuat tekan beton diberi notasi dengan f_c' , yaitu kuat tekan silinder pada umur 28 hari (SNI 03-2847-2002).

Menurut Asroni, mutu beton menurut kuat tekannya dibedakan menjadi:

1. Mutu beton dengan f_c' kurang dari 10 MPa, digunakan untuk beton non struktur (misalnya: kolom praktis, balok praktis).
2. Mutu beton dengan f_c' antara 10 MPa sampai 20 MPa, digunakan untuk beton struktur (misalnya: balok, kolom, pelat, maupun fondasi)
3. Mutu beton dengan f_c' sebesar 20 MPa ke atas, digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.

Gambar 2.1 menyajikan kurva tegangan-regangan yang diperoleh dari beton silinder yang dibebani oleh tekanan uniaksial dalam uji tekan yang dilakukan selama beberapa menit. Kemiringan kurva tampak linier sampai sekitar setengah dari kuat tekan. Puncak kurva untuk beton mutu tinggi relatif tajam, tapi untuk beton mutu rendah kurva memiliki datar. Regangan pada saat tegangan maksimum adalah sekitar 0,002. Pada regangan yang lebih tinggi, setelah tegangan maksimum tercapai, tegangan masih dapat meningkat meskipun terjadi retak yang sejajar dengan arah pembebanan pada beton. Kemudian, kurva sampai putus pada regangan 0,003-0,004. Selanjutnya hal ini akan menjadi asumsi untuk kemudahan perhitungan, bahwa beton runtuh pada saat regangan 0,003 (ACI 10.2.3).

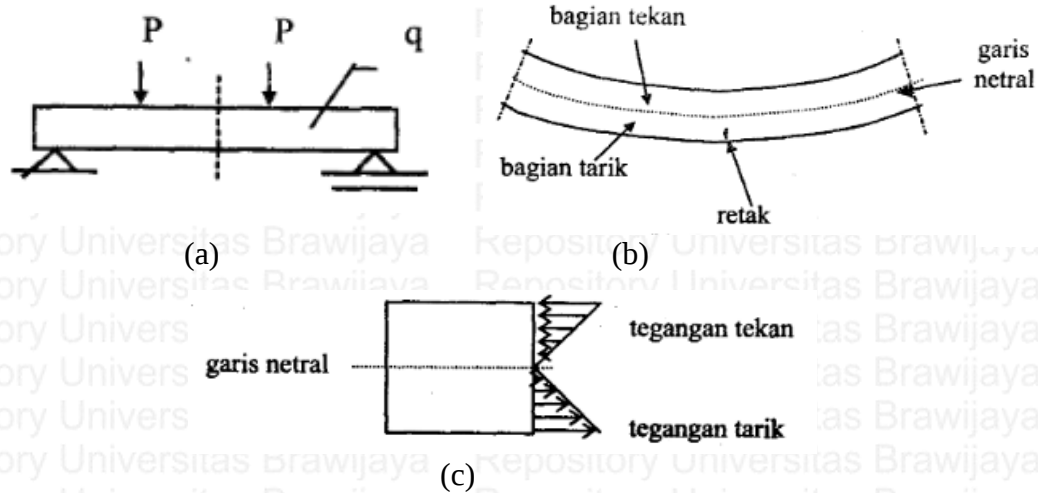


Gambar 2.1 Hubungan antara Tegangan dan Regangan Beton

Sumber : McCormac, Brown (2014)

Jika sebuah balok beton (tanpa tulangan) ditumpu oleh tumpuan sederhana (sendi-rol) dan di atas balok tersebut bekerja beban terpusat P serta beban merata q , maka akan timbul momen luar, sehingga balok akan melengkung ke bawah seperti terlihat pada gambar 2.2.

Pada balok yang melengkung ke bawah akibat beban luar ini pada dasarnya ditahan oleh kopel gaya-gaya dalam yang berupa tegangan tekan dan tarik. Jadi pada serat-serat balok bagian tepi atas akan menahan tegangan tekan dan semakin ke bawah tegangan tekan tersebut akan semakin kecil. Sebaliknya, pada serat-serat bagian tepi bawah akan menahan tegangan tarik dan semakin ke atas tegangan tariknya akan semakin kecil. Pada bagian tengah, yaitu pada batas antara tegangan tekan dan tarik, serat-serat balok tidak mengalami tegangan sama sekali (tegangan tekan maupun tarik bernilai nol). Serat-serat yang tidak mengalami tegangan tersebut membentuk suatu garis yang disebut garis netral (Asroni, 2010).



Gambar 2.2 Balok beton tanpa tulangan ((a) balok dengan beban P dan q, (b) balok melengkung, (c) diagram tegangan beton)

Sumber : Asroni (2010)

2.1.2 Pengertian Beton Serat

Beton yang ditambahkan dengan serat disebut dengan beton serat. Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastic (*poly-propylene*), potongan kawat baja, atau serat alami (rami, sabut kelapa, bamboo, ijuk) (Trimulyono, 2004). Dengan penambahan serat kedalam beton maka akan mengubah sifat beton, sehingga beton menjadi lebih daktil dan tidak mudah mengalami retak akibat gaya tarik yang disebabkan beban.

2.1.3 Sifat-sifat Beton Serat

Penambahan beton serat pada beton dan penyebarannya yang acak dapat mengatasi kekurangan beton pada sifat daktilnya dan pola retak akibat tegangan tarik. Selain pada tarik, penambahan serat dapat meningkatkan ketahanan pada lentur dan daktilitas beton tersebut. Daktilitas yaitu kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastik bolak-balik berulang di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya (SNI 03-1729-2002). Daktilitas beton yang meningkat akan menghindarkan keruntuhan yang tiba-tiba terjadi. Beton yang semakin kaku dengan penambahan serat dapat mengurangi lendutan (defleksi) yang akan terjadi akibat pembebanan yang berlebihan.

Kelebihan dan kekurangan beton serat adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan kuat tarik, kuat tekan dan kuat desak beton.
2. Daktilitas dan kuat lentur meningkat.

3. Mereduksi retak-retak yang dapat terjadi
4. Kekakuan beton meningkat.
5. Sedikitnya retak dan pengelupasan pada beton membantu untuk megghambat korosi pada besi tulangan akibat lingkungan.
6. Distribusi serat yang secara acak pada beton akan memberikan tahanan berimbang ke segala arah.

Sedangkan kekurangan beton serat adalah sebagai berikut :

1. Pengerjaan yang sulit daripada beton biasa.
2. Biaya yang sedikit lebih mahal karena ada penambahan bahan berupa serat.

2.1.4 Serat

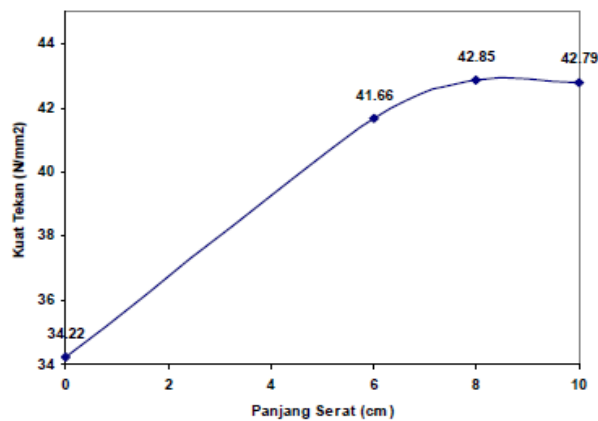
Serat yang biasa digunakan pada campuran beton dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu :

1. Serat metal, seperti serat baja, serat besi, dan serat bendrat.
2. Serat polymeric, seperti serat plastic dan serat nilon.
3. Serat mineral, seperti *fiberglass*.
4. Serat alam, seperti serat bambu, serat kayu dan serat kelapa.

ACI Committee 544 mendefinisikan bahwa semua material yang terbuat dari baja/besi yang berbentuk fisik kecil/pipih dan panjang dapat dimanfaatkan sebagai serat pada beton. Menurut ACI Committee 544 secara umum *fiber* baja panjangnya antara 0,5 in (12,7 mm) sampai 2,5 in (63,57 mm) dengan diameter antara 0,017 in (0,45 mm) sampai 0,04 in (1,0 mm).

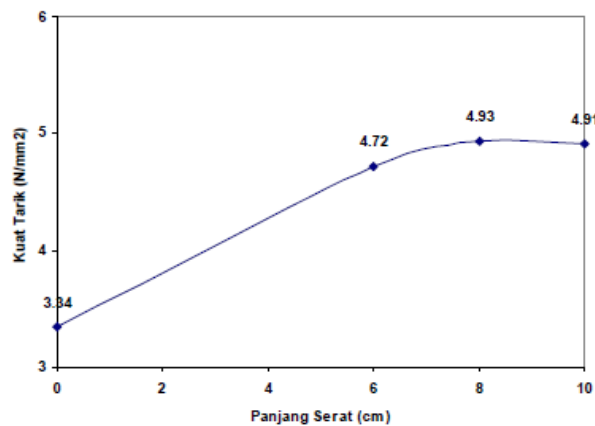
2.1.5 Serat Kawat

Sudarmoko meneliti pengaruh aspek rasio serat (nilai banding panjang dan diameter serat) yang dinyatakan panjang serat, terhadap sifat-sifat struktural adukan beton yang mengandung serat yang meliputi kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastis. Dengan panjang serat kawat bendrat 60, 80 dan 100 mm dengan konsentrasi serat 1 % dari volume adukan disimpulkan hasil terbaik ditunjukkan oleh beton serat dengan panjang serat 80 mm merupakan nilai yang optimal untuk ditambahkan pada adukan beton ditinjau dari sudut peningkatan kuat tarik dan kuat tekan. Sehingga disimpulkan, kawat bendrat berdiameter ± 1 mm dipotong-potong dengan panjang ± 8 cm dan dijadikan sebagai serat. (Ananta Ariatama, 2007).



Gambar 2.3 Grafik Kuat Tekan dengan Panjang Serat

Sumber: Sudarmoko (1993)



Gambar 2.4 Grafik Kuat Tarik dengan Panjang Serat

Sumber: Sudarmoko (1993)

Potongan kawat adalah termasuk *fiber* lokal yang murah dan banyak tersedia di Indonesia. Pada hasil penelitian Suhendro tentang pengaruh penambahan serat lokal (potongan kawat) terhadap daktilitas, kuat desak, dan beban kejut (*impact resistance*) didapatkan hasil bahwa penambahan serat pada beton dapat meningkatkan ketahanan terhadap daktilitas, kuat desak, dan beban kejut (*impact resistance*). Penelitian ini menggunakan tiga jenis kawat yaitu kawat baja, kawat bendrat dan kawat biasa dengan diameter ± 1 mm dipotong-potong dengan panjang ± 6 cm. Konsentrasi fiber yang diteliti adalah 0,5 dan 1 % dengan diameter kerikil maksimal yang dipakai adalah 2 cm karena akan mempermudah penyebaran fiber kawat bendrat secara merata kedalam adukan beton dan faktor air semen 0,5.

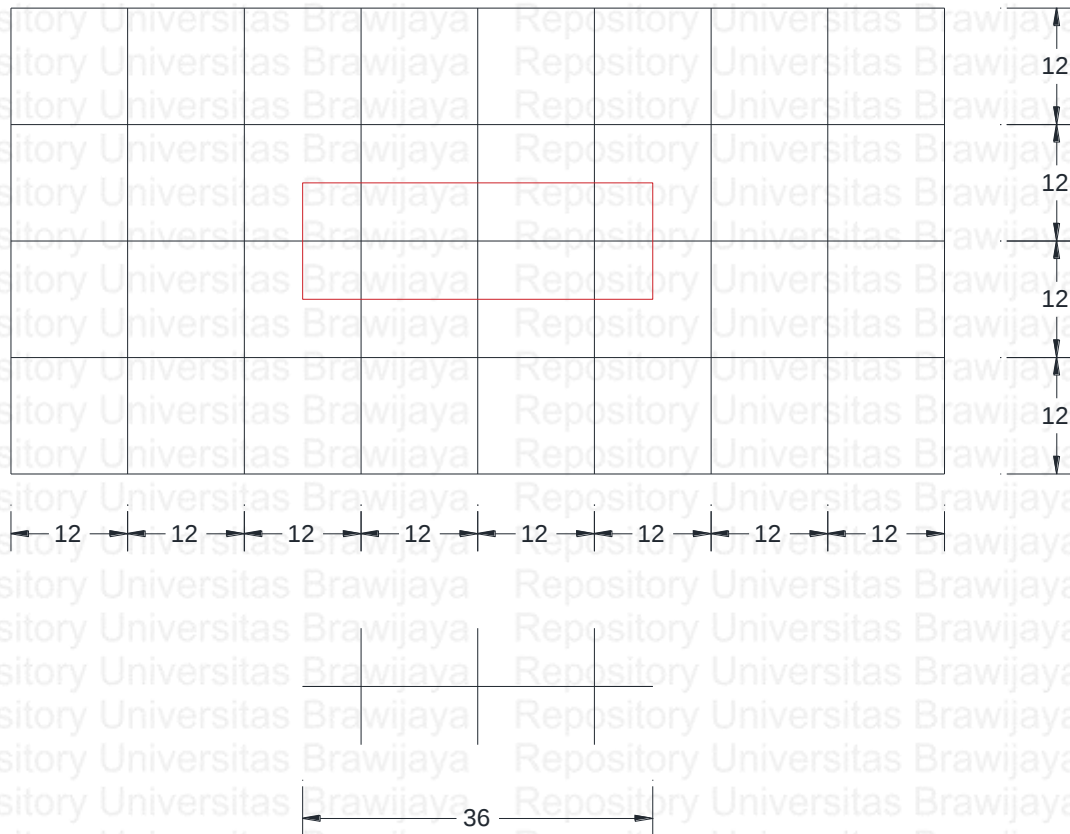
Namun, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan pada beton serat (Suhendro, 2000), yaitu :

1. *Fiber dispersion* yang berkaitan dengan teknik pencampuran serat kedalam adukan beton agar dapat tersebar merata dengan orientasi yang acak.
2. *Workability* (kelecekan adukan) yang berkaitan dengan kemudahan dalam proses pengerjaan/pemadatan, termasuk indikatornya.
3. *Mix design/proportion* untuk memperoleh mutu tertentu dengan kecelakaan yang memadai.

Workability akan menurun seiring dengan makin banyaknya prosentase *fiber* yang ditambahkan dan makin besarnya rasio kelangsingan *fiber* (Suhendro, 1991). Penurunan kelecekan adukan dapat dikurangi dengan penurunan diameter maksimal agregat, peninggian faktor air semen, penambahan semen ataupun pemakaian bahan tambah. Dan untuk mengatasi *fiber dispersion*, memodifikasi teknik pencampuran adukan (*mixing technique*) dapat dilakukan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Swammy dan Al-Noori, 1974 (dalam Sudarmoko, 1990) bahwa bentuk fiber akan berpengaruh pada kuat lekat yang selanjutnya berpengaruh pula pada peningkatan sifat-sifat struktural beton yang akan terbentuk. Pada beton fiber berkait kuat lekatnya akan 40 % lebih besar dibanding kuat lekat beton fiber polos. Pada penelitian ini akan dipakai serat kawat loket PVC. Perbedaan kawat loket PVC ini dari kawat yang biasanya adalah bahwa kawat ini terdiri dari kotak – kotak kecil yang mempunyai luasan 1,2 x 1,2 cm

Dalam penelitian ini *Fiber volume fraction* (V_f) yang digunakan adalah 0,75 %. Kawat loket yang digunakan mempunyai diameter 1 mm dengan panjang 36 mm. Bentuk penampang geometrik kawat loket seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Serat kawat loket pvc dan potongan serat yang akan digunakan sebagai campuran adukan beton

2.2 Beton Bertulang

Beton kuat menahan tekan dan lemah dalam menahan tarik, dan oleh karena kelemahan tersebut beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikul melebihi batas kuat tarik beton tersebut. Maka dari itu diperlukan tulangan baja yang berfungsi menyediakan kuat tarik pada beton. Penambahan tulangan pada beton disebut dengan istilah beton bertulang. Baja tulangan juga kekuatan tekan yang sama tingginya dengan kekuatan Tariknya, sehingga pemakaian baja tulangan selain untuk menahan kekuatan Tarik juga menahan kekuatan tekan bersama-sama dengan beton.

Beberapa dasar kerjasama antara bahan beton dan baja tulangan dapat terwujud:

1. Lekatan sempurna antara batang tulangan baja dengan beton keras yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran.
2. Beton bersifat kedap sehingga mampu melindungi dan mencegah terjadi karat;
3. Angka kecepatan muai kedua bahan hampir sama, beton sekitar 0,00001 sampai 0,000013 sedangkan baja 0,000012.

Beton bertulang mempunyai banyak kelebihan sehingga penggunaannya dalam dunia konstruksi sangat tidak terbatas. Hampir di setiap pembangunan selalu menggunakan beton, seperti dalam pembangunan gedung, jembatan, bendungan, tanki, reservoir dan sejumlah besar struktur lainnya.

2.2.1 Kekuatan Beton Bertulang

Menurut SNI 03-3847-2002, pada perhitungan struktur beton bertulang, beberapa istilah kekuatan suatu penampang adalah sebagai berikut:

1. Kuat nominal, kekuatan suatu komponen struktur yang dihitung dari ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan. Atau kata lain kekuatan beton pada kondisi normal.
2. Kuat rencana, kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperoleh dari hasil perkalian antar kuat nominal dan faktor reduksi kekuatan (ϕ).
3. Kuat perlu, kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi beban.

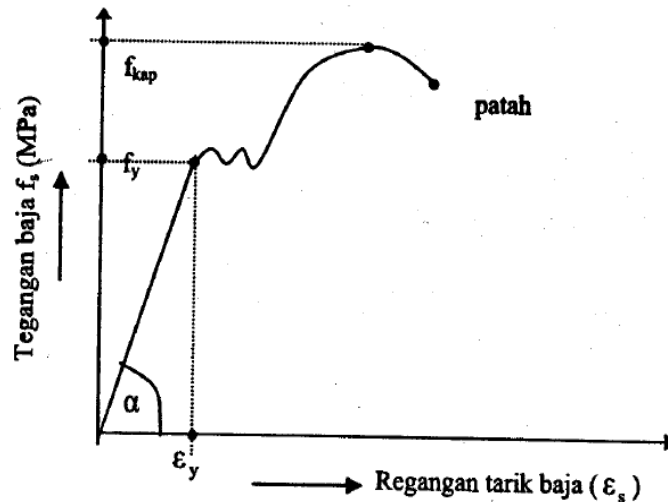
Jadi, kuat rencana merupakan kekuatan gaya dalam (berada di dalam struktur), sedangkan kuat perlu merupakan kekuatan gaya luar (di luar struktur) yang bekerja pada struktur. Syarat agar perencanaan struktur aman adalah kuat rencana harus lebih besar atau sama dengan kuat perlu.

2.2.2 Tulangan

Menurut SNI 03-2847-2002, tulangan yang dapat dipakai dalam elemen beton bertulang hanya baja tulangan dan kawat baja. Baja tulangan yang banyak dipasarkan adalah baja tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan ulir/*deform* (BJTD). Tulangan polos mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal 240 Mpa (BJTP-24) dan tulangan ulir mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal 300 MPa (BJTD-30).

Baja tulangan juga dapat menahan kuat tekan, tetapi karena harganya yang relative mahal dan juga beton sudah dapat menahan kuat tekan maka baja tulangan diutamakan untuk menahan tarik pada struktur beton bertulang.

Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.6 Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Baja Tulangan

Sumber : Asroni (2010)

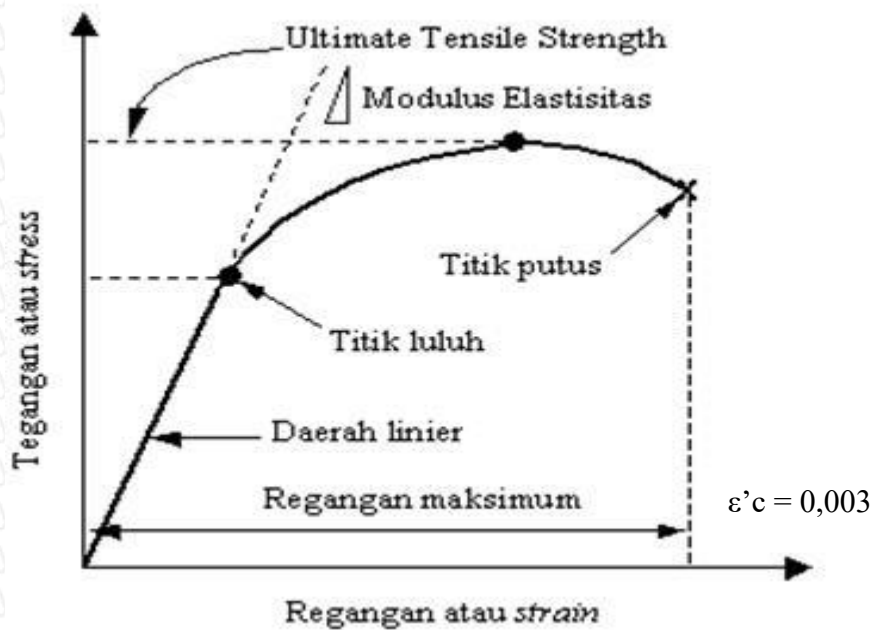
Dari hubungan tegangan-regangan baja tarik baja tulangan, terlihat sudut α yaitu sudut antara garis lurus kurva yang ditarik dari kondisi tegangan nol sampai tegangan leleh f_y dan garis regangan ϵ_s . Modulus elastisitas baja tulangan (E_s) merupakan tangens dari sudut α tersebut. Menurut pasal 10.5.2 SNI 03-2847-2002, modulus elastisitas baja tulangan non pratekan E_s dapat diambil sebesar 200000 MPa.

2.3 Teori Analisa Penampang Beton Bertulang

Asumsi-asumsi dalam analisis beton (keadaan batas):

1. Penampang yang semula rata akan tetap rata setelah terjadi deformasi atau perubahan bentuk sampai beton mengalami kehancuran akan tetap tegak lurus pada sumbu konstruksi (asas Bernouli).
2. Regangan-regangan di dalam penampang dianggap berbanding lurus dengan jaraknya ke garis netral (asas Navier)
3. Pada keadaan batas tegangan tekan beton tidak sebanding dengan regangannya. Bentuk dari balok tegangan tekan beton (dilihat pada penampang) berupa garis lengkung yang dimulai pada garis netral dan berakhir pada serat tepi yang tertekan, dimana tegangan tekan aksimum sebagai kekuatan tekan lentur beton pada umumnya tidak terjadi pada serat tepi.
4. Ikatan antara beton dan tulangan akan tetap dipertahankan sampai saat kehancuran. Dalam hal ini berarti regangan yang terjadi di dalam beton sama dengan regangan yang terjadi di dalam baja tulangan ($\epsilon_c = \epsilon_s$).

5. Diagram tegangan-regangan beton sesuai pada grafik dan regangan maksimum yang terjadi di dalam beton, ϵ'_c adalah 0,003.



Gambar 2.7 Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton bertulang

Bila tegangan baja tekan yang terjadi kurang dari tegangan leleh maka :

$$f'_s = \epsilon_c \times E_s \text{ untuk } f'_s < f_y \text{ (2.1)}$$

dengan:

f'_s = tegangan baja tekan

ϵ_c = regangan beton

E_s = modulus elastisitas baja

f_y = tegangan leleh baja

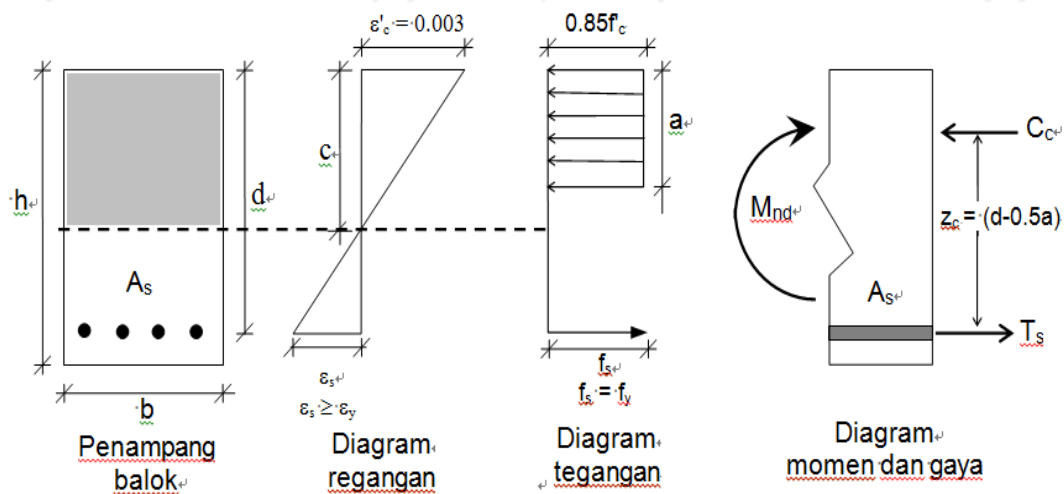
Setelah tegangan baja tekan melebihi tegangan leleh f'_y berubah menjadi:

$$f'_s = f_y \text{ untuk } f'_s > f_y \text{ (2.2)}$$

Segera setelah tegangan tarik hancur beton tercapai pada serat balok yang tertarik, retak rambut akan terbentuk dari dasar balok dan menjalar sampai pada penampang netral.

Gaya normal yang bekerja pada penampang berupa tegangan tekan beton f'_c di atas garis netral dan tegangan tarik tulangan f_y di bawah garis netral, pada penampang yang dilakukan

penambahan beban, retak-retak pada daerah yang tertarik akan meningkat cepat sebagai akibat dari melelehnya tulangan tarik baja.



Gambar 2.8 Diagram Regangan, Tegangan, Gaya-Gaya dalam Penampang Balok

Keterangan gambar :

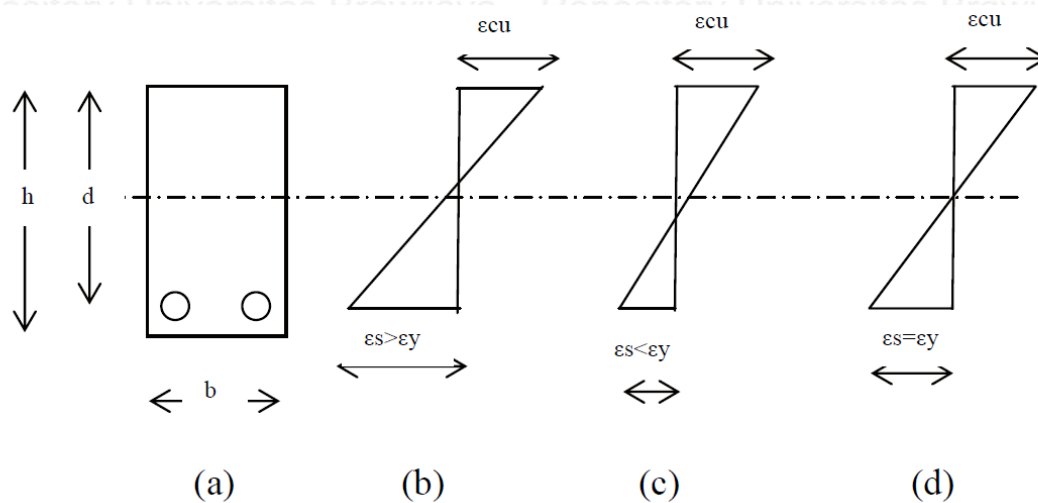
- b = lebar penampang balok beton
- h = tinggi penampang balok beton
- d = tinggi efektif penampang
- A_s = luas tulangan tarik
- f'_c = kekuatan tekan rencana beton
- f_y = tegangan leleh baja tulangan
- c = letak garis netral dari serat tekan beton
- a = kedalaman blok tekan persegi ekuivalen = $c \cdot \beta_1$
- C_c = gaya tekan beton
- T_s = gaya tarik tulangan baja

Kehancuran/keruntuhan balok beton bertulang akan terjadi karena:

1. Keruntuhan Tarik (*tension failure/under reinforced*), baja tulangan tarik pada kondisi sudah leleh ($f_s > f_y$) sedangkan serat paling atas beton yang tertekan belum hancur. Pada perhitungan penampang, kekuatan tarik baja tulangan sama dengan tegangan lelehnya ($f_s = f_y$). Jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan kecil (jumlah tulangannya sedikit), balok dengan kondisi keruntuhan seperti ini bersifat *ductile*.
2. Keruntuhan tekan (*compression failure/over reinforced*), baja tulangan tarik pada kondisi belum leleh ($f_s < f_y$) sedangkan serat paling atas beton yang tertekan sudah

hancur ($\epsilon'_c = 0,003$). Pada perhitungan penampang, kekuatan tarik baja tulangan diturunkan, karena baja tidak bekerja secara maksimal. Jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan besar (jumlah tulangannya banyak), balok dengan kondisi keruntuhan seperti ini bersifat getas.

3. Keruntuhan seimbang (*balanced failure*), baja tulangan tarik pada kondisi mencapai tegangan leleh ($f_s = f_y$) bersamaan dengan serat paling atas beton yang tertekan hancur ($\epsilon'_c = 0,003$). Jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan yang seimbang, balok dengan kondisi keruntuhan seperti ini juga bersifat getas.



Gambar 2.9 Jenis-jenis keruntuhan balok. (a) penampang balok. (b) distribusi regangan ultimate pada keruntuhan under reinforced. (c) distribusi regangan ultimate pada keruntuhan over reinforced. (d) distribusi regangan ultimate pada keruntuhan balance.

Distribusi tegangan beton akan menyerupai diagram tegangan-regangan beton yang sebenarnya dan tidak linier. Sesaat setelah mencapai 0,003 beton akan hancur pada serat-serat teratas, tepat pada penampang kritis gelagar. Tegangan spesifik f'_c tidak terjadi pada serat balok teratas, tetapi sedikit dibawah diasumsikan bahwa tulangan meleleh terlebih dahulu, maka beban pada kondisi inilah yang merupakan beban terbesar yang dapat dipikul balok, dan penampang dikatakan telah mencapai kondisi kekuatan batasnya.

Letak garis netral “c” yang tidak diketahui, dapat dicari dengan menggunakan keseimbangan gaya dalam, bila anggapan tulangan meleleh maka $T = A_s \times f_y$, sehingga gaya tekan didalam beton dapat dihitung dengan menggunakan integral luasan diagram tegangan.

$$C = \int f'_c dA = \int b \times f'_c dy = b \int f'_c dy \dots\dots\dots (2.3)$$



dengan:

- C = gaya tekan beton
- b = lebar penampang beton
- f'_c = tegangan tekan beton

Penyelesaian menggunakan integral cukup rumit dan juga membutuhkan waktu lama, hingga dalam praktiknya sering digunakan suatu penyederhanaan distribusi tegangan berupa *stress block*. $\int f'_c dy$ adalah luas diagram tegangan yang digantikan oleh *stress block* dengan tegangan merata sebesar $0,85 f'_c$ serta kedalaman a dari serat blok teratas nilai merupakan fungsi dari jarak garis netral yang sebenarnya.

$$a = \beta \times c \text{ dimana } 0 < \beta < 1 \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan:

- a = kedalaman blok tekan persegi ekuivalen
- β = koefisien pengali
- c = letak garis netral dari serat tekan beton

Koefisien β ini diperoleh dengan mempersamakan luasan dari *stress block* dengan luas diagram sebenarnya. Gaya tekan beton C pun dapat dihitung:

$$\int f'_c dy = a (0,85 \times f'_c) = \beta \times c (0,85 \times f'_c) \text{ dan } \dots\dots\dots(2.5)$$

$$C = \int b \times f'_c dy = a \times b (0,85 \times f'_c) \text{ atau } \dots\dots\dots(2.6)$$

$$C = \beta \times c \times b (0,85 \times f'_c) \dots\dots\dots(2.7)$$

Letak titik tangkap gaya tekan C pada diagram yang sebenarnya merupakan pula titik tangkap gaya tekan pada *stress block*, dan berjarak $\frac{1}{2} a = \frac{1}{2} \beta \times c$ dari serat teratas. nilai koefisien β tergantung pada nilai mutu beton, $\beta = 0,85$ untuk mutu beton $f'_c \leq 30$ Mpa. jika $f'_c > 30$ Mpa maka digunakan rumus empiris sebagai berikut:

$$\beta = 0,85 - \left(\frac{f'_c - 30}{7} \right) \times (0,005) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$T = f_y \times A_s \dots\dots\dots(2.9)$$

$$C = 0,85 \times f'_c \times a \times b \text{ maka } \dots\dots\dots(2.10)$$

$$a = \frac{T}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{f_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$c = \frac{a}{\beta} \dots\dots\dots(2.12)$$

Letak garis netral yang ditentukan, perbandingan antara regangan baja dengan beton maksimum ditetapkan berdasarkan distribusi regangan linier. Letak garis netral tergantung pada jumlah tulangan baja tarik yang dipasang pada suatu penampang. Pada saat beton dalam keadaan *underreinforced* dimana tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan, maka ϵ_s yang diperoleh akan lebih besar dari regangan leleh atau kehancuran balok diawali dengan melelehnya tulangan. Letak garis netral pada kondisi *underreinforced* berada diatas garis netral pada keadaan seimbang. Pada kondisi *overreinforced* dimana tulangan baja tarik yang dipasang lebih besar dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan, letak garis netral bergeser ke bawah.

2.4 Teori Underreinforced, Overreinforced dan Balance Steel Ratio

Sebuah balok yang memiliki perbandingan tulangan yang seimbang adalah balok yang tulangan tariknya secara teoritis akan mulai meleleh dan beton tekannya (*compression concrete*) mencapai tegangan *ultimate* pada saat tingkat beban yang persis sama. Jika balok mempunyai lebih sedikit tulangan dari pada yang diperlukan untuk suatu perbandingan seimbang, balok itu disebut *underreinforced*, jika tulangannya lebih banyak maka balok tersebut merupakan balok *overreinforced*.

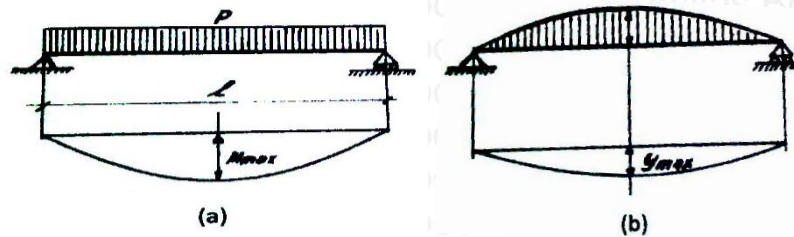
Jika sebuah balok berada dalam keadaan *underreinforced* dan beban *ultimate* sudah hampir tercapai, baja akan mulai meleleh meskipun tegangan pada beton tekan masih belum mencapai tegangan *ultimate*-nya. Jika beban terus diperbesar, baja akan terus memanjang sehingga mengakibatkan lendutan dan retak besar pada beton tarik. akibatnya, pengguna struktur akan mengetahui bahwa beban harus dikurangi atau jika tidak struktur akan rusak parah bahkan bisa runtuh. Jika beban ditingkatkan lebih jauh lagi, retak tarik akan menjadi lebih besar lagi dan pada akhirnya beton tekan akan mengalami kelebihan tegangan dan akan runtuh.

Jika sebuah balok berada dalam keadaan *overreinforced*, tulangan tarik tidak akan meleleh sebelum keruntuhan terjadi. Ketika beban bertambah, tidak akan terjadi lendutan meskipun beton tekan telah mengalami kelebihan tegangan sehingga keruntuhan akan terjadi secara tiba-tiba. balok persegi akan runtuh pada daerah tekan ketika regangan yang terjadi sekitar 0,003 sampai 0,0035 untuk mutu beton biasa.

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

2.5 Perhitungan Defleksi

Defleksi pada suatu konstruksi batang dapat ditentukan sebagai bidang diagram momen oleh beban diagram momen M_0 yang direduksi dengan $-1/EI$. Garis elastis menjadi garis sisi diagram momen $\bar{M}$ itu. Garis elastis adalah garis sumbu suatu batang yang lurus yang akan melengkung oleh gaya atau momen yang membebaninya. Pada gambar 2.6 dijelaskan bagaimana momen sangat berpengaruh pada defleksi.



Gambar 2.10 Defleksi Balok Tunggal dengan Beban Merata (a) Bidang momen akibat beban merata (b) Bidang Momen yang menjadi beban untuk memperoleh grafik defleksi

Pada gambar 2.10 (a) terlihat bidang momen akibat beban merata pada balok sederhana. Diagram momen yang ada pada gambar 2.10 (a) dibebankan pada balok direduksi $-1/EI$ seperti pada gambar 2.10 (b) sehingga diperoleh grafik defleksi pada balok sederhana dengan beban merata. Dapat disimpulkan dari gambar 2.10 hubungan antara beban dan defleksi, dimana beban mempengaruhi diagram momen dan nilai dari momen akan mempengaruhi defleksi.

Tabel 2.1

Rumus untuk menentukan defleksi, dengan berbagai macam bentuk beban baik beban merata maupun terpusat.

Struktur & Pembebanan	Momen Maksimum	Defleksi Maksimum	Lokasi Maksimum
	$\frac{1}{4} PL$	$\frac{PL^3}{48EI}$	$\frac{1}{2} L$
	$\frac{Pab}{L}$	$a \geq b \rightarrow \frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EI}$	$a \geq b \rightarrow \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$
	Pa	$\frac{Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$	$\frac{1}{2} L$
	$\frac{1}{8} qL^2$	$\frac{5qL^4}{384EI}$	$\frac{1}{2} L$
	$\frac{1}{12} qL^2$	$\frac{qL^4}{120EI}$	$\frac{1}{2} L$

2.6 Kekakuan

Kekakuan untuk sebuah struktur merupakan suatu yang penting. Kekakuan berguna untuk menjaga konstruksi agar tidak melendut lebih dari lendutan yang disyaratkan. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan lendutan, semakin kaku suatu struktur makin besar nilai kekakuannya. Menurut Kenneth-Belanger (1981), kekakuan balok beton merupakan fungsi dari modulus elastis (E) dan momen inersia (I). Rumus umum kekakuan adalah :

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots (2-13)$$

P = Beban yang terjadi

Δ = Deformasi searah beban

k = Kekakuan struktur

Rumus Δ didapatkan dari tabel 2.1, yaitu:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \dots\dots\dots (2-14)$$

L = Panjang Balok

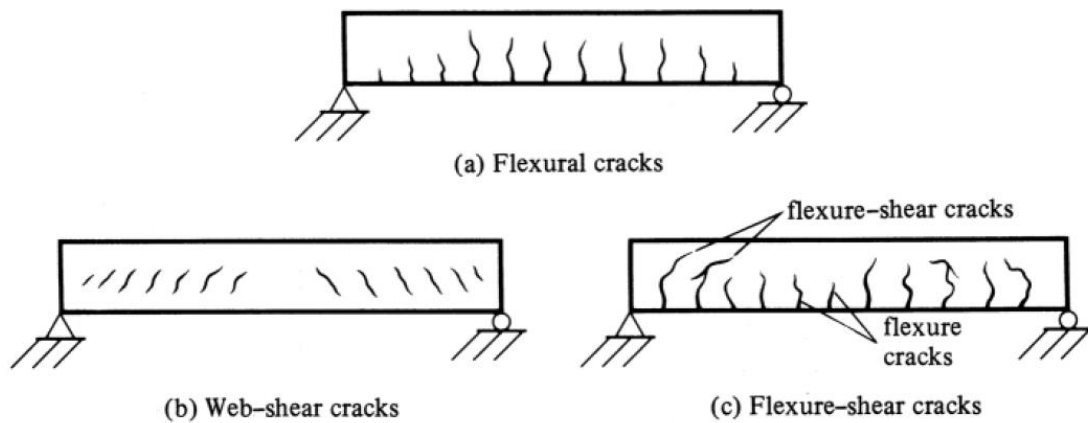
E = Modulus elastisitas

I = Momen Inersia

2.7 Pola Retak Dalam Balok Beton Bertulang

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok seperti terlihat pada gambar :

1. Retak lentur (flexural crack), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur besar. Arah retak hampir tegak lurus pada sumbu balok.
2. Retak geser lentur (flexural shear crack), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Jadi retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak yang sudah terjadi sebelumnya.
3. Retak geser murni (shear crack), retak yang terjadi pada daerah dimana gaya geser maksimum bekerja dan tegangan normal sangat kecil.



Gambar 2.11 Jenis-jenis pola retak pada balok. (a) retak lentur (b) retak geser (c) retak geser lentur

Sumber : McCormac (2013)

Dalam perencanaan biasanya direncanakan terjadi retak lentur, tetapi retak miring dapat terjadi pada balok beton bertulang sebagai kelanjutan dari retak lentur atau kadang-kadang sebagai retak independen (karena tidak dipasangnya tulangan geser). Retak geser kadang-kadang terjadi pada titik-titik belok dari balok menerus atau dekat tumpuan sederhana (seperti halnya pada percobaan). Ditempat-tempat tersebut sering terjadi momen kecil dan geser tinggi, dan pada sumbu netral jika tegangan lentur adalah nol maka geser mencapai nilai maksimum oleh karena itu tegangan geser akan menentukan apa yang terjadi dengan retak ditempat itu.

Setelah retak berkembang, balok akan runtuh kecuali jika penampang beton yang retak dapat menahan gaya yang bekerja. Jika tidak ada tulangan geser atau sengkang, bagian yang dapat mentransfer geser adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan geser dari penampang tak retak diatas bagian yang retak (diperkirakan 20%-40%) dari kekuatan total.
2. Kunci agregat, yaitu friksi yang terjadi akibat kunci agregat pada permukaan beton di sisi retak yang berlawanan (diperkirakan 33%-50% dari total)
3. Kekuatan tulangan longitudinal terhadap gaya friksi, yang sering disebut gaya pengait atau dowel action (diperkirakan 15%-25%)
4. Perilaku jenis pengikat lengkung yang terjadi dalam balok tinggi yang dihasilkan oleh tulangan longitudinal yang bekerja sebagai pengikat dan dari beton tak retak di atas dan disisi retak yang bekerja sebagai pelengkung.

Keruntuhan geser pada balok dapat dibagi menjadi empat kategori berdasarkan a/d , yaitu:

1. Balok tinggi dengan rasio $a/d < \frac{1}{2}$

Untuk jenis ini, tegangan geser lebih menentikan dibandingkan tegangan lentur. Setelah terjai keretakan miring, balok cenderung berperilaku sebagai suatu busur dengan beban luar ditahan oleh tegangan tekan beton dan tegangan tarik pada tulangan memanjang. Begitu keretakan miring terjadi, balok segera berubah menjadi suatu busur yang memiliki kapasitas yang cukup besar.

2. Balok pendek dengan $1 < a/d < 2,5$

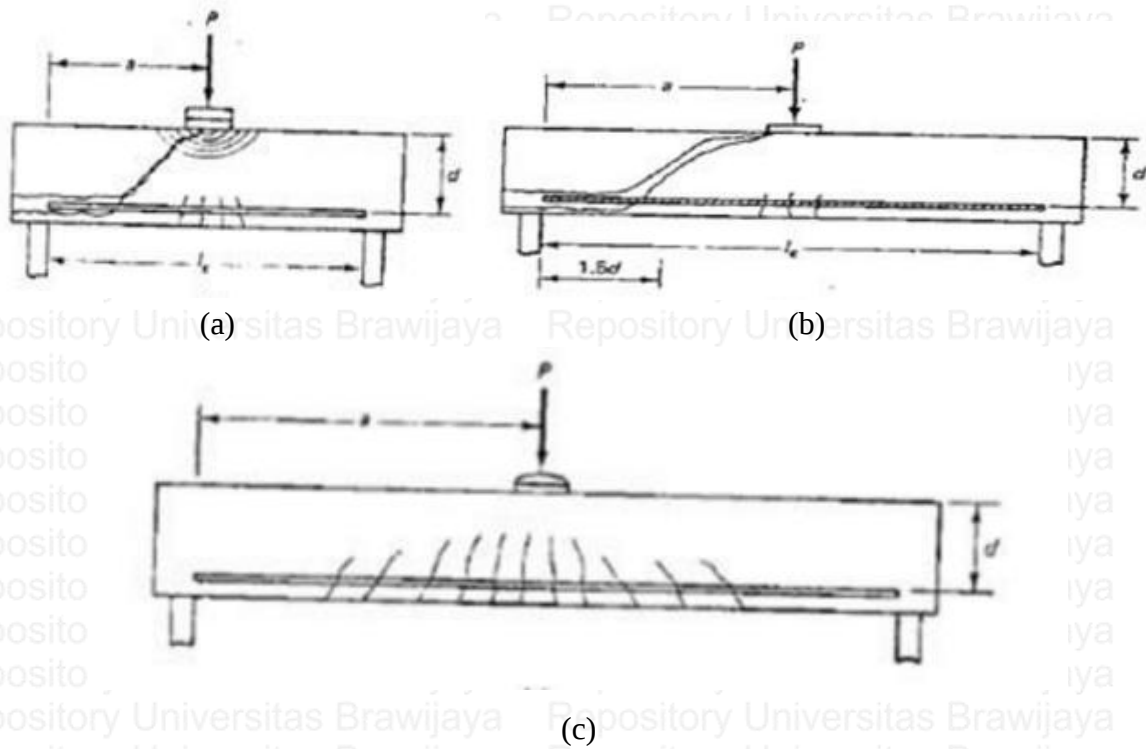
Kekuatan geser balok pendek ini melampaui kapasitas keretakan miring. Seperti balok tinggi, kapasitas geser ultimit juga melampaui kapasitas keretakan geser. Keruntuhan akan terjadi pada tingkat beban tertentu yang lebih tinggi dari tingkat beban yang menyebabkan keretakan miring. Setelah terjadi keretakan geser-lentur, retakan ini menjalar ke daerah tekan beton bila beban terus bertambah.

3. Balok dengan $2,5 < a/d < 6$

Kekuatan geser sama dengan besar kapasitas keretakan miring. Pada jenis ini, lentur mulai bersifat dominan dan keruntuhan geser sering dimulai dengan retak lentur murni yang vertical di tengah bentang dan akan semakin miring jika semakin mendekat ke perletakan yang tegangan gesernya semakin besar.

4. Balok panjang dengna rasio $a/d > 6$

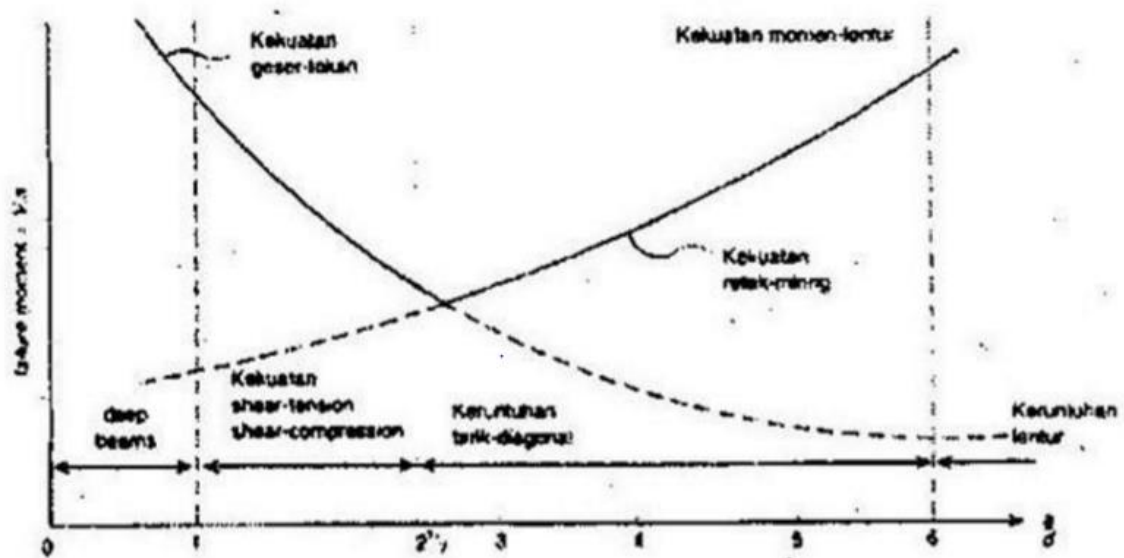
Kekuatan lentur lebih kecil disbanding kekuatan gesernya, atau dengan kata lain keruntuhan akan sepenuhnya ditentukan oleh ragam lentur.



Gambar 2.12 Jenis-jenis keruntuhan geser. (a) Balok tinggi dengan rasio $a/d < \frac{1}{2}$. (b) Balok pendek dengan $1 < a/d < 2,5$. (c) Balok panjang dengan rasio $a/d > 2,5$.

Sumber : Chu Kia Wang (1990)

Variasi kekuatan geser menurut nilai a/d dapat dilihat pada gambar 2.12



Gambar 2.13 Variasi kekuatan geser

Sumber : Chu Kia Wang (1990)



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Objek dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket PVC. Sedangkan pengujian balok terhadap beban vertikal dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Pelaksanaan penelitian adalah meliputi 2 analisis sebagai berikut:

1. Analisis teori atau studi literatur yakni dengan menggunakan teori yang ada untuk memprediksi perilaku balok sehingga nantinya analisis ini akan menghasilkan nilai-nilai teoritis berdasarkan tinjauan pustaka.
2. Analisis data eksperimental, dimana dari data teknis pada benda uji balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket PVC akan didapat pengaruh penambahan variasi kait (*interlocking*) serat kawat loket PVC terhadap kuat letur balok.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai “Pengaruh Variasi Panjang Kait (*Interlocking*) Serat Kawat Loket PVC Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang” ini termasuk dalam penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Pembuatan benda uji serta pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang pada bulan Februari 2017 sampai Maret 2017.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

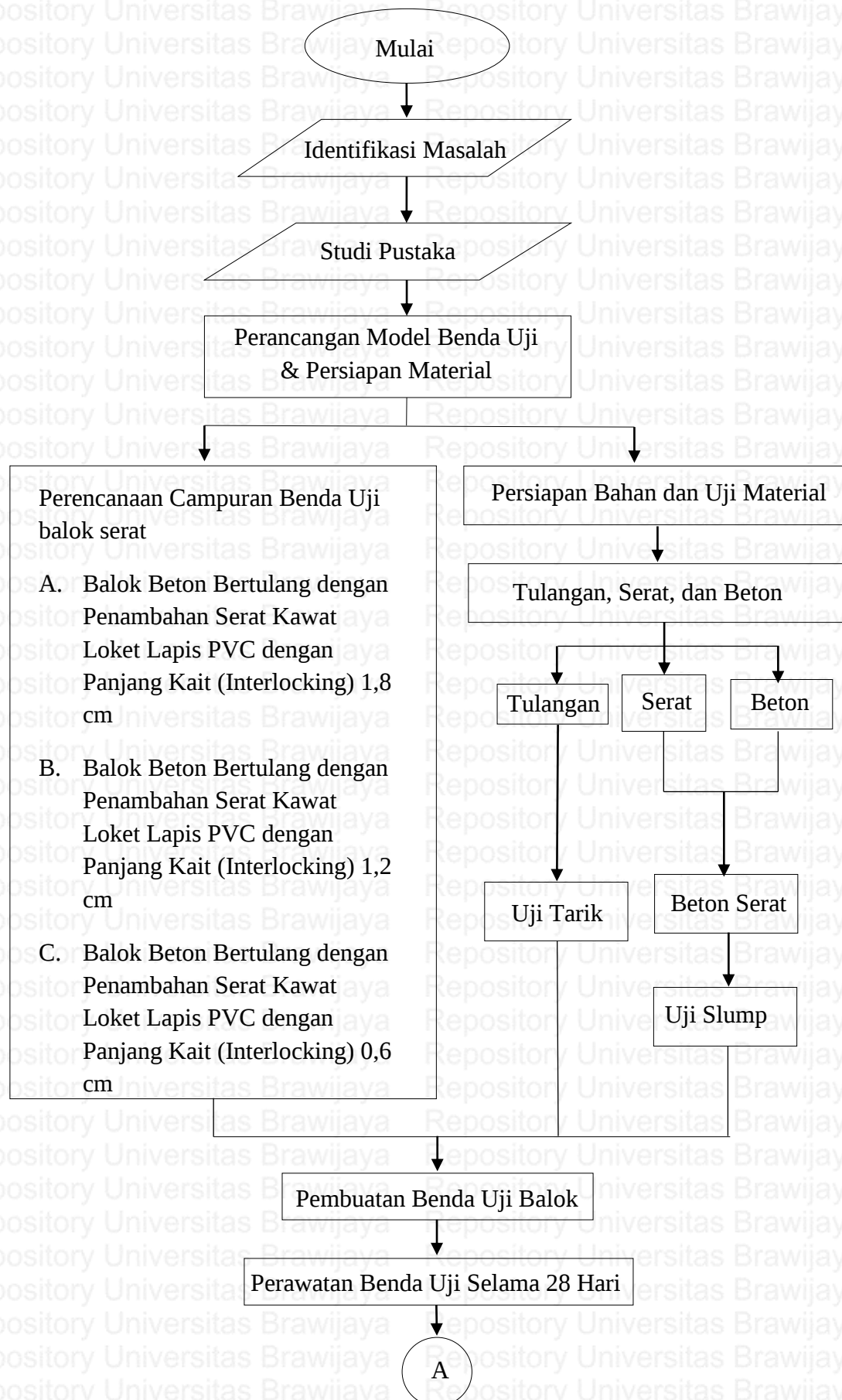
1. Peralatan
 - a. Alat pemotong tulangan digunakan untuk memotong baja tulangan polos yang dibutuhkan oleh balok.
 - b. Alat pembengkok Tulangan digunakan untuk membengkokkan tulangan.
 - c. Timbangan digunakan untuk menimbang jumlah bahan-bahan yang diperlukan, seperti air, pasir kerikil.
 - d. *Slump Test* digunakan untuk pengujian nilai slump dari campuran beton sehingga mutu serta faktor air semen dapat sesuai dengan rencana.

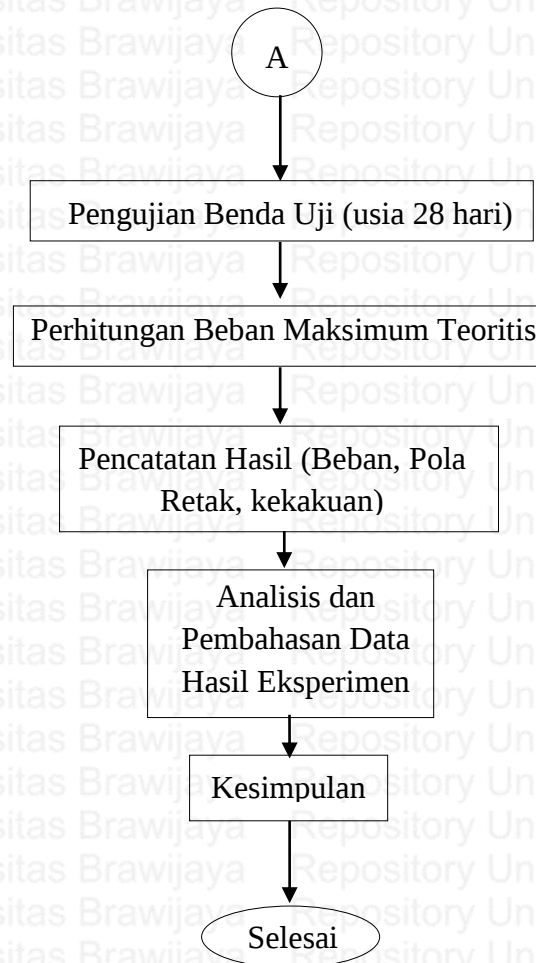
- e. *Linear Variable Displacement Transducer* (LVDT) digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi pada balok.
- f. *Loading frame* atau rangka penguji berfungsi untuk menopang benda uji pada saat pengujian. Berupa frame konstruksi baja WF dengan kapasitas beban 7 ton.
- g. *Hydraulic jack* atau dongkrak hidrolik kapasitas 5 ton digunakan untuk memberikan beban aksial pada balok beton bertulang.
- h. *Load Cell* digunakan untuk membaca beban dari *hydraulic jack*. sehingga hasil dari pembebanan dapat terbaca dengan jelas.
- i. Alat tulis dan Mistar digunakan untuk menandai pola retak yang terjadi
- j. *Molen* untuk membuat mix desain beton.
- k. *Bekisting* sebagai tempat pencetakan balok.
- l. *Meteran* sebagai alat ukur selama pembuatan benda uji
- m. Kamera untuk dokumentasi video maupun gambar dalam proses pengujian.
- n. Alat pendukung lain seperti cetok, cangkul, nampan, ember, dsb.
- o. Alat tulis untuk menulis data atau merekap data benda uji.

2. Bahan

- a. Beton yang digunakan dalam penelitian ini direncanakan dengan mutu $f_c' = 21,7$ MPa pada 28 hari. Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan beton adalah Semen Portland (PC), agregat halus berupa pasir, agregat kasar berupa kerikil, dan air.
- b. Baja tulangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tulangan ulir dengan diameter 10 mm.
- c. Cat tembok putih atau plamir digunakan untuk melapisi benda uji untuk memudahkan pengamatan pola retak yang terjadi akibat pembebanan.
- d. Spidol hitam digunakan untuk membuat grid atau garis kotak-kotak pada balok yang sudah di cat.

3.4 Diagram Alir Penelitian





3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan pengadaan bahan-bahan maupun alat-alat yang akan diperlukan dalam pembuatan benda uji, yaitu:

1. Persiapan pembuatan bekisting.
2. Persiapan pembuatan serat kawat loket pvc.
3. Persiapan pembuatan adukan beton (*mix design*).
4. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton rencana 21,7 MPa dengan ukuran balok 100x20x15 cm sebanyak 3 buah.
5. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton rencana 21,7 MPa dengan ukuran balok 100x20x15 cm, serat kawat loket pvc dengan ratio 1 % dari berat adukan beton dan panjang kait interlocking 1,8 cm sebanyak 3 buah.

6. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton rencana 21,7 MPa dengan ukuran balok 100x20x15 cm, serat kawat loket pvc dengan ratio 1 % dari berat adukan beton dan panjang kait interlocking 1,2 cm sebanyak 3 buah.
7. Persiapan benda uji balok dengan mutu beton rencana 21,7 MPa dengan ukuran balok 100x20x15 cm, serat kawat loket pvc dengan ratio 1 % dari berat adukan beton dan panjang kait interlocking 0,6 cm sebanyak 3 buah.

3.5.2 Uji Tarik Baja Tulangan

Pengujian tarik dilakukan pada tulangan baja yang dipakai untuk tulangan baja yang dipakai untuk tulangan transversal dan horizontal pada spesimen yang diambil secara acak sehingga diharapkan dapat mewakili tegangan tarik pada tulangan spesimen. Untuk tulangan longitudinal polos $\varnothing 8$ disiapkan 3 batang tulangan masing-masing sepanjang 20 cm. Dikarenakan tulangan transversal dan horizontal mempunyai diameter yang sama maka cukup diambil 3 batang untuk mewakili specimen. Nilai yang diperoleh merupakan rerata dari ketiga sampel tulangan yang diuji.

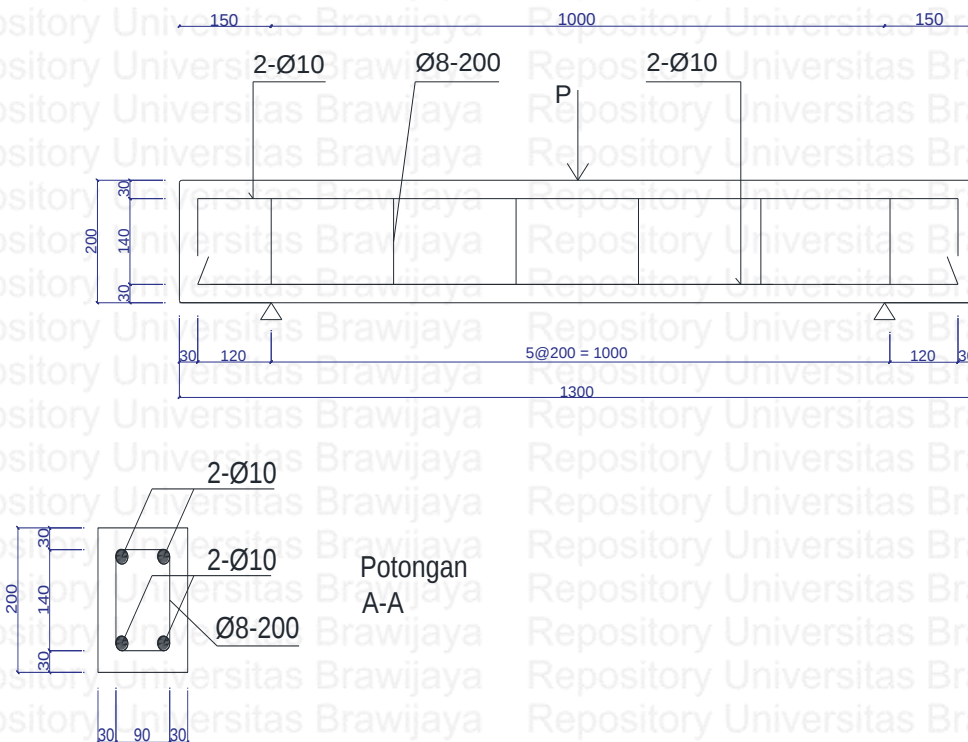
3.5.3 Pembuatan Model Balok

1. Pembuatan Bekisting

Pembuatan bekisting harus disesuaikan dengan dimensi balok 150 mm x 200 mm, dengan panjang total balok 1300 mm, bahan yang digunakan untuk bekisting terbuat dari bahan kayu.

2. Penulangan

Untuk setiap benda uji menggunakan tulangan baja yang sama yaitu 2- $\varnothing 10$ dan tulangan geser $\varnothing 8$ -200 seperti terlihat pada gambar 3.1, yang dipasang di dalam bekisting sebelum pengecoran.



Gambar 3.1 Gambar detail penulangan balok beton

3. Uji Slump

Bersamaan dengan pengecoran, dilakukan juga pengujian kelecakan (slump test) yang berfungsi untuk mengetahui nilai slump beton. Nilai slump tersebut diukur dari tinggi permukaan alat sampai tinggi permukaan adukan beton yang jatuh.

4. Pengecoran dan Masa Curing

Pengecoran dilakukan dalam ruangan dan bekisting juga dikondisikan agar tidak berubah dari posisi awal pengecoran sampai beton benar-benar kering. Untuk pemadatan digunakan alat yang bernama vibrator. Selama masa curing, permukaan beton senantiasa ditutup karung basah dan akan sedikit disiram air jika kering untuk menjaga beton agar selalu dalam kondisi lembab.

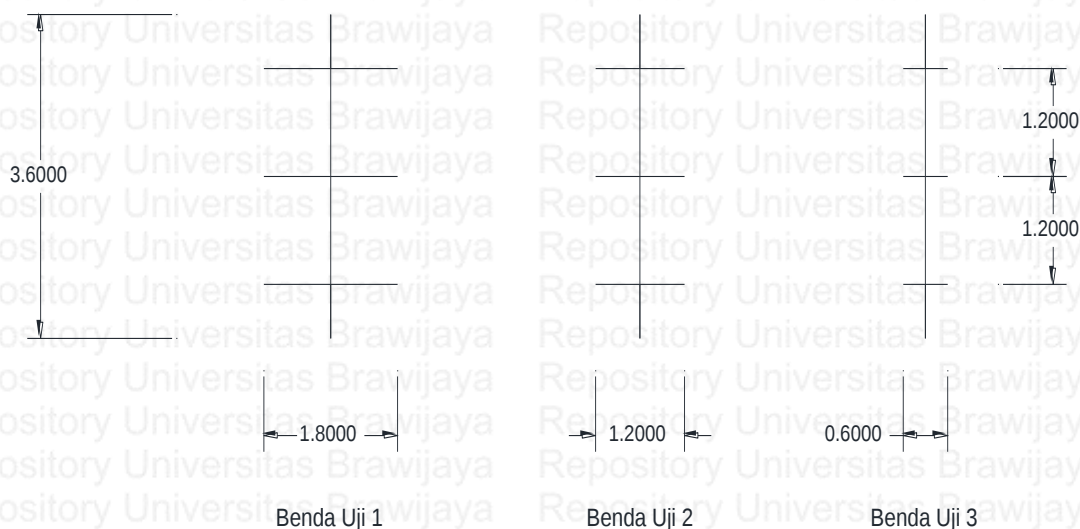
5. Pengecatan

Balok diberi warna putih menggunakan cat tembok atau plamir sehingga pola retak yang terjadi dapat dilihat dengan jelas dan dapat diberi tanda. Untuk memudahkan pengamatan, dibuat garis kotak-kotak di permukaan balok dengan ukuran 50 x 50 mm untuk menandai retak yang terjadi sehingga dapat terlihat pola retaknya.

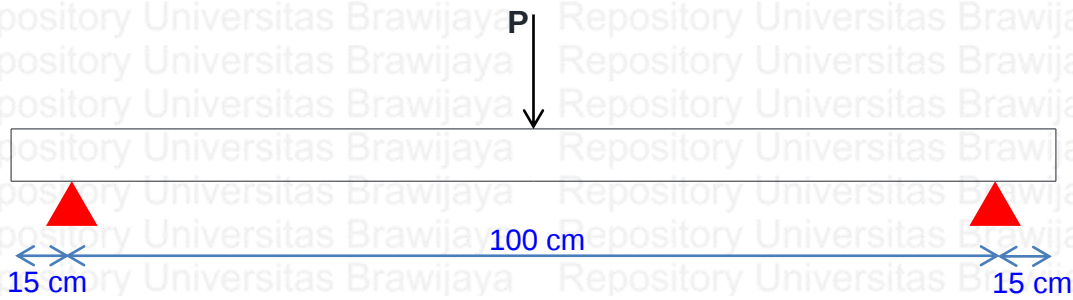
3.5.4 Benda Uji dan Setting up

Benda uji berupa balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan variasi panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm; 1,2 cm; 1,8 cm seperti terlihat pada gambar 3.2. Tulangan menggunakan tulangan polos diameter 10 mm. Campuran beton yang digunakan pada benda uji adalah campuran semen, pasir, batu pecah, dan serat. Balok dicor menggunakan metode pengecoran konvensional yaitu menggunakan bekisting, dengan dimensi balok 150 mm x 200 mm dengan panjang 1000 mm dari tumpuan ke tumpuan seperti terlihat pada gambar 3.3. Benda uji yang digunakan berjumlah 3 jenis yang terdiri:

1. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan panjang kait 0,6 cm.
2. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan panjang kait 1,2 cm.
3. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan panjang kait 1,8 cm.

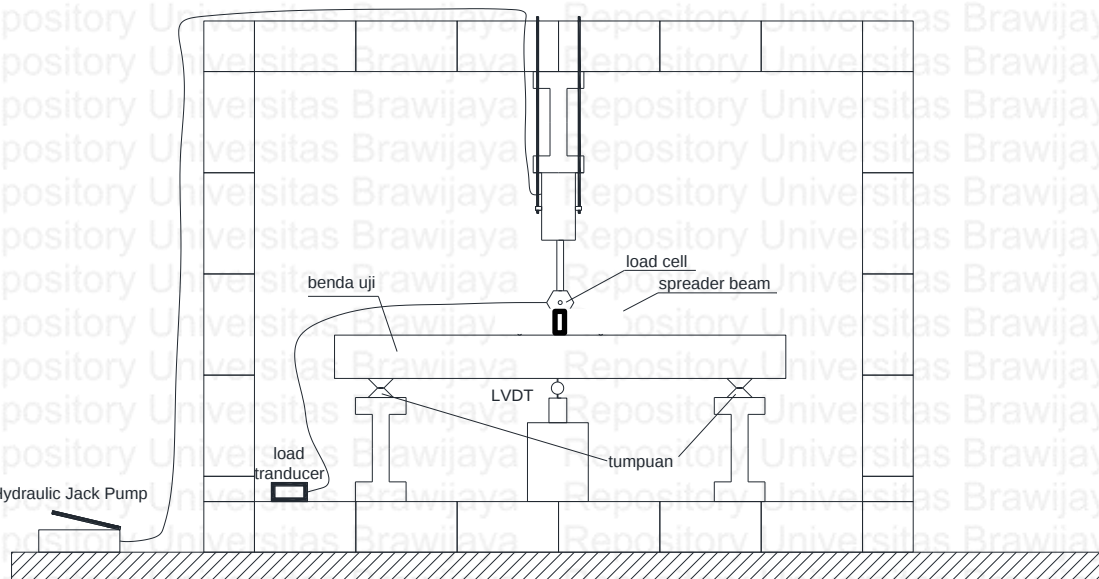


Gambar 3.2 Variasi serat kawat loket Lapis PVC yang digunakan pada benda uji 1, benda uji 2, dan benda uji 3



Gambar 3.3 Penempatan balok sebelum diuji

Benda uji berupa balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan variasi Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menempatkan benda uji balok serat di tumpuan pada rangka baja (*loading frame*) seperti terlihat pada gambar 3.4. Peralatan utama yang digunakan dalam pengujian adalah 1 buah load cell sebagai beban terpusat, 1 buah hydraulic jack untuk mengontrol beban yang diberikan, 1 buah LVDT untuk mengetahui displacement yang terjadi dan 1 buah kamera untuk merekam dan mengamati pola retak yang terjadi setiap pertambahan beban yang diberikan.



Gambar 3.4 Setting up pengujian bendaj uji

3.6 Variabel Penelitian

Terdapat hubungan dalam variabel, misalnya untuk variabel A dan variabel B. Jika variabel B merupakan sebab dari variabel A, maka variabel B adalah variabel terikat (*dependent*) dan variabel A adalah variabel bebas (*antecedent*) Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

Variabel Bebas (*independent variable*), adalah variabel yang perubahannya bebas ditentukan peneliti. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah panjang kait (*interlocking*) dari serat kawat loket lapis PVC.

Variabel Terikat (dependent variable), adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah pola retak, dan daktilitas.

3.7 Metode Analisis Data

Setelah diperoleh data hasil percobaan secara studi literatur dan pengujian benda uji, maka dilakukan analisis data mengenai lendutan dan pola retak balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan panjang kait (*interlocking*) 1,8 cm, balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm, dan balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm. Sehingga dapat dihitung kekakuan hasil dari percobaan dan pengaruhnya terhadap pertambahan serat tersebut

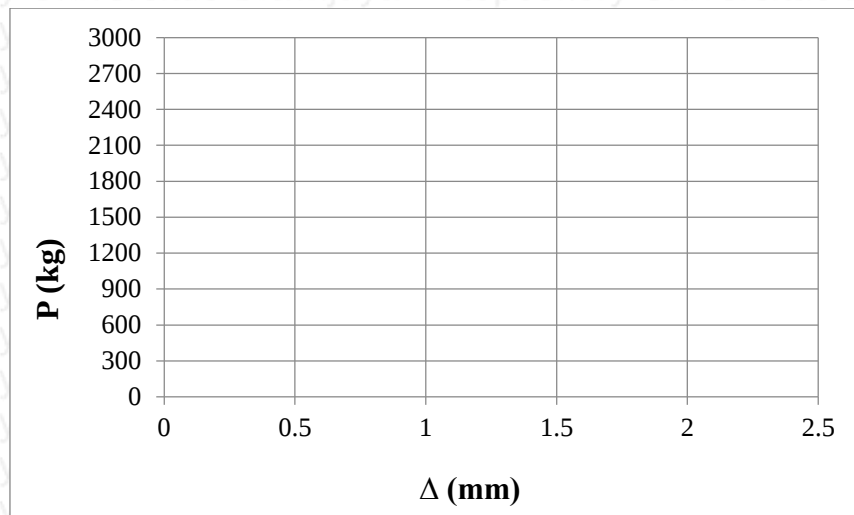
3.7.1 Kekakuan

Untuk menghitung kekakuan diperlukan data berupa lendutan dari benda uji, sehingga diperlukan pencatatan lendutan dan pembuatan grafik seperti terlihat pada tabel 3.1 dan gambar 3.5. Setelah didapatkan lendutan aktual benda uji dapat dihitung kekakuan aktual dan dapat dibandingkan dengan kekakuan teoritis.

Tabel 3.1

Form Data Hasil Pengujian Beban dengan Deformasi

Tahap Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan (mm)
100	100	
100	200	
100	300	
100	400	
100	500	
100	600	
100	700	
100	800	
100	900	
-	-	



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Beban (P) dan Deformasi (Δ)

3.7.2 Pola Retak

Pada penelitian ini dilakukan pembacaan data, yang meliputi pembacaan atau pengambilan data pola retak pada saat pengujian benda uji. Penelitian ini melakukan pengamatan perambatan retak, baik mengenai retak awal, lokasi, dan ukurannya.

Data tersebut diperoleh dengan mencatat beban retak awal, lokasi, dan ukuran retak. Data pola retak digambarkan dengan cara membagi permukaan dinding geser menjadi grid dengan ukuran kotak 50 mm x 50 mm.

Pencatatan beban saat pengujian diperlukan untuk dibuatkan tabel beban dengan pola retaknya. Untuk pola retak aktual yang diamati adalah pola retak, letak retak, serta lebar dan panjang retak, sehingga diketahui keruntuhan yang mendominasi kegagalan balok serat dan dapat dibandingkan dengan pola retak teoritis.

3.8 Hipotesa Penelitian

Hipotesa pada penelitian ini antara lain:

1. Adanya pengaruh penambahan serat kawat loket lapis PVC terhadap kekakuan balok beton bertulang.
2. Adanya pengaruh penambahan serat kawat loket lapis PVC terhadap pola retak balok beton bertulang.



BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Balok

4.1.1 Slump Test

Pengujian *Slump* dilaksanakan untuk mengetahui tingkat kekentalan atau kelecakan adukan beton. Angka *slump* diperoleh dari besarnya penurunan beton segar yang telah dikeluarkan dari dalam cetakan dimana cara pembuatannya adalah mengisi cetakan dengan adukan beton tiap 1/3 lapisan dengan 25 tusukan untuk masing-masing lapisan dimana nilai slump yang digunakan adalah 12 ± 2 cm. Dengan nilai seperti yang terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1

Hasil Nilai Slump Benda Uji Balok

No	Kode Balok	Nilai Slump (cm)
1	I,0,6	15
2	I,1,2	12
3	I,1,8	13
4	N2	14

Sumber: Hasil Penelitian

4.1.2 Pengujian Kuat Tarik Serat Kawat dan Baja Tulangan

Kawat loket lapis PVC merupakan jenis serat yang akan digunakan dalam penelitian ini. Kawat ini telah dilakukan pengujian terhadap kuat tariknya. Hasil pengujian kuat tarik kawat ini dapat dilihat pada lampiran 5. Adapun spesifikasi kawat ini dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2

Spesifikasi Serat Kawat Loket Lapis PVC

Keterangan	Spesifikasi
Nama bahan	Kawat loket lapis PVC hijau
Material	Aluminium dilapisi oleh PVC hijau
Diameter	1 mm
Kuat tarik	200,158 MPa

Sumber: Hasil Penelitian

Serat yang digunakan pada penelitian ini adalah kawat loket lapis PVC yang dipotong-potong dengan variasi panjang kait (*interlocking*) tertentu. Adapun variasi yang dimaksud adalah panjang kait 0,6 cm, 1,2 cm, dan 1,8 cm. Panjang kawat yang digunakan berukuran 3,6 cm dan volume fraksinya sebanyak 1% dari volume silinder. Untuk mempermudah pelaksanaan, volume tersebut dikonversikan ke dalam satuan berat. Sehingga perlu dilakukan pemeriksaan berat isi dari kawat loket ini yang dikelompokkan berdasarkan variasi panjang kaitnya (*interlocking*).

Pada pemeriksaan berat isi kawat loket lapis PVC ini, didapat nilai masing-masing variasi yaitu, untuk variasi *interlocking* 0,6 cm, nilai berat isi adalah $0,405 \text{ gr/cm}^3$, untuk variasi *interlocking* 1,2 cm, nilai berat isi adalah $0,371 \text{ gr/cm}^3$, untuk variasi *interlocking* 1,8 cm, nilai berat isi adalah $0,263 \text{ gr/cm}^3$.

Dari perhitungan berat jenis ketiga variasi, dapat disimpulkan bahwa semakin panjang *interlocking* dari kawat loket, maka semakin besar pula nilai berat isinya tetapi semakin sedikit dibutuhkan jumlah kawat loket tersebut. Kawat ini telah dilakukan pengujian terhadap kuat tariknya. Hasil pengujian kuat tarik kawat ini dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3

Hasil Pengujian Kuat Tarik Kawat

No	Panjang Kawat (cm)	Kuat Tarik (N/mm^2)
1	5	205,758
2	10	199,394
3	15	216,364
4	20	192,606
5	25	186,667
Rata-rata		200,158

Sumber: Hasil Penelitian

Pengujian Kuat tarik baja tulangan dilakukan untuk mengetahui mutu baja yang digunakan untuk penulangan balok dengan diameter 8 mm dan 10 mm. Hasil pengujian digunakan untuk perhitungan teoritis lendutan maupun kekakuan didapatkan hasil seperti yang terlihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4

Hasil Pengujian Tarik Baja tulangan polos diameter 8 mm dan 10 mm

Jenis	Kode	Tekanan Leleh (KN)	Tekanan Ultimate (KN)	luas penampang (mm ²)	fy (Mpa)	fy rata-rata (Mpa)
Tulangan Sengkang	8.1	17.5	25	50.29	348.011	331.439
	8.2	17.5	22.5	50.29	348.011	
	8.3	15	20	50.29	298.295	
Tulangan Lentur	10.1	22.5	35	78.57	286.364	318.182
	10.2	25	35	78.57	318.182	
	10.3	27.5	37.5	78.57	350	

Sumber: Hasil Penelitian

Dari hasil pengujian kuat tarik baja tulangan didapatkan fy rata-rata untuk tulangan sengkang atau geser sebesar 331,439 Mpa dan tulangan lentur sebesar 318,182 Mpa.

4.1.3 Perencanaan Mix Design Beton

Perencanaan campuran beton untuk mutu 21,7 Mpa atau K-250 pada umur 28 hari pada lingkungan normal seperti terlihat pada tabel 4.5 dan tabel 4.6

Tabel 4.5

Perencanaan Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)

NO	URAIAN	NILAI	SATUAN
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	21.7	Mpa
2	Deviasi standar	-	Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	12	Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	33.7	Mpa
5	Jenis Semen	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	0.53	-
8	Faktor air semen Maksimum	0.60	-
9	Slump	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	10	mm
11	Kadar Air Bebas	250	kg/m3
12	Jumlah semen	471.70	kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	-	kg/m3
14	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	0	-
17	Persen agregat halus	37%	-

18	Berat jenis relatif agregat (SSD)	2.45	kg/m ³
19	Berat isi beton	2200	kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	1478.30	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	546.97	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	931.33	kg/m ³

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 4.6

Perbandingan Campuran Pada Perencanaan Mix design 21,7 Mpa

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/m ³)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
Tiap m ³ dg ketelitian 5kg (Teoritis)	471.70	250.00	546.97	931.33
Tiap campuran benda uji	2.50	1.33	2.90	4.94
Tiap m ³ dg ketelitian 5kg (Aktual)	471.70	218.18	555.59	954.53
Tiap campuran benda uji	2.50	1.16	2.95	5.06
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0.5	1.2	2.0
Proporsi (Aktual)	1	0.5	1.18	2.02

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan *mix design* tersebut didapatkan nilai berat campuran untuk 1 buah balok 21,7 MPa yaitu semen sebesar 2,5 kg, air sebesar 1,16 kg, agregat halus sebesar 2,95 kg, dan agregat kasar sebesar 5,06 kg.

4.1.4 Pengujian Kuat Tekan

Dalam pengujian kuat tekan beton ini digunakan 12 buah silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk 12 buah balok, dimana 3 buah silinder untuk mutu beton rencana 21,7 Mpa dengan panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm (kode benda uji I.0,6), 3 buah silinder untuk mutu beton rencana 21,7 Mpa dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm (kode benda uji I.1,2), 3 buah silinder untuk mutu beton rencana 21,7 Mpa dengan panjang kait (*interlocking*) 1,8 cm (kode benda uji I.1,8) dan 3 buah silinder normal (kode benda uji FNB) untuk mutu beton rencana 21,7 Mpa. Proses perawatan atau *curing* untuk benda uji silinder dilakukan dengan pelepasan bekisting setelah 1 hari kemudian ditutupi oleh karung basah selama 7 hari. Proses selanjutnya karung basah dilepaskan dan benda uji didiamkan hingga umur beton 28 hari, kemudian dilakukan pengujian kuat tekan. Dengan hasil seperti yang terlihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

NO	Nama Beton Silinder	Kode Beton	Kuat Tekan (MPa)
1	<i>Interlocking</i> 0,6 cm	I.0,6	22.004
2	<i>Interlocking</i> 1,2 cm	I.1,2	32.412
3	<i>Interlocking</i> 1,8 cm	I.1,8	32.073
4	Normal	F.N.B	33.034

Sumber: Hasil Penelitian

Dalam analisis ini menggunakan salah satu dari 3 benda uji yang dibuat yaitu dengan kode benda uji I.0,6.3; I.1,2.2; I.1,8.3 dan FNB.

Berdasarkan hasil tersebut untuk beton silinder dengan *interlocking* 0,6 memiliki kuat tekan yang sangat rendah dan juga hasil dari balok yang kekuatannya tidak berbeda jauh dengan variasi-variasi lainnya, maka kuat tekan beton silinder dengan panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm yang digunakan adalah sebesar 32 Mpa. Kuat tekan yang berbeda tersebut dikarenakan pekerjaan beton silinder yang kurang sempurna seperti pemadatan dan *curing*. Sehingga data yang digunakan seperti yang terlihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

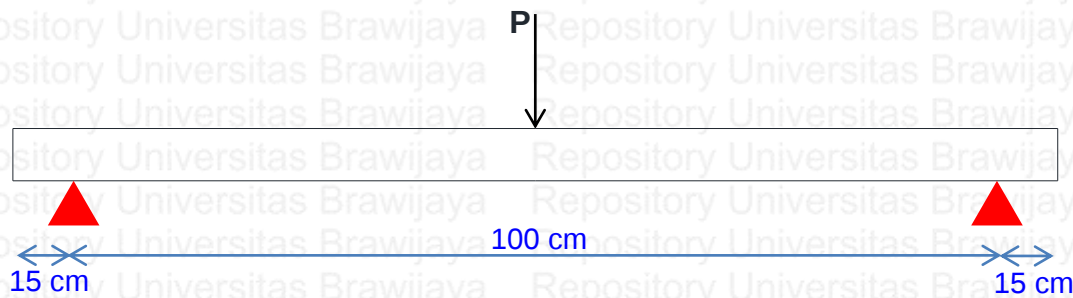
NO	Nama Beton Silinder	Kode Beton	Kuat Tekan (MPa)
1	<i>Interlocking</i> 0,6 cm	I.0,6	32
2	<i>Interlocking</i> 1,2 cm	I.1,2	32.412
3	<i>Interlocking</i> 1,8 cm	I.1,8	32.073
4	Normal	F.N.B	33.034

Sumber: Hasil Penelitian

4.2 Analisis Perhitungan Beban Maksimum (Pu)

4.2.1 Pemodelan Struktur

Perhitungan kapasitas balok dikaitkan dengan perhitungan momen nominal kapasitas penampang atau M_n dari analisis penampang balok persegi bertulangan tunggal. Dimana dari perhitungan M_n ini kita akan mengetahui seberapa besar momen yang dapat ditahan oleh balok. Dalam percobaan ini balok diasumsikan sebagai gelagar sederhana dengan tumpuan sendi-rol dimana diberi 1 beban seperti yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pemodelan struktur saat pembebanan

4.2.2 Perhitungan Beban Maksimum Teoritis

Dengan perhitungan seperti yang sudah dijelaskan pada bab II dan menggunakan kuat tekan aktual beton silinder yang telah diuji didapatkan hasil perhitungan maksimum teoritis seperti yang terlihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9

Hasil Perhitungan Beban Maksimum Teoritis

Kode Balok	Kuat Tekan Aktual (Mpa)	Beban Maksimum Teoritis (kg)
I.0,6	32	5661.4586
I.1,2	32.41	5707.0087
I.1,8	32.07	5669.2544
Normal	33.03	5775.3849

Sumber: Hasil Penelitian

4.2.3 Beban Maksimum Aktual Hasil Pengujian

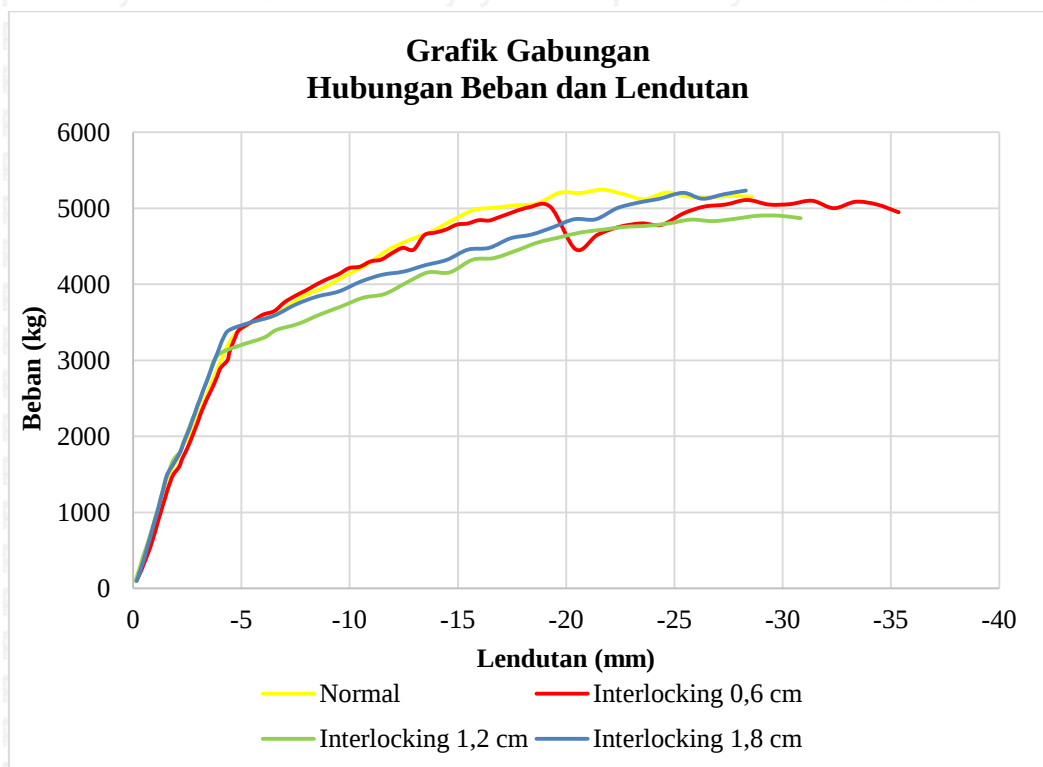
Proses pengujian dilakukan sesuai prosedur yang dituliskan pada bab III. Setelah dilakukan pengujian maka diperoleh data seperti pada tabel 4.10.

Tabel 4.10

Perbandingan Nilai Lendutan Balok Teoritis dan Aktual

Kode Balok	Umur Balok (hari)	Kuat Tekan Aktual (Mpa)	Beban Maksimum Aktual (kg)	Beban Maksimum Teoritis (kg)	Kesalahan Relatif (%)
I.0,6	36	32	5110	5661.4586	9.74
I.1,2	37	32.41	4903	5707.0087	14.09
I.1,8	40	32.07	5234	5669.2544	7.68
Normal	41	33.03	5246	5775.3849	9.17

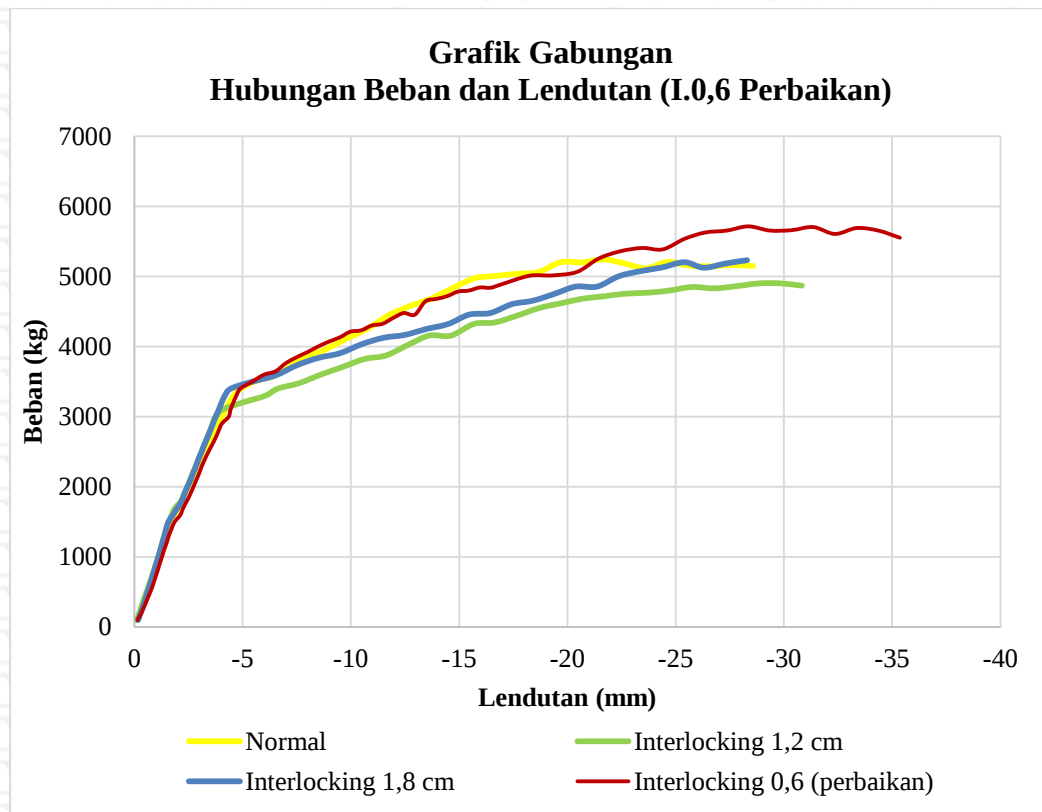
Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.2 Grafik Gabungan Hubungan Beban dan Lendutan

Pada gambar 4.2 terdapat garafik yang menunjukkan hubungan beban dan lendutan setiap variasi. Pada grafik *interlocking* 0,6 cm terlihat ada grafik yang turun. Grafik tersebut menunjukkan adanya kesalahan pada saat pengujian, yaitu tumpuan yang tergelincir. Pada saat tumpuan tergelincir, beban menjadi turun sehingga menyebabkan grafik turun. Kesalahan tersebut akan menyebabkan keanehan dalam menentukan hasil dan hipotesis, sehingga diperlukan memperbaiki kesalahan tersebut dengan mengembalikan posisi grafik tersebut pada saat tumpuan tidak tergelincir. Memperbaiki grafik tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan penurunan beban pada saat tumpuan tergelincir

kepada beban yang sebelumnya. Perbaikan grafik *interlocking* 0,6 cm dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perbaikan I.0,6 Grafik Gabungan Hubungan Beban dan Lendutan

Perbaikan grafik *interlocking* 0,6 cm juga akan memperlihatkan beban maksimum yang sebenarnya / kondisi dimana tidak terjadi tumpuan yang tergelincir. Pada saat grafik awal beban maksimum yang dimiliki oleh *interlocking* 0,6 cm adalah 5110 kg dan pada saat grafik perbaikan, beban maksimum adalah 5716 kg.

Tabel 4.11

Perbandingan Beban Maksimum Teoritis dan Aktual Setelah Perbaikan

Benda Uji (Balok)	P maks (kg)		KR (%)
	Aktual	Teoritis	
Tanpa serat (Normal)	5246	5775.38	9.17
Dengan serat <i>interlocking</i> 0,6 cm	5716	5661.46	0.95
Dengan serat <i>interlocking</i> 1,2 cm	4903	5707.01	14.09
Dengan serat <i>interlocking</i> 1,8 cm	5234	5669.25	7.68

Sumber: Hasil Penelitian

Dapat dilihat pada tabel 4.7 bahwa beban maksimum balok dengan serat *interlocking* 1,2 cm dan 1,8 cm mempunyai hasil teoritis yang lebih tinggi daripada hasil aktual. Hal ini terjadi karena perhitungan beban maksimum secara teoritis menggunakan kuat tekan yang didapat dari hasil uji tekan silinder dan dapat diasumsikan bahwa kuat tekan antara silinder dan balok tidak sama. Hal ini dapat terjadi karena perlakuan pada saat pengecoran balok dan silinder mengalami perlakuan yang berbeda. Sedangkan balok dengan serat *interlocking* 0,6 cm mempunyai hasil aktual yang hampir mirip dengan hasil teoritis dengan kesalahan relatif sebesar 0,95 %.

Pada tabel terlihat bahwa hasil secara aktual, beton dengan penambahan serat kawat *interlocking* 0,6 cm mampu menahan beban vertikal maksimum yang lebih besar daripada beton dengan penambahan serat kawat *interlocking* 1,8 cm dan 1,2 cm.

4.3 Berat Balok Beton

Sebelum melakukan pengujian balok ditimbang dan didapatkan data seperti yang terlihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12

Hasil Penimbangan Berat Balok

No	Kode Balok	Berat (kg)
1	I,0,6	95.5
2	I,1,2	94.4
3	I,1,8	95
4	Normal	95.4

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil tersebut pengaruh penambahan serat pada beton tidak terlalu berpengaruh terhadap berat balok.

4.4 Analisis Lendutan dan Kekakuan Balok Beton Serat

4.4.1 Perbandingan Lendutan Aktual dan Teoritis

Dengan melakukan perhitungan berdasarkan rumus yang sudah dijelaskan pada bab II dan data aktual benda uji yaitu kuat tekan beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y) dan modulus elastisitas (E) didapatkan lendutan teoritis dan dibandingkan dengan lendutan aktual seperti terlihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13

Perbandingan Lendutan Teoritis dan Aktual

Kode Balok	Lendutan (cm)		KR (%)
	Aktual	Teoritis	
I,0,6	2.836	2.308	18.62
I,1,2	2.983	2.323	22.12
I,1,8	2.830	2.310	18.36
Normal	2.168	2.346	7.62

Sumber: Hasil Penelitian

Pada tabel 4.13 dapat dilihat bahwa perbedaan lendutan aktual dengan lendutan teoritis balok tidak terlalu signifikan. Balok dengan penambahan serat kawat *interlocking*

0,6 cm ; 1,2 cm, dan 1,8 cm lebih besar daripada balok normal, dan memiliki lendutan terbesar pada variasi dengan panjang kait 1,2 cm.

4.4.2 Perhitungan Kekakuan Balok Teoritis

Dalam perhitungan kekakuan teoritis diperlukan data beban dan lendutan teoritis. Nilai kekakuan dapat diperoleh dari perbandingan antara nilai beban (P) dan lendutan (Δ).

Dari perhitungan seperti yang di jelaskan di bab II didapatkan kekakuan balok teoritis sebesar 2453,3442 kg/mm untuk balok dengan panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm, dengan cara yang sama dihitung kekakuan untuk balok dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm; 1,8 cm dan balok normal seperti yang terlihat pada tabel 4.14 dan lampiran 11.

Dilakukan analisis selanjutnya dengan menggunakan beban P sebesar 1000 kg, yaitu beban sebelum terjadinya retak pada balok, dengan menggunakan rumus sebelumnya didapatkan kekakuan teoritis untuk panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm; 1,2 cm; 1,8 cm; dan balok normal seperti yang terlihat pada tabel 4.15 dan lampiran 12.

4.4.3 Perbandingan Kekakuan Balok Teoritis dan Aktual

Perhitungan kekakuan balok aktual diperoleh dari hasil beban dan lendutan aktual pada saat pengujian balok mencapai batas elastisnya. Nilai perbandingan antara kekakuan teoritis dan aktual dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14

Perbandingan Nilai Kekakuan Balok Teoritis dan Aktual Titik Tinjau 1

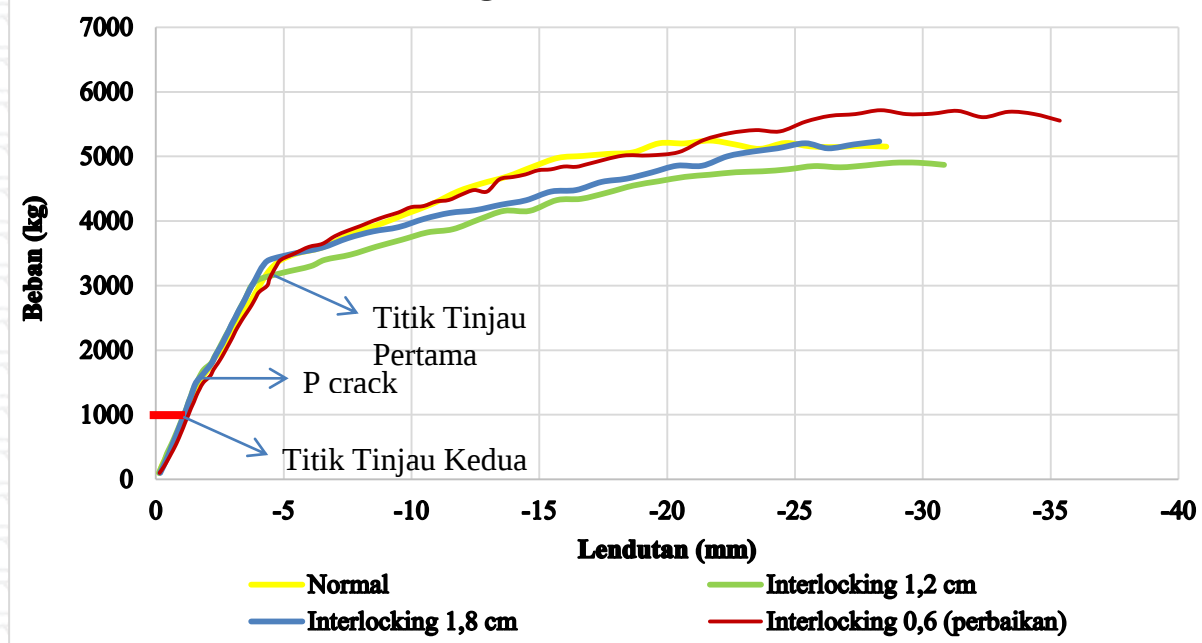
Benda Uji	Kekakuan (kg/mm)		Kesalahan Relatif (%)
	Aktual	Teoritis	
0,6	807.54	2453.3442	67.08
1,2	904.26	2456.6195	63.19
1,8	898.88	2453.9066	63.37
Normal	883.65	2461.4895	64.1

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel menunjukkan bahwa kekakuan aktual lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan teoritis, akan tetapi terlihat bahwa pada penambahan serat pada balok dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm memiliki kekakuan aktual tertinggi yang jika dibandingkan dengan balok normal mengalami penambahan kekakuan sebesar 2,33 % dan berkurang kembali setelah panjang kait (*interlocking*) 1,8 cm.

Selanjutnya yaitu perbandingan kekakuan balok aktual dan teoritis dengan beban P yang sama yaitu 1000 kg seperti yang terlihat pada gambar 4.4 dan tabel 4.15.

Grafik Gabungan Hubungan Beban dan Lendutan



Gambar 4.4 Titik tinjau kekakuan

Tabel 4.15

Perbandingan Nilai Kekakuan Balok Teoritis dan Aktual Titik Tinjau 2

Benda Uji	Kekakuan (kg/mm)		KR (%)
	Aktual	Teoritis	
0,6	785.85	2366.36	66.79
1,2	915.33	2369.37	61.37
1,8	900.90	2366.88	61.94
Normal	843.88	2373.85	64.45

Sumber: Hasil Penelitian

Hasil dari tabel 4.14 tidak berbeda jauh dengan tabel 4.15 dimana hasilnya menunjukkan bahwa kekakuan aktual lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan teoritis. Akan tetapi terlihat bahwa pada penambahan serat pada balok dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm memiliki kekakuan aktual tertinggi yang jika dibandingkan dengan balok normal mengalami penambahan kekakuan sebesar 8,47 % dan berkurang kembali setelah panjang kait (*interlocking*) 1,8 cm.

Hasil-hasil tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berdasarkan rumus kekakuan sebelumnya yaitu $\Delta = P L^3 / 48 EI$ dari rumus tersebut panjang balok (L) dan beban yang terjadi memiliki besaran yang sama untuk semua benda uji sehingga faktor-

faktor yang mempengaruhi kekakuan balok tersebut adalah modulus elastisitas dan momen inersia.

Modulus elastisitas E dipengaruhi secara tidak langsung oleh penambahan serat, pada perhitungan E tersebut menggunakan rumus f'_c atau kuat tekan dari silinder. Penambahan serat hanya menambah kuat tarik dari beton, akan tetapi jika diamati beton tidak hanya memendek tingginya namun juga melebar lingkarannya yang perbandingannya disebut poisson ratio, karena adanya penambahan lebar, maka ada serat kawat kasa yang tertarik sehingga menambah kuat tekan, dan berpengaruh secara tidak langsung terhadap modulus elastisitas beton.

Momen inersia I dipengaruhi langsung oleh serat kawat yang berhubungan langsung dengan retak yang terjadi pada beton yang menyebabkan pengurangan luas penampang pada balok. Momen inersia ini tidak berpengaruh pada perhitungan kekakuan sebelum retak terjadi, karena tidak ada pengurangan penampang yang terjadi pada balok.

Hasil dari semua pengujian tersebut terlihat bahwa hasil pengujian/aktual memiliki nilai yang lebih buruk daripada perhitungan teoritis, hal tersebut bisa dikarenakan serat kawat loket yang tersebar acak pada saat pelaksanaan pengecoran, juga dikarenakan lapisan serat kawat yang licin terbuat dari PVC, sehingga terjadi slip atau tergelincirnya serat dengan beton pada saat dibebani yang menyebabkan kerja dari serat kawat tersebut pada saat menerima gaya tarik tidak maksimal.

4.5 Hasil Pengujian Pola Retak

Dari hasil perhitungan dapat dicari P_{crack} dan dapat dibandingkan dengan P_{crack} aktual seperti pada tabel 4.16.

Tabel 4.16

Perbandingan Nilai P_{crack} Aktual dan Teoritis

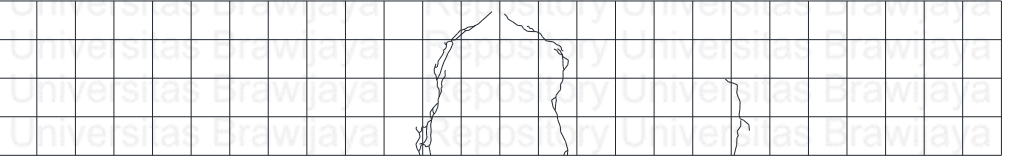
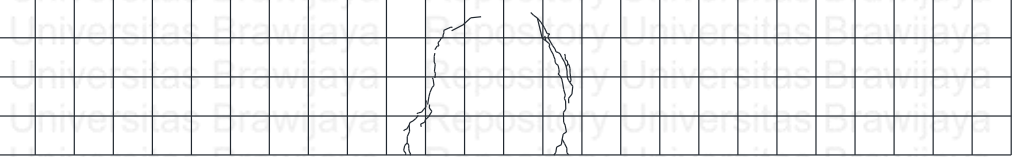
Benda Uji	Benda Uji	P crack (kg)		KR
		Aktual	Teoritis	
0,6	3	1500	1700	11.76
1,2	2	1700		0
1,8	3	1600		5.882
Normal	2	1500		11.76

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel menunjukkan bahwa P_{crack} aktual lebih besar dari pada normal yang disebabkan oleh penambahan serat dan mencapai puncak pada penambahan serat

dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm dan berkurang kembali setelah panjang kait (*interlocking*) 1,8 cm.

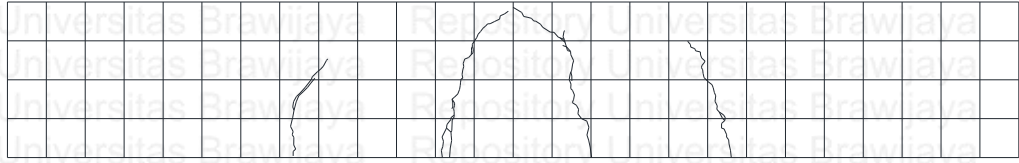
Setelah dibebani balok akan mengalami retak, perilaku retak dari setiap salah satu dari 3 variasi benda uji balok serat tersebut seperti yang terlihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.

Kode Balok	Pola Retak
I.0,6	
I.1,2	
I.1,8	
Normal	

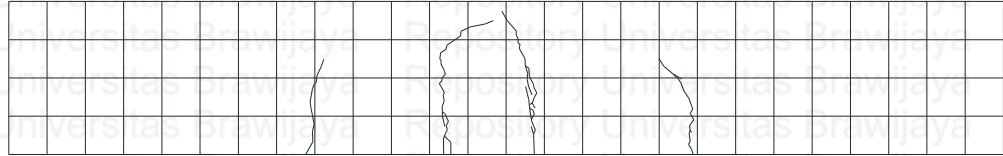
Gambar 4.5 Hasil Pola Retak Balok Tampak Depan

Kode**Balok****Pola Retak**

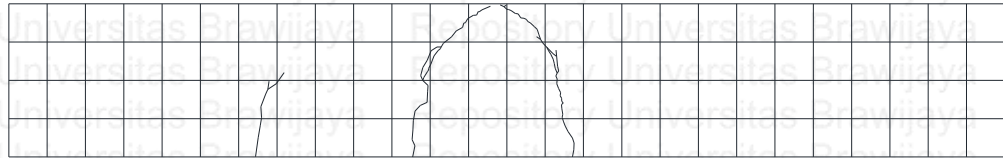
0,6



1,2

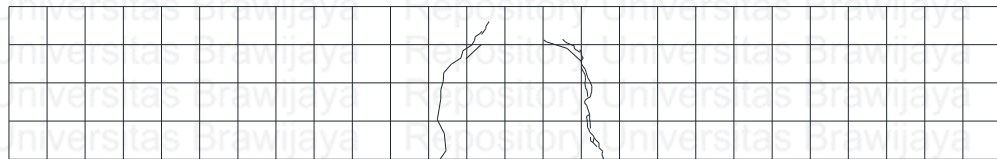


1,8



Norma

1



Gambar 4.6 Hasil Pola Retak Balok Tampak Belakang

Seperti yang terlihat pada gambar 4.5 dan 4.6 terlihat bahwa pola retak pada balok beton berserat lebih banyak dan menyebar dari pada balok normal dengan jenis pola retak lentur murni, dengan penambahan serat pola retak terlihat lebih panjang dan mengarah pada titik beban pada balok tersebut.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di laboratorium dan pembahasan analisis data yang telah dilakukan pada balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Balok beton serat dengan panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm memiliki nilai kekakuan yang paling rendah dan balok beton serat dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm menghasilkan nilai kekakuan yang lebih tinggi mengalami peningkatan sebesar 2,33% untuk kondisi setelah crack dan 8,47% untuk beban P sebesar 1000 kg atau sebelum terjadi crack, lalu kembali berkurang dengan variasi panjang kait (*interlocking*) 1,8 cm. Kondisi tersebut membuktikan bahwa dengan penambahan serat pada balok beton dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm adalah variasi optimum untuk menambah kekakuan balok walaupun penambahannya tidak terlalu signifikan. Dari keseluruhan hasil pengujian/aktual memiliki hasil yang lebih buruk dari perhitungan teoritis, hal tersebut dikarenakan serat kawat loket yang tersebar acak pada saat pelaksanaan pengecoran, juga dikarenakan lapisan serat kawat yang licin terbuat dari PVC, sehingga terjadi slip atau tergelincirnya serat dengan beton pada saat dibebani yang menyebabkan kerja dari serat kawat tersebut pada saat menerima gaya tarik tidak maksimal.
2. Pola retak pada balok beton dengan penambahan serat tidak terlihat signifikan perbedaannya. Dengan penambahan serat pada balok beton memiliki lebih banyak pola retak, yang diawali dengan retak lentur murni dan terus memanjang ke arah beban. P *crack* dengan variasi penambahan serat dengan panjang kait (*interlocking*) 0,6 adalah yang terendah dan mencapai puncaknya pada variasi penambahan serat dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm dan berkurang kembali pada variasi panjang kait (*interlocking*) 1,8 cm. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil kekakuan bahwa penambahan serat pada balok beton dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 merupakan penambahan optimum.

5.2 Saran

Berikut merupakan beberapa saran-saran yang berkaitan dengan penelitian ini :

1. Perlu dilakukan suatu metode agar penyebaran serat lebih merata pada seluruh balok.
2. Dalam penelitian selanjutnya, perlu dipastikan bahwa keadaan dan kondisi semua benda uji memiliki perlakuan yang sama terutama pada saat pengecoran balok dan silinder untuk menghindari hasil yang tidak sesuai.
3. Perlu penambahan benda uji guna mendapatkan data yang lebih baik.
4. Perlu diperhatikan saat *setting-up* pengujian balok semua alat dalam kondisi baik, dan terpasang sempurna agar menghindari kesalahan seperti tumpuan rol yang dapat tergelincir.
5. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai balok beton dengan penambahan serat fiber.



DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*, Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ariatama, Ananta. 2007. *Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasai Diameter Serat*. Tesis, Pasca Sarjana Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ari Wibowo, John L. Wilson, Nelson Tk Lam, Emad F Gad. 2015. *Collapse Behaviour Assessment of Precast Soft Storey Building*, *Procedia Engineering*, Volume 125, Pages 1036-1042.
- McCormac, Jack C. 2014. *Design of Reinforced Concrete, Ninth Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Napitupulu, Mariance. 2013. *Analisa Dan Kajian Eksperimental Pengaruh Penambahan Serat Bendrat (Serat Kawat) Pada Daerah Tarik Balok Beton Bertulang*. Skripsi, Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Nurlina, Siti. 2008. *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media Malang.
- P. Park and T. Paulay, 1975, *Reinforced Concrete Structure*, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971, PBI-1971.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Silalahi, Rodo. 2013. *Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Pemakaian Fiber Baja Dan Pemakaian Fiber Bendrat*. Skripsi, Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Suhendro, B., 1991, *Pengaruh Fiber Kawat pada Sifat-Sifat Beton*, Seminar Mekanika Bahan Dalam Berbagai Aspek, Yogyakarta.
- Suseno, H. 2010. *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang : Bargie Media.
- Tjokrodinuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Nafiri Offset.
- Wigroho H. W. dan Godiman R. S., 2006. *Pengaruh Penambahan Fiber Kawat Kasa Terhadap Kapasitas Kolom Penampang Segi Empat*. *Jurnal Teknik Sipil* Volume 7 No. 1 Oktober 2006.



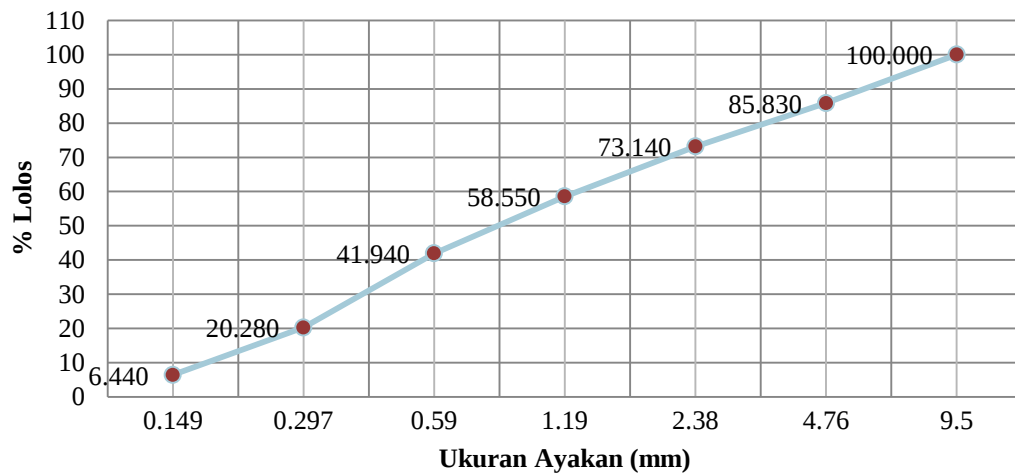
LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisa Gradasi Agregat

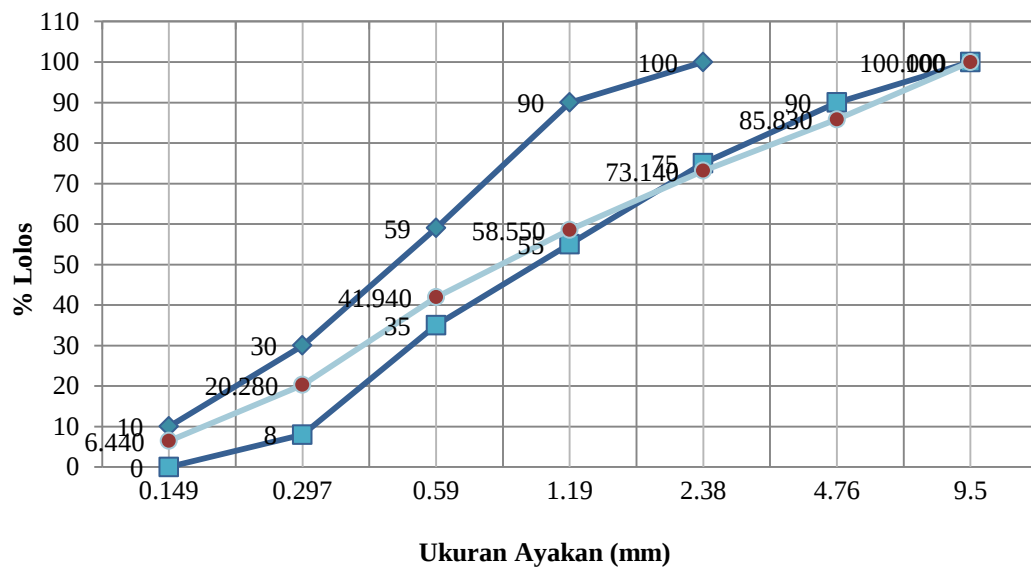
1. Agregat Halus

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	141.7	14.170	14.170	85.830
8	2.38	126.90	12.690	26.860	73.140
16	1.19	145.9	14.590	41.450	58.550
20	0.59	166.1	16.610	58.060	41.940
50	0.297	216.6	21.660	79.720	20.280
100	0.149	138.4	13.840	93.560	6.440
200	0.075	62.4	6.240	99.800	0.200
Pan		2	0.200	-	-
Σ =		1000	100	413.620	

Grafik Lengkung Ayakan Agregat Halus

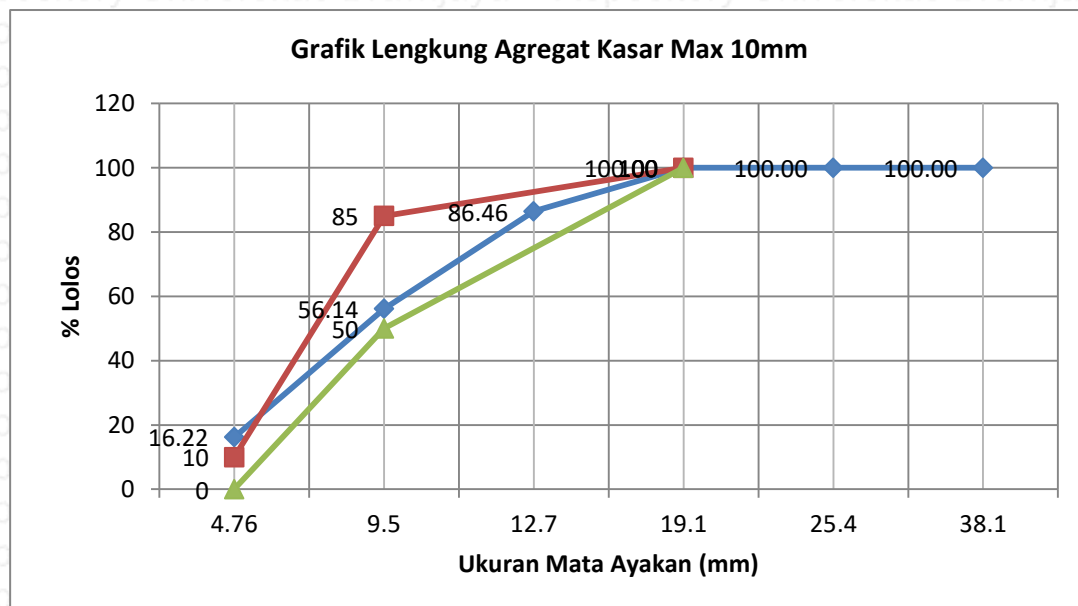
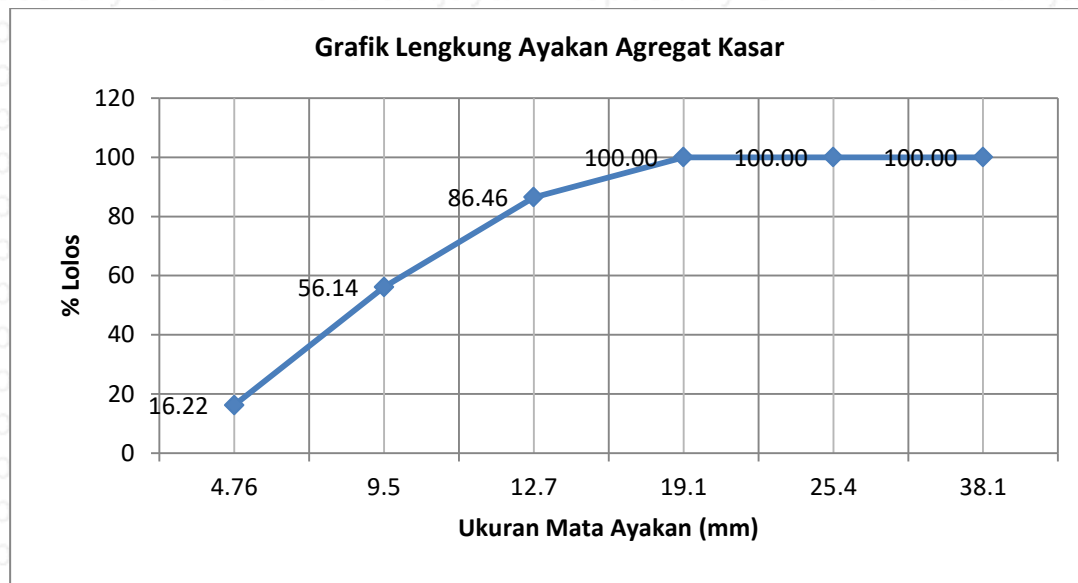


Grafik Lengkung Agregat Halus Zona 2



2. Agregat Kasar

Lubang Saringan			Pasir		
No	mm	gram	Tertinggal	% Tertinggal	% Kumulatif Lolos
3"	76.2	-	-	-	100
2.5"	63.5	-	-	-	100
2"	50.8	-	-	-	100
1.5"	38.1	-	-	-	100
1"	25.4	0	0.00	0.00	100.00
0.75"	19.1	0	0.00	0.00	100.00
0.5"	12.7	676.85	13.54	13.54	86.46
0.375"	9.5	1516.2	30.32	43.86	56.14
4	4.76	1996.14	39.92	83.78	16.22
8	2.38	810.81	16.22	100.00	-
16	1.19	-	-	100.00	-
20	0.85	-	-	100.00	-
50	0.297	-	-	100.00	-
100	0.149	-	-	100.00	-
200	0.075	-	-	100.00	-
Pan		-	-	100.00	-
Σ =		5000	100.0	841.18	



Lampiran 2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

1. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian	Simbol	Satuan	Nilai
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	(gr)	500
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	487
Berat piknometer + air (pada suhu kamar)	B	(gr)	656
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt	(gr)	971,7

Uraian	Simbol	Satuan	Nilai
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$\frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}$	-	2,642
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$\frac{500}{(B + 500 - Bt)}$	-	2,713
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$	-	2,843
Penyerapan (Absorption)	$\frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\%$	%	2,669

2. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Simbol	Satuan	Nilai	
			Talam 1	Talam 2
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	2213,5	2127,5
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	2188,4	2089,7
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	1257	1198

Uraian	Simbol	Satuan	Nilai		
			Talam 1	Talam 2	Rata-Rata
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafty)	$\frac{Bk}{(Bj - Ba)}$	-	2,288	2,248	2,268
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafty Saturated Surface Dry)	$\frac{Bj}{(Bj - Ba)}$	-	2,314	2,289	2,302
Berat Jenis Semu (Apparent Spesific Gravity)	$\frac{Bk}{(Bk - Ba)}$	-	2,350	2,344	2,347
Penyerapan (Absorption)	$\frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\%$	%	1,147	1,809	1,478

Lampiran 3. Berat Isi Agregat

1. Berat Isi Agregat Halus

No	Uraian	Satuan	A	B
1	Berat takaran	(gr)	1050	1050
2	Berat takaran + air	(gr)	3100	3100
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	2050	2050
4	Volume air = (3)/(1)	(cm ³)	1,952	1,952
CARA			RODDING	SHOVELING
5	Berat Takaran	(gr)	1050	1050
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4250	4150
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3200	3100
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/ cm ³)	1639,0	1587,8
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/ cm ³)	1613,415	

2. Berat isi agregat kasar

No	Uraian	Satuan	A	B
1	Berat takaran	(gr)	1050	1050
2	Berat takaran + air	(gr)	3100	3100
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	2050	2050
4	Volume air = (3)/(1)	(cm ³)	1,952	1,952
CARA			RODDING	SHOVELING
5	Berat Takaran	(gr)	1050	1050
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4350	3950
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3300	2900
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/ cm ³)	1690,244	1485,366
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/ cm ³)	1587,80	

Lampiran 4. Kadar Air Agregat

1. Kadar Air Agregat Halus

No	Uraian	Satuan	Talam	
			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	1397,4	1233,6
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	1356,1	1193
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	41,3	40,6
4	Berat Talam	(gr)	393,2	226,4
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	962,9	966,6
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	4,29	4,20
7	Kadar Air rata-rata	(%)	4,24	

2. Kadar Air Agregat Kasar

No	Uraian	Satuan	Talam	
			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	1000	1000
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	976,95	975,58
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	23,05	24,42
4	Berat Talam	(gr)	227,31	394,44
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	749,64	581,14
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	3,07	4,2
7	Kadar Air rata-rata	(%)	3,64	

Lampiran 5. Pengujian Kuat Tarik Kawat Locket Lapis PVC

No	Panjang Kawat (cm)	Beban (kg)	Kuat Tarik (N/mm ²)	Kuat Tarik (N/mm ²)
1	5	14,5	184,545	
2	5	17,5	222,727	205,758
3	5	16,5	210,000	
4	10	16,5	210,000	
5	10	16	203,636	199,394
6	10	14,5	184,545	
7	15	15,5	197,273	
8	15	19	241,818	216,364
9	15	16,5	210,000	
10	20	14,5	184,545	
11	20	14,9	189,636	192,606
12	20	16	203,636	
13	25	12,5	159,091	
14	25	15,5	197,273	186,667
15	25	16	203,636	
				200,158

Lampiran 6. Berat Isi Serat Kawat**1. Berat Isi Interlocking 0,6 cm**

Uraian	Berat (gram)		
	I	II	III
Cawan	6,3	12,8	53,2
Cawan + air	224,3	409,6	627,8
Air	218	396,8	574,6
Serat kawat percobaan 1	75,3	161,8	244
Serat kawat percobaan 2	92,7	170,6	240,4
Serat kawat percobaan 3	79,7	160,2	242,1
Rata-rata serat kawat	82,567	164,200	242,167
Berat isi kawat (gr/cm^3)	0,379	0,414	0,422
Berat isi kawat rata-rata	0,405 gr/cm^3		

Contoh Perhitungan pada Percobaan I:

$$\text{Berat isi air} = 1 \text{ gram}/\text{cm}^3$$

$$\text{Berat air} = \text{berat (cawan + air)} - \text{berat cawan}$$

$$= 224,3 \text{ gram} - 6,3 \text{ gram}$$

$$= 218 \text{ gram}$$

$$\text{Volume air} = \text{volume kawat} = \frac{\text{berat air}}{\text{berat isi air}}$$

$$= \frac{218 \text{ gram}}{1 \text{ gram}/\text{cm}^3}$$

$$= 218 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat rata-rata serat kawat} = \frac{\text{berat serat kawat 1} + \text{berat serat kawat 2} + \text{berat serat kawat 3}}{3}$$

$$= \frac{75,3 \text{ gram} + 92,7 \text{ gram} + 79,7 \text{ gram}}{3}$$

$$= 82,567 \text{ gram}$$

$$\text{Berat jenis serat kawat} = \frac{\text{berat rata-rata serat kawat}}{\text{volume kawat}}$$

$$= \frac{82,567 \text{ gram}}{218 \text{ cm}^3}$$

$$= 0,379 \text{ gram}/\text{cm}^3$$

$$\text{Berat isi rata-rata kawat} = 0,405 \text{ gram}/\text{cm}^3$$

2. Berat Isi Interlocking 1,2 cm

Uraian	Berat (gram)		
	I	II	III
Cawan	33,69	74,8	148,2
Cawan + air	274,77	1047,8	1642,2
Air	241,08	973	1494
Serat kawat percobaan 1	90,92	337,5	599,6
Serat kawat percobaan 2	87,31	352,3	560,9
Serat kawat percobaan 3	91,48	334,7	580,5
Serat kawat percobaan 4	89,81	-	-
Serat kawat percobaan 5	90,07	-	-
Rata-rata serat kawat	89,918	341,500	580,333
Berat isi kawat (gr/cm ³)	0,373	0,351	0,388
Berat isi kawat rata-rata	0,371 gr/cm ³		

Contoh Perhitungan pada Percobaan II:

$$\text{Berat isi air} = 1 \text{ gram/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat air} &= \text{berat (cawan + air)} - \text{berat cawan} \\ &= 1047,8 \text{ gram} - 74,8 \text{ gram} \\ &= 973 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} = \text{volume kawat} &= \frac{\text{berat air}}{\text{berat isi air}} \\ &= \frac{973 \text{ gram}}{1 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 973 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat rata-rata serat kawat} &= \frac{\text{berat serat kawat 1} + \text{berat serat kawat 2} + \text{berat serat kawat 3}}{3} \\ &= \frac{337,5 \text{ gram} + 352,3 \text{ gram} + 334,7 \text{ gram}}{3} \\ &= 341,5 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi serat kawat} &= \frac{\text{berat rata-rata serat kawat}}{\text{volume kawat}} \\ &= \frac{341,5 \text{ gram}}{973 \text{ cm}^3} \end{aligned}$$

$$= 0,351 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Berat isi rata-rata kawat} = 0,371 \text{ gram/cm}^3$$

3. Berat Isi *Interlocking* 1,8 cm

Uraian	Berat (gram)		
	I	II	III
Cawan	222,1	74,8	25,4
Cawan + air	1741,3	616,5	409,3
Air	1519,2	541,7	383,9
Serat kawat percobaan 1	383,9	163,9	87,8
Serat kawat percobaan 2	369,2	166,1	87,5
Serat kawat percobaan 3	391,5	172,7	89,6
Rata-rata serat kawat	381,53	167,57	0,23
Berat isi kawat (gr/cm ³)	0,251	0,309	0,263
Berat isi kawat rata-rata	0,263 gram/cm ³		

Contoh Perhitungan pada Percobaan I:

$$\text{Berat isi air} = 1 \text{ gram/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat air} &= \text{berat (cawan + air)} - \text{berat cawan} \\ &= 1741,3 \text{ gram} - 222,1 \text{ gram} \\ &= 1519,2 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} = \text{volume kawat} &= \frac{\text{berat air}}{\text{berat isi air}} \\ &= \frac{1519,2 \text{ gram}}{1 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 1519,2 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat rata-rata serat kawat} &= \frac{\text{berat serat kawat 1} + \text{berat serat kawat 2} + \text{berat serat kawat 3}}{3} \\ &= \frac{383,9 \text{ gram} + 369,2 \text{ gram} + 391,5 \text{ gram}}{3} \\ &= 381,53 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi serat kawat} &= \frac{\text{berat rata-rata serat kawat}}{\text{volume kawat}} \\ &= \frac{381,53 \text{ gram}}{1519,2 \text{ cm}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 0,251 \text{ gram/cm}^3 \\ \text{Berat isi rata-rata kawat} &= 0,251 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Lampiran 7. Kuat Tekan dan Slump Beton

Nama Balok	Kuat Tekan	Kuat Tekan	Slump
	Rencana (Mpa)	Aktual (Mpa)	
Normal 1	21.7	32.75	12
Normal 2	21.7	33.03	14
Normal 3	21.7	12.44	13.5
I.1,2.1	21.7	30.32	13
I.1,2.2	21.7	32.41	12
I.1,2.3	21.7	23.47	14
I.1,8.1	21.7	30.21	14
I.1,8.2	21.7	22.68	14
I.1,8.3	21.7	32.07	13
I.0,6.1	21.7	22.80	15
I.0,6.2	21.7	24.32	14
I.0,6.3	21.7	22.00	15

Lampiran 8. Hasil Pengujian Balok Serat

1. Balok dengan Serat Kawat *Interlocking* 0,6 cm

Nama Benda Uji : I.0,6.1

Tanggal Pembuatan : 2 Maret 2017

Tanggal Pengujian : 13 April 2017

Umur Beton : 42 hari

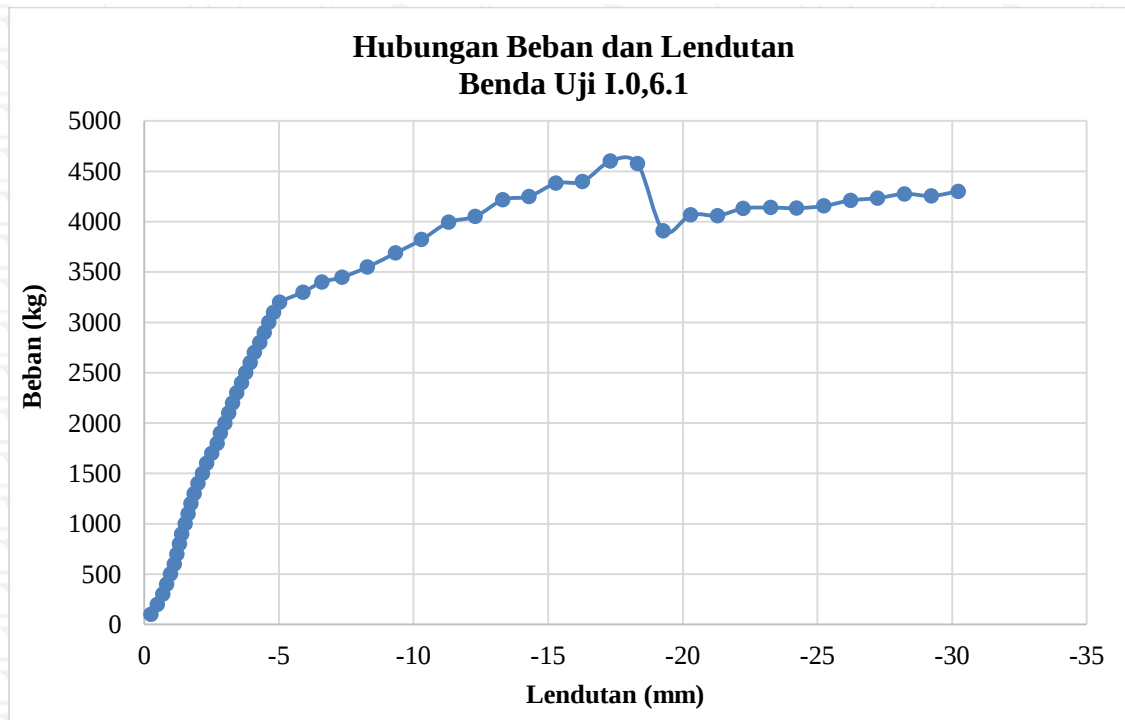
Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa

Mutu Beton Aktual : 22,8 MPa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	0.145	-0.65	-0.2525
2	100	200	-0.08	-0.9	-0.49
3	100	300	-0.285	-1.1	-0.6925
4	100	400	-0.455	-1.22	-0.8375
5	100	500	-0.585	-1.36	-0.9725
6	100	600	-0.755	-1.48	-1.1175
7	100	700	-0.855	-1.58	-1.2175
8	100	800	-0.955	-1.66	-1.3075
9	100	900	-1.06	-1.73	-1.395
10	100	1000	-1.19	-1.85	-1.52
11	100	1100	-1.3	-1.95	-1.625
12	100	1200	-1.43	-2.05	-1.74
13	100	1300	-1.545	-2.16	-1.8525
14	100	1400	-1.705	-2.3	-2.0025
15	100	1500	-1.875	-2.46	-2.1675
16	100	1600	-2.035	-2.61	-2.3225
17	100	1700	-2.23	-2.78	-2.505
18	100	1800	-2.44	-2.98	-2.71
19	100	1900	-2.565	-3.1	-2.8325
20	100	2000	-2.74	-3.25	-2.995
21	100	2100	-2.88	-3.39	-3.135
22	100	2200	-3.035	-3.53	-3.2825
23	100	2300	-3.2	-3.68	-3.44

24	100	2400	-3.38	-3.85	-3.615
25	100	2500	-3.54	-4.01	-3.775
26	100	2600	-3.715	-4.17	-3.9425
27	100	2700	-3.87	-4.31	-4.09
28	100	2800	-4.08	-4.5	-4.29
29	100	2900	-4.26	-4.66	-4.46
30	100	3000	-4.435	-4.83	-4.6325
31	100	3100	-4.615	-4.99	-4.8025
32	100	3200	-4.845	-5.21	-5.0275
33	100	3300	-5.74	-6.05	-5.895
34	100	3400	-6.51	-6.68	-6.595
35	100	3448	-7.21	-7.48	-7.345
36	100	3550	-8.105	-8.48	-8.2925
37	100	3690	-9.195	-9.48	-9.3375
38	100	3822	-10.12	-10.48	-10.3
39	100	3994	-11.135	-11.48	-11.3075
40	100	4052	-12.115	-12.48	-12.2975
41	100	4218	-13.16	-13.48	-13.32
42	100	4250	-14.1	-14.48	-14.29
43	100	4382	-15.105	-15.48	-15.2925
44	100	4400	-16.085	-16.48	-16.2825
45	100	4602	-17.155	-17.48	-17.3175
46	100	4576	-18.155	-18.48	-18.3175
47	100	3908	-19.07	-19.48	-19.275
48	100	4068	-20.12	-20.48	-20.3
49	100	4060	-21.12	-21.48	-21.3
50	100	4132	-22.02	-22.48	-22.25
51	100	4140	-23.065	-23.48	-23.2725
52	100	4134	-23.995	-24.48	-24.2375
53	100	4156	-24.995	-25.48	-25.2375
54	100	4212	-25.995	-26.48	-26.2375
55	100	4234	-26.995	-27.48	-27.2375

56	100	4276	-27.995	-28.48	-28.2375
57	100	4256	-28.995	-29.48	-29.2375
58	100	4302	-29.995	-30.48	-30.2375

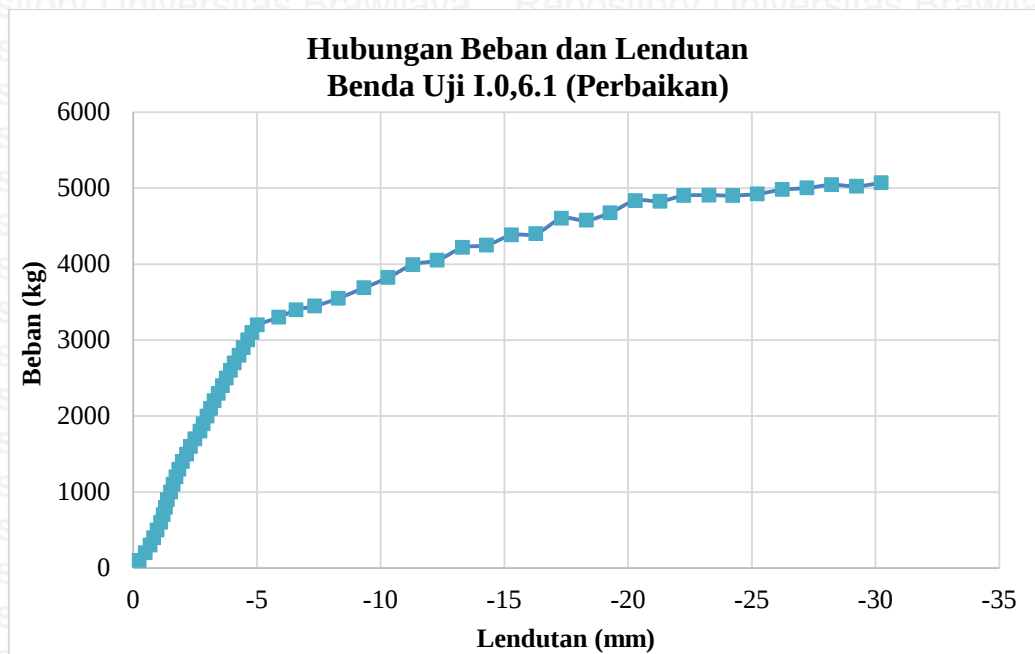




Perbaikan :

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	0.145	-0.65	-0.2525
2	100	200	-0.08	-0.9	-0.49
3	100	300	-0.285	-1.1	-0.6925
4	100	400	-0.455	-1.22	-0.8375
5	100	500	-0.585	-1.36	-0.9725
6	100	600	-0.755	-1.48	-1.1175
7	100	700	-0.855	-1.58	-1.2175
8	100	800	-0.955	-1.66	-1.3075
9	100	900	-1.06	-1.73	-1.395
10	100	1000	-1.19	-1.85	-1.52
11	100	1100	-1.3	-1.95	-1.625
12	100	1200	-1.43	-2.05	-1.74
13	100	1300	-1.545	-2.16	-1.8525
14	100	1400	-1.705	-2.3	-2.0025
15	100	1500	-1.875	-2.46	-2.1675
16	100	1600	-2.035	-2.61	-2.3225
17	100	1700	-2.23	-2.78	-2.505
18	100	1800	-2.44	-2.98	-2.71
19	100	1900	-2.565	-3.1	-2.8325
20	100	2000	-2.74	-3.25	-2.995
21	100	2100	-2.88	-3.39	-3.135
22	100	2200	-3.035	-3.53	-3.2825
23	100	2300	-3.2	-3.68	-3.44
24	100	2400	-3.38	-3.85	-3.615
25	100	2500	-3.54	-4.01	-3.775
26	100	2600	-3.715	-4.17	-3.9425
27	100	2700	-3.87	-4.31	-4.09
28	100	2800	-4.08	-4.5	-4.29

29	100	2900	-4.26	-4.66	-4.46
30	100	3000	-4.435	-4.83	-4.6325
31	100	3100	-4.615	-4.99	-4.8025
32	100	3200	-4.845	-5.21	-5.0275
33	100	3300	-5.74	-6.05	-5.895
34	100	3400	-6.51	-6.68	-6.595
35	100	3448	-7.21	-7.48	-7.345
36	100	3550	-8.105	-8.48	-8.2925
37	100	3690	-9.195	-9.48	-9.3375
38	100	3822	-10.12	-10.48	-10.3
39	100	3994	-11.135	-11.48	-11.3075
40	100	4052	-12.115	-12.48	-12.2975
41	100	4218	-13.16	-13.48	-13.32
42	100	4250	-14.1	-14.48	-14.29
43	100	4382	-15.105	-15.48	-15.2925
44	100	4400	-16.085	-16.48	-16.2825
45	100	4602	-17.155	-17.48	-17.3175
46	100	4576	-18.155	-18.48	-18.3175
47	100	4676	-19.07	-19.48	-19.275
48	100	4836	-20.12	-20.48	-20.3
49	100	4828	-21.12	-21.48	-21.3
50	100	4900	-22.02	-22.48	-22.25
51	100	4908	-23.065	-23.48	-23.2725
52	100	4902	-23.995	-24.48	-24.2375
53	100	4924	-24.995	-25.48	-25.2375
54	100	4980	-25.995	-26.48	-26.2375
55	100	5002	-26.995	-27.48	-27.2375
56	100	5044	-27.995	-28.48	-28.2375
57	100	5024	-28.995	-29.48	-29.2375
58	100	5070	-29.995	-30.48	-30.2375

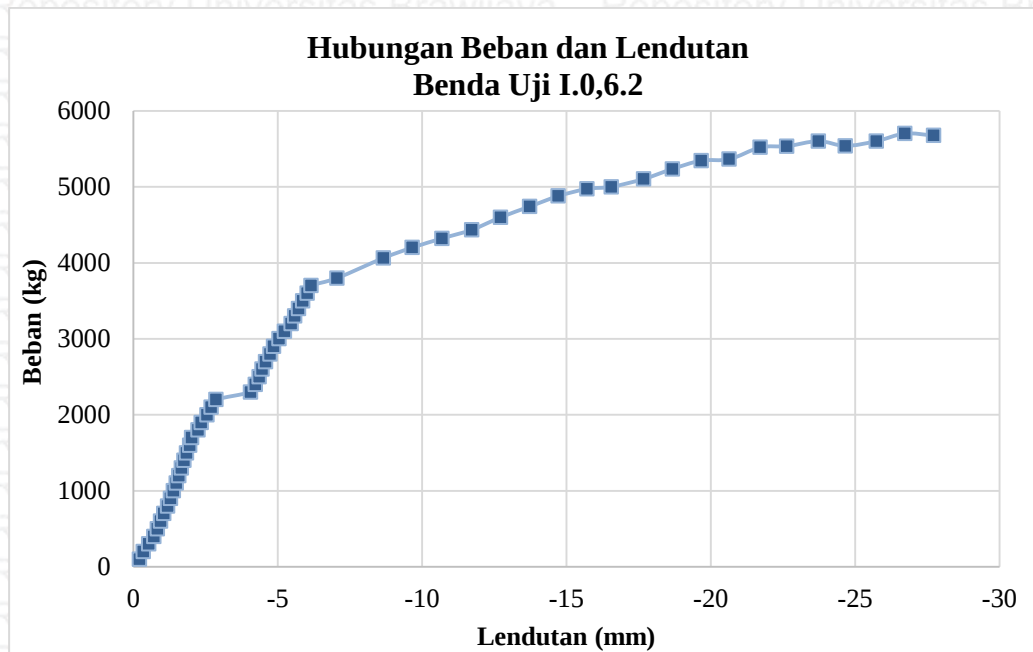


Nama Benda Uji : I.0,6.2
 Tanggal Pembuatan : 7 Maret 2017
 Tanggal Pengujian : 12 April 2017
 Umur Beton : 36 hari
 Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa
 Mutu Beton Aktual : 24,3 MPa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	-0.62	0.18	-0.22
2	100	200	-0.775	0.07	-0.3525
3	100	300	-0.955	-0.12	-0.5375
4	100	400	-1.095	-0.33	-0.7125
5	100	500	-1.22	-0.46	-0.84
6	100	600	-1.335	-0.56	-0.9475
7	100	700	-1.445	-0.68	-1.0625
8	100	800	-1.58	-0.81	-1.195
9	100	900	-1.675	-0.91	-1.2925
10	100	1000	-1.775	-1.01	-1.3925
11	100	1100	-1.87	-1.1	-1.485
12	100	1200	-1.96	-1.19	-1.575
13	100	1300	-2.05	-1.28	-1.665
14	100	1400	-2.145	-1.37	-1.7575
15	100	1500	-2.235	-1.45	-1.8425
16	100	1600	-2.355	-1.56	-1.9575
17	100	1700	-2.365	-1.67	-2.0175
18	100	1800	-2.64	-1.84	-2.24
19	100	1900	-2.765	-1.95	-2.3575
20	100	2000	-2.96	-2.15	-2.555
21	100	2100	-3.105	-2.29	-2.6975
22	100	2200	-3.275	-2.45	-2.8625
23	100	2300	-4.875	-3.26	-4.0675
24	100	2400	-5.04	-3.42	-4.23

25	100	2500	-5.19	-3.54	-4.365
26	100	2600	-5.295	-3.63	-4.4625
27	100	2700	-5.42	-3.75	-4.585
28	100	2800	-5.595	-3.88	-4.7375
29	100	2900	-5.72	-4	-4.86
30	100	3000	-5.905	-4.19	-5.0475
31	100	3100	-6.135	-4.35	-5.2425
32	100	3200	-6.36	-4.58	-5.47
33	100	3300	-6.49	-4.7	-5.595
34	100	3400	-6.63	-4.83	-5.73
35	100	3500	-6.78	-4.96	-5.87
36	100	3600	-6.955	-5.1	-6.0275
37	100	3700	-7.085	-5.24	-6.1625
38	100	3800	-8.01	-6.1	-7.055
39	100	4064	-9.605	-7.72	-8.6625
40	100	4202	-10.615	-8.72	-9.6675
41	100	4322	-11.665	-9.72	-10.6925
42	100	4436	-12.73	-10.72	-11.725
43	100	4600	-13.73	-11.72	-12.725
44	100	4742	-14.745	-12.72	-13.7325
45	100	4879	-15.715	-13.72	-14.7175
46	100	4974	-16.715	-14.72	-15.7175
47	100	5001	-17.4	-15.72	-16.56
48	100	5104	-18.63	-16.72	-17.675
49	100	5236	-19.625	-17.72	-18.6725
50	100	5346	-20.625	-18.72	-19.6725
51	100	5364	-21.565	-19.72	-20.6425
52	100	5520	-22.71	-20.72	-21.715
53	100	5536	-23.555	-21.72	-22.6375
54	100	5602	-24.74	-22.72	-23.73
55	100	5540	-25.62	-23.72	-24.67
56	100	5602	-26.77	-24.72	-25.745

57	100	5702	-27.73	-25.72	-26.725
58	100	5676	-28.73	-26.72	-27.725
59	100	5470	-29.73	-27.72	-28.725
60	100	5486	-30.73	-28.72	-29.725



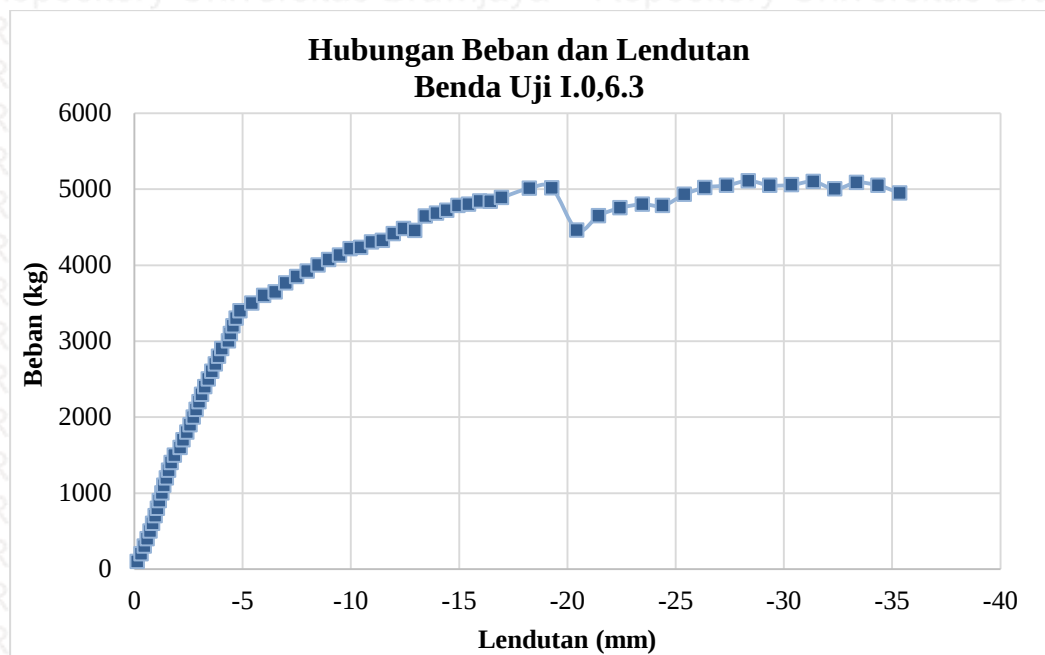
Nama Benda Uji : I.0,6.3
 Tanggal Pembuatan : 7 Maret 2017
 Tanggal Pengujian : 12 April 2017
 Umur Beton : 36 hari
 Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa
 Mutu Beton Aktual : 22 MPa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	-0.01	-0.28	-0.145
2	100	200	-0.12	-0.515	-0.3175
3	100	300	-0.2	-0.725	-0.4625
4	100	400	-0.28	-0.92	-0.6
5	100	500	-0.33	-1.14	-0.735
6	100	600	-0.42	-1.29	-0.855
7	100	700	-0.51	-1.415	-0.9625
8	100	800	-0.61	-1.525	-1.0675
9	100	900	-0.69	-1.64	-1.165
10	100	1000	-0.79	-1.755	-1.2725
11	100	1100	-0.88	-1.865	-1.3725
12	100	1200	-0.98	-1.995	-1.4875
13	100	1300	-1.08	-2.095	-1.5875
14	100	1400	-1.21	-2.215	-1.7125
15	100	1500	-1.35	-2.365	-1.8575
16	100	1600	-1.61	-2.635	-2.1225
17	100	1700	-1.74	-2.77	-2.255
18	100	1800	-1.9	-2.955	-2.4275
19	100	1900	-2.05	-3.12	-2.585
20	100	2000	-2.19	-3.26	-2.725
21	100	2100	-2.32	-3.405	-2.8625
22	100	2200	-2.45	-3.545	-2.9975
23	100	2300	-2.55	-3.685	-3.1175
24	100	2400	-2.69	-3.835	-3.2625

25	100	2500	-2.85	-3.985	-3.4175
26	100	2600	-3.02	-4.155	-3.5875
27	100	2700	-3.17	-4.33	-3.75
28	100	2800	-3.32	-4.46	-3.89
29	100	2900	-3.45	-4.62	-4.035
30	100	3000	-3.76	-4.95	-4.355
31	100	3100	-3.84	-5.035	-4.4375
32	100	3200	-3.97	-5.16	-4.565
33	100	3300	-4.11	-5.305	-4.7075
34	100	3400	-4.29	-5.49	-4.89
35	100	3500	-4.84	-6.03	-5.435
36	100	3600	-5.37	-6.595	-5.9825
37	100	3648	-5.89	-7.14	-6.515
38	100	3766	-6.36	-7.64	-7
39	100	3850	-6.85	-8.14	-7.495
40	100	3922	-7.34	-8.64	-7.99
41	100	4002	-7.83	-9.14	-8.485
42	100	4072	-8.33	-9.64	-8.985
43	100	4132	-8.82	-10.14	-9.48
44	100	4214	-9.31	-10.64	-9.975
45	100	4232	-9.79	-11.14	-10.465
46	100	4302	-10.29	-11.64	-10.965
47	100	4326	-10.78	-12.14	-11.46
48	100	4412	-11.29	-12.64	-11.965
49	100	4480	-11.75	-13.14	-12.445
50	100	4456	-12.26	-13.64	-12.95
51	100	4646	-12.74	-14.14	-13.44
52	100	4682	-13.28	-14.64	-13.96
53	100	4720	-13.74	-15.14	-14.44
54	100	4786	-14.26	-15.64	-14.95
55	100	4800	-14.75	-16.14	-15.445
56	100	4844	-15.27	-16.64	-15.955



57	100	4840	-15.76	-17.14	-16.45
58	100	4890	-16.29	-17.64	-16.965
59	100	5012	-17.56	-18.945	-18.2525
60	100	5016	-18.56	-20.005	-19.2825
61	100	4460	-19.56	-21.325	-20.4425
62	100	4650	-20.56	-22.315	-21.4375
63	100	4754	-21.56	-23.3	-22.43
64	100	4802	-22.56	-24.365	-23.4625
65	100	4782	-23.56	-25.255	-24.4075
66	100	4932	-24.56	-26.255	-25.4075
67	100	5022	-25.56	-27.155	-26.3575
68	100	5050	-26.56	-28.155	-27.3575
69	100	5110	-27.56	-29.155	-28.3575
70	100	5050	-28.56	-30.155	-29.3575
71	100	5056	-29.56	-31.155	-30.3575
72	100	5100	-30.56	-32.155	-31.3575
73	100	5002	-31.56	-33.155	-32.3575
74	100	5086	-32.56	-34.155	-33.3575
75	100	5050	-33.56	-35.155	-34.3575
76	100	4948	-34.56	-36.155	-35.3575

**Perbaikan :**

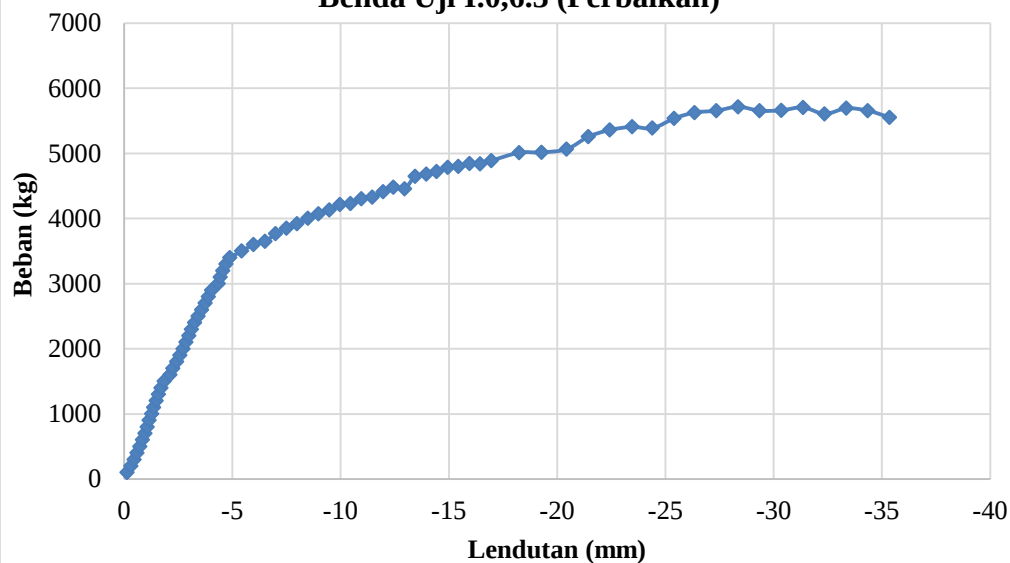
No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	-0.01	-0.28	-0.145
2	100	200	-0.12	-0.515	-0.3175
3	100	300	-0.2	-0.725	-0.4625
4	100	400	-0.28	-0.92	-0.6
5	100	500	-0.33	-1.14	-0.735
6	100	600	-0.42	-1.29	-0.855
7	100	700	-0.51	-1.415	-0.9625
8	100	800	-0.61	-1.525	-1.0675
9	100	900	-0.69	-1.64	-1.165
10	100	1000	-0.79	-1.755	-1.2725
11	100	1100	-0.88	-1.865	-1.3725
12	100	1200	-0.98	-1.995	-1.4875
13	100	1300	-1.08	-2.095	-1.5875
14	100	1400	-1.21	-2.215	-1.7125
15	100	1500	-1.35	-2.365	-1.8575
16	100	1600	-1.61	-2.635	-2.1225
17	100	1700	-1.74	-2.77	-2.255
18	100	1800	-1.9	-2.955	-2.4275
19	100	1900	-2.05	-3.12	-2.585



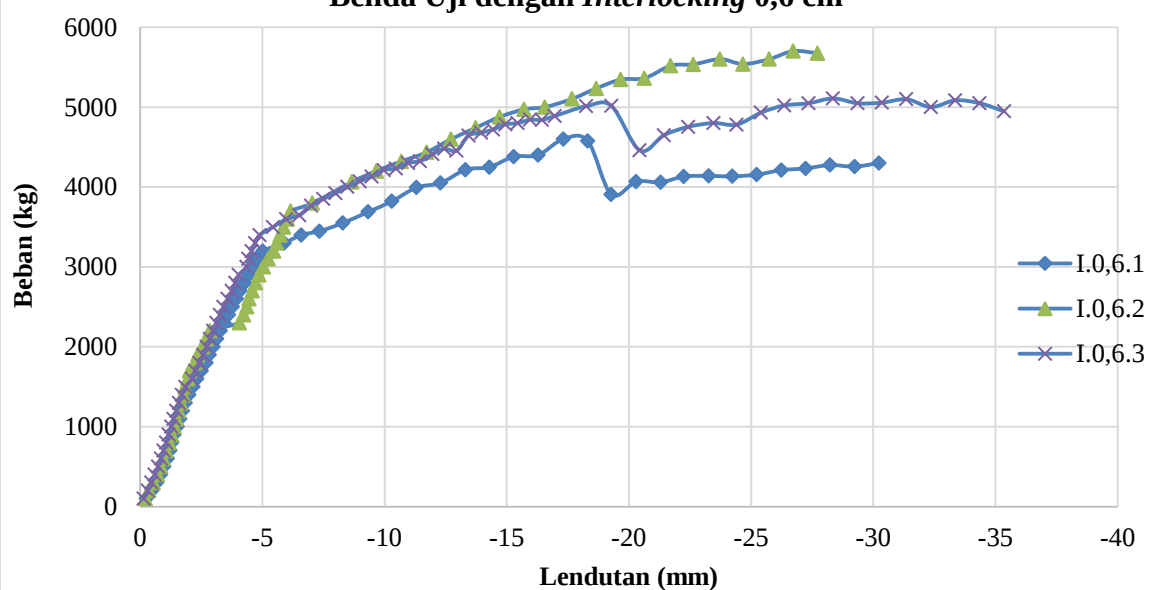
20	100	2000	-2.19	-3.26	-2.725
21	100	2100	-2.32	-3.405	-2.8625
22	100	2200	-2.45	-3.545	-2.9975
23	100	2300	-2.55	-3.685	-3.1175
24	100	2400	-2.69	-3.835	-3.2625
25	100	2500	-2.85	-3.985	-3.4175
26	100	2600	-3.02	-4.155	-3.5875
27	100	2700	-3.17	-4.33	-3.75
28	100	2800	-3.32	-4.46	-3.89
29	100	2900	-3.45	-4.62	-4.035
30	100	3000	-3.76	-4.95	-4.355
31	100	3100	-3.84	-5.035	-4.4375
32	100	3200	-3.97	-5.16	-4.565
33	100	3300	-4.11	-5.305	-4.7075
34	100	3400	-4.29	-5.49	-4.89
35	100	3500	-4.84	-6.03	-5.435
36	100	3600	-5.37	-6.595	-5.9825
37	100	3648	-5.89	-7.14	-6.515
38	100	3766	-6.36	-7.64	-7
39	100	3850	-6.85	-8.14	-7.495
40	100	3922	-7.34	-8.64	-7.99
41	100	4002	-7.83	-9.14	-8.485
42	100	4072	-8.33	-9.64	-8.985
43	100	4132	-8.82	-10.14	-9.48
44	100	4214	-9.31	-10.64	-9.975
45	100	4232	-9.79	-11.14	-10.465
46	100	4302	-10.29	-11.64	-10.965
47	100	4326	-10.78	-12.14	-11.46
48	100	4412	-11.29	-12.64	-11.965
49	100	4480	-11.75	-13.14	-12.445
50	100	4456	-12.26	-13.64	-12.95
51	100	4646	-12.74	-14.14	-13.44
52	100	4682	-13.28	-14.64	-13.96
53	100	4720	-13.74	-15.14	-14.44

54	100	4786	-14.26	-15.64	-14.95
55	100	4800	-14.75	-16.14	-15.445
56	100	4844	-15.27	-16.64	-15.955
57	100	4840	-15.76	-17.14	-16.45
58	100	4890	-16.29	-17.64	-16.965
59	100	5012	-17.56	-18.945	-18.2525
60	100	5016	-18.56	-20.005	-19.2825
61	100	5066	-19.56	-21.325	-20.4425
62	100	5256	-20.56	-22.315	-21.4375
63	100	5360	-21.56	-23.3	-22.43
64	100	5408	-22.56	-24.365	-23.4625
65	100	5388	-23.56	-25.255	-24.4075
66	100	5538	-24.56	-26.255	-25.4075
67	100	5628	-25.56	-27.155	-26.3575
68	100	5656	-26.56	-28.155	-27.3575
69	100	5716	-27.56	-29.155	-28.3575
70	100	5656	-28.56	-30.155	-29.3575
71	100	5662	-29.56	-31.155	-30.3575
72	100	5706	-30.56	-32.155	-31.3575
73	100	5608	-31.56	-33.155	-32.3575
74	100	5692	-32.56	-34.155	-33.3575
75	100	5656	-33.56	-35.155	-34.3575
76	100	5554	-34.56	-36.155	-35.3575

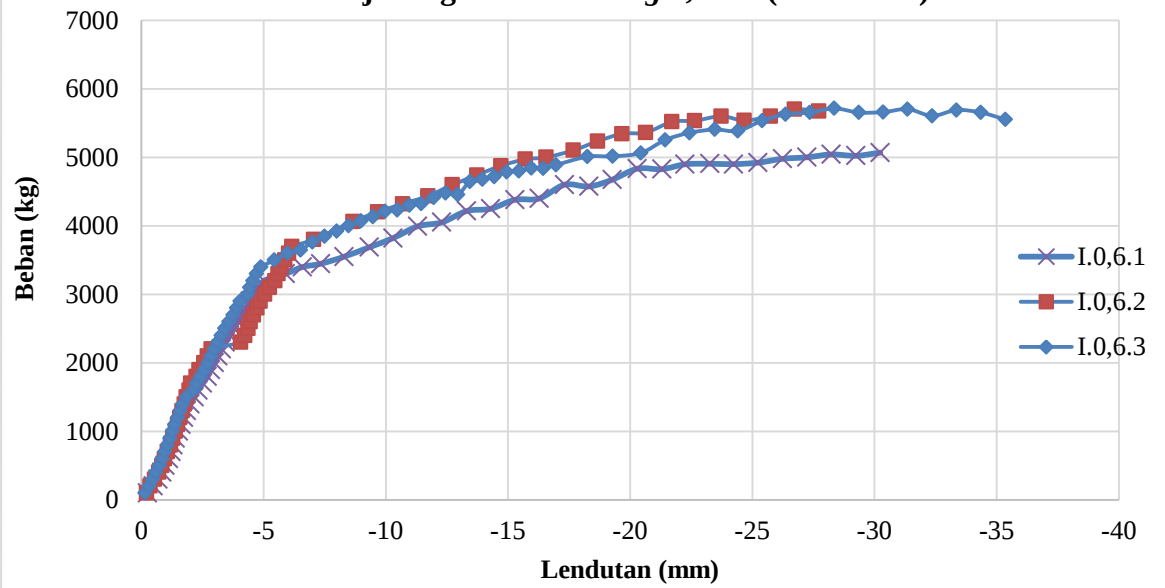
Hubungan Beban dan Lendutan
Benda Uji I.0,6.3 (Perbaikan)



Hubungan Beban dan Lendutan
Benda Uji dengan *Interlocking* 0,6 cm



Hubungan Beban dan Lendutan
Benda Uji dengan *Interlocking* 0,6 cm (Perbaikan)



2. Balok dengan Serat Kawat *Interlocking* 1,2 cm

Nama Benda Uji : I.1,2.1

Tanggal Pembuatan : 28 Februari 2017

Tanggal Pengujian : 6 April 2017

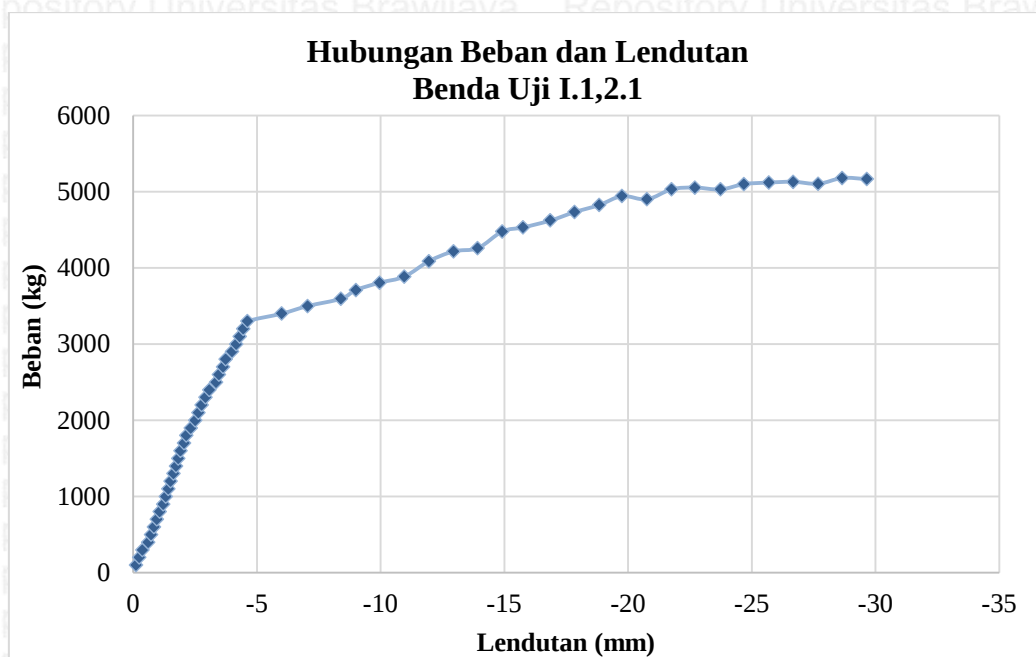
Umur Beton : 37 hari

Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa

Mutu Beton Aktual : 30,32 Mpa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	0.04	-0.27	-0.115
2	100	200	-0.075	-0.43	-0.2525
3	100	300	-0.185	-0.57	-0.3775
4	100	400	-0.41	-0.82	-0.615
5	100	500	-0.525	-0.94	-0.7325
6	100	600	-0.61	-1.08	-0.845
7	100	700	-0.725	-1.2	-0.9625
8	100	800	-0.825	-1.32	-1.0725
9	100	900	-0.975	-1.46	-1.2175
10	100	1000	-1.08	-1.58	-1.33
11	100	1100	-1.165	-1.68	-1.4225
12	100	1200	-1.27	-1.77	-1.52
13	100	1300	-1.38	-1.9	-1.64
14	100	1400	-1.47	-2	-1.735
15	100	1500	-1.555	-2.09	-1.8225
16	100	1600	-1.66	-2.17	-1.915
17	100	1700	-1.79	-2.34	-2.065
18	100	1800	-1.8	-2.5	-2.15
19	100	1900	-1.945	-2.73	-2.3375
20	100	2000	-2.1	-2.94	-2.52
21	100	2100	-2.21	-3.09	-2.65
22	100	2200	-2.345	-3.21	-2.7775
23	100	2300	-2.495	-3.35	-2.9225
24	100	2400	-2.655	-3.5	-3.0775
25	100	2500	-3.005	-3.7	-3.3525

26	100	2600	-3.13	-3.81	-3.47
27	100	2700	-3.3	-3.97	-3.635
28	100	2800	-3.41	-4.08	-3.745
29	100	2900	-3.66	-4.34	-4
30	100	3000	-3.83	-4.51	-4.17
31	100	3100	-3.975	-4.65	-4.3125
32	100	3200	-4.115	-4.79	-4.4525
33	100	3300	-4.3	-4.95	-4.625
34	100	3400	-5.665	-6.34	-6.0025
35	100	3500	-6.68	-7.43	-7.055
36	100	3596	-8.38	-8.43	-8.405
37	100	3710	-8.58	-9.43	-9.005
38	100	3806	-9.5	-10.43	-9.965
39	100	3886	-10.495	-11.43	-10.9625
40	100	4088	-11.475	-12.43	-11.9525
41	100	4218	-12.48	-13.43	-12.955
42	100	4260	-13.43	-14.43	-13.93
43	100	4478	-14.4	-15.43	-14.915
44	100	4532	-15.105	-16.43	-15.7675
45	100	4622	-16.3	-17.43	-16.865
46	100	4732	-17.25	-18.43	-17.84
47	100	4826	-18.26	-19.43	-18.845
48	100	4942	-19.09	-20.43	-19.76
49	100	4900	-20.1	-21.43	-20.765
50	100	5032	-21.1	-22.43	-21.765
51	100	5054	-21.995	-23.43	-22.7125
52	100	5030	-23.045	-24.43	-23.7375
53	100	5100	-23.955	-25.43	-24.6925
54	100	5120	-24.975	-26.43	-25.7025
55	100	5130	-25.925	-27.43	-26.6775
56	100	5104	-26.955	-28.43	-27.6925
57	100	5180	-27.895	-29.43	-28.6625
58	100	5165	-28.895	-30.43	-29.6625
59	100	5186	-30.065	-31.43	-30.7475



Nama Benda Uji : I.1,2,2

Tanggal Pembuatan : 1 Maret 2017

Tanggal Pengujian : 7 April 2017

Umur Beton : 37 hari

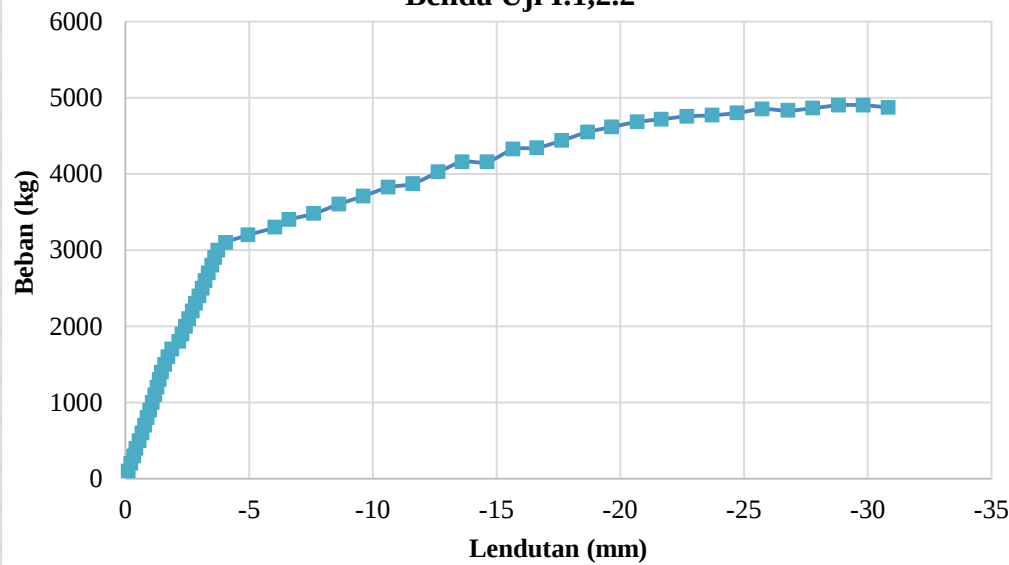
Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa

Mutu Beton Aktual : 32,41 Mpa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	0.04	-0.28	-0.12
2	100	200	0.055	-0.51	-0.2275
3	100	300	0	-0.69	-0.345
4	100	400	-0.07	-0.8	-0.435
5	100	500	-0.165	-0.95	-0.5575
6	100	600	-0.28	-1.07	-0.675
7	100	700	-0.385	-1.18	-0.7825
8	100	800	-0.49	-1.29	-0.89
9	100	900	-0.59	-1.39	-0.99
10	100	1000	-0.695	-1.49	-1.0925
11	100	1100	-0.805	-1.59	-1.1975
12	100	1200	-0.89	-1.67	-1.28
13	100	1300	-0.985	-1.77	-1.3775
14	100	1400	-1.075	-1.85	-1.4625
15	100	1500	-1.22	-1.98	-1.6
16	100	1600	-1.305	-2.14	-1.7225
17	100	1700	-1.5	-2.26	-1.88
18	100	1800	-1.785	-2.55	-2.1675
19	100	1900	-1.91	-2.68	-2.295
20	100	2000	-2.055	-2.82	-2.4375
21	100	2100	-2.185	-2.95	-2.5675
22	100	2200	-2.325	-3.08	-2.7025
23	100	2300	-2.465	-3.21	-2.8375
24	100	2400	-2.6	-3.35	-2.975
25	100	2500	-2.735	-3.48	-3.1075
26	100	2600	-2.86	-3.6	-3.23

27	100	2700	-2.985	-3.73	-3.3575
28	100	2800	-3.135	-3.87	-3.5025
29	100	2900	-3.245	-3.98	-3.6125
30	100	3000	-3.38	-4.11	-3.745
31	100	3100	-3.7	-4.4	-4.05
32	100	3200	-4.63	-5.3	-4.965
33	100	3300	-5.715	-6.38	-6.0475
34	100	3400	-6.28	-6.94	-6.61
35	100	3480	-7.28	-7.95	-7.615
36	100	3604	-8.31	-8.95	-8.63
37	100	3710	-9.28	-9.95	-9.615
38	100	3824	-10.295	-10.95	-10.6225
39	100	3874	-11.29	-11.95	-11.62
40	100	4026	-12.34	-12.95	-12.645
41	100	4158	-13.29	-13.95	-13.62
42	100	4158	-14.29	-14.95	-14.62
43	100	4324	-15.405	-15.95	-15.6775
44	100	4344	-16.315	-16.95	-16.6325
45	100	4438	-17.32	-17.95	-17.635
46	100	4550	-18.41	-18.95	-18.68
47	100	4616	-19.365	-19.95	-19.6575
48	100	4684	-20.435	-20.95	-20.6925
49	100	4718	-21.385	-21.95	-21.6675
50	100	4756	-22.43	-22.95	-22.69
51	100	4770	-23.48	-23.95	-23.715
52	100	4801	-24.495	-24.95	-24.7225
53	100	4851	-25.535	-25.95	-25.7425
54	100	4832	-26.62	-26.95	-26.785
55	100	4862	-27.62	-27.95	-27.785
56	100	4902	-28.71	-28.95	-28.83
57	100	4903	-29.71	-29.95	-29.83
58	100	4870	-30.71	-30.95	-30.83
59	100	4700	-31.71	-31.95	-31.83
59	100	4550	-32.71	-32.95	-32.83

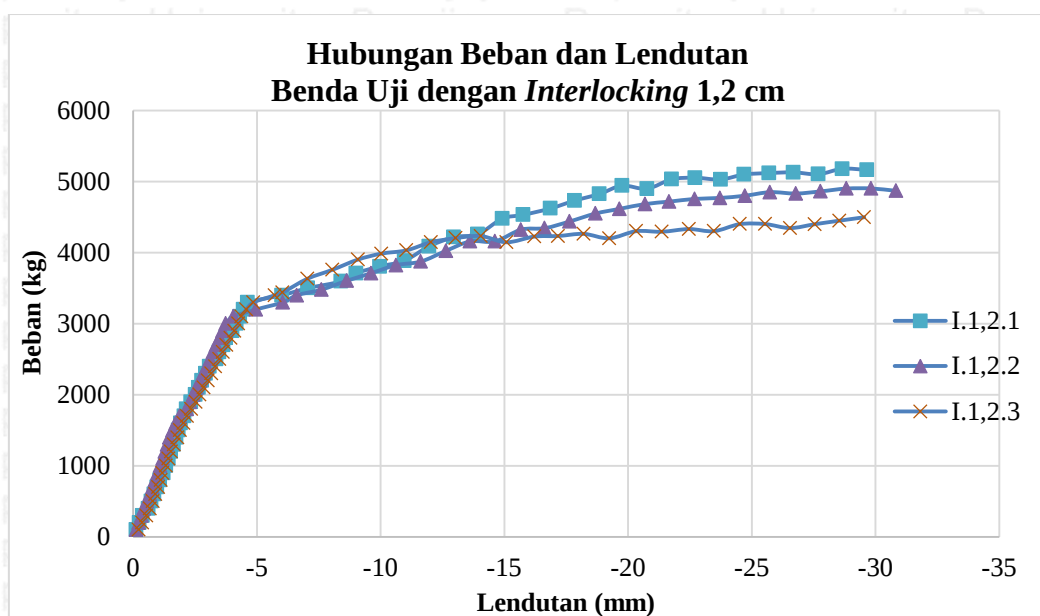
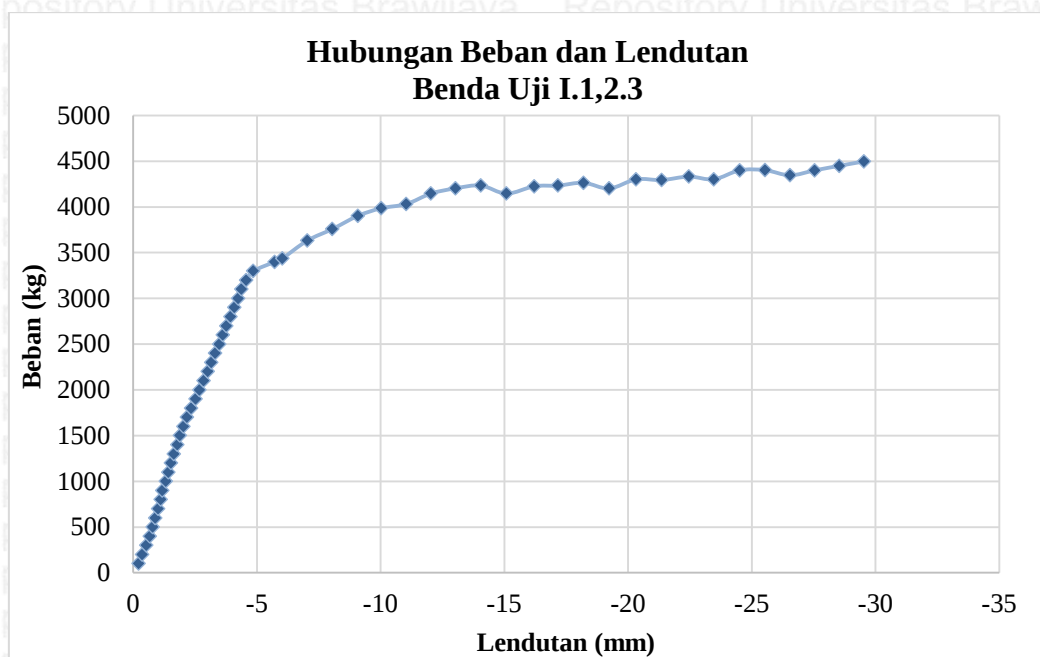
Hubungan Beban dan Lendutan
Benda Uji I.1,2.2



Nama Benda Uji : I.1,2,3
 Tanggal Pembuatan : 1 Maret 2017
 Tanggal Pengujian : 10 April 2017
 Umur Beton : 40 hari
 Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa
 Mutu Beton Aktual : 23,47 Mpa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	0.45	-0.91	-0.23
2	100	200	0.315	-1.05	-0.3675
3	100	300	0.155	-1.23	-0.5375
4	100	400	0.02	-1.37	-0.675
5	100	500	-0.085	-1.49	-0.7875
6	100	600	-0.195	-1.61	-0.9025
7	100	700	-0.295	-1.73	-1.0125
8	100	800	-0.39	-1.84	-1.115
9	100	900	-0.42	-1.94	-1.18
10	100	1000	-0.53	-2.12	-1.325
11	100	1100	-0.63	-2.22	-1.425
12	100	1200	-0.745	-2.32	-1.5325
13	100	1300	-0.855	-2.43	-1.6425
14	100	1400	-1	-2.57	-1.785
15	100	1500	-1.115	-2.68	-1.8975
16	100	1600	-1.265	-2.81	-2.0375
17	100	1700	-1.41	-2.94	-2.175
18	100	1800	-1.595	-3.11	-2.3525
19	100	1900	-1.78	-3.27	-2.525
20	100	2000	-1.935	-3.43	-2.6825
21	100	2100	-2.11	-3.59	-2.85
22	100	2200	-2.3	-3.75	-3.025
23	100	2300	-2.445	-3.89	-3.1675
24	100	2400	-2.6	-4.03	-3.315
25	100	2500	-2.77	-4.2	-3.485
26	100	2600	-2.92	-4.33	-3.625

27	100	2700	-3.08	-4.47	-3.775
28	100	2800	-3.25	-4.62	-3.935
29	100	2900	-3.415	-4.77	-4.0925
30	100	3000	-3.58	-4.92	-4.25
31	100	3100	-3.71	-5.05	-4.38
32	100	3200	-3.895	-5.25	-4.5725
33	100	3300	-4.195	-5.53	-4.8625
34	100	3400	-5.085	-6.37	-5.7275
35	100	3438	-5.38	-6.69	-6.035
36	100	3632	-6.385	-7.69	-7.0375
37	100	3758	-7.405	-8.69	-8.0475
38	100	3902	-8.47	-9.69	-9.08
39	100	3986	-9.36	-10.69	-10.025
40	100	4032	-10.395	-11.69	-11.0425
41	100	4146	-11.37	-12.69	-12.03
42	100	4204	-12.385	-13.69	-13.0375
43	100	4234	-13.41	-14.69	-14.05
44	100	4146	-14.48	-15.69	-15.085
45	100	4226	-15.73	-16.69	-16.21
46	100	4234	-16.645	-17.69	-17.1675
47	100	4264	-17.725	-18.69	-18.2075
48	100	4202	-18.785	-19.69	-19.2375
49	100	4302	-19.965	-20.69	-20.3275
50	100	4294	-21.025	-21.69	-21.3575
51	100	4332	-22.235	-22.69	-22.4625
52	100	4302	-23.245	-23.69	-23.4675
53	100	4401	-24.345	-24.69	-24.5175
54	100	4402	-25.4	-25.69	-25.545
55	100	4346	-26.4	-26.69	-26.545
56	100	4400	-27.4	-27.69	-27.545
57	100	4450	-28.4	-28.69	-28.545
58	100	4498	-29.4	-29.69	-29.545
59	100	4588	-30.4	-30.69	-30.545
59	100	4534	-31.4	-31.69	-31.545



3. Balok dengan Serat Kawat *Interlocking* 1,8 cm

Nama Benda Uji : I.1,8.1

Tanggal Pembuatan : 1 Maret 2017

Tanggal Pengujian : 10 April 2017

Umur Beton : 40 hari

Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa

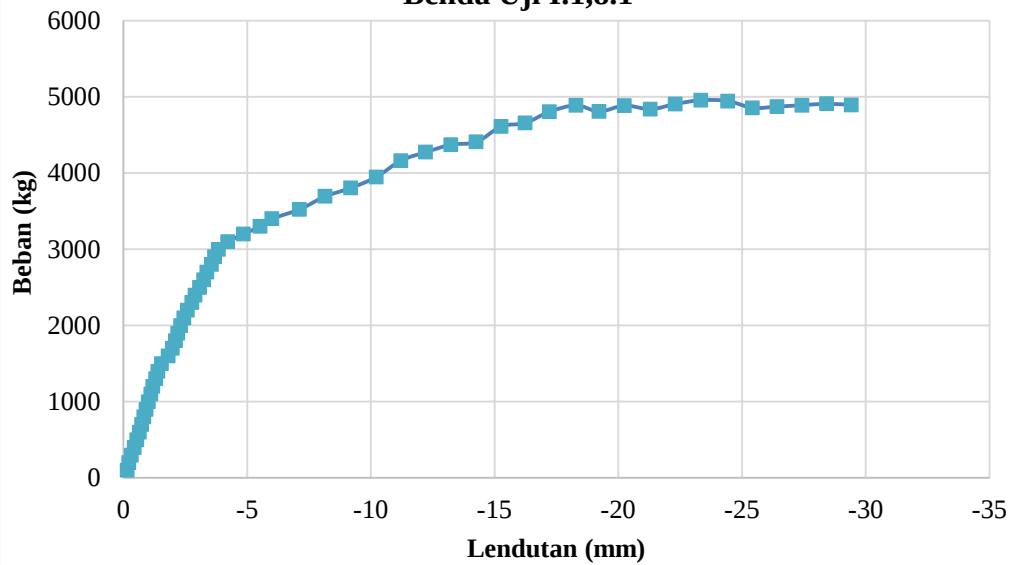
Mutu Beton Aktual : 30,21 Mpa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	-0.115	-0.2	-0.1575
2	100	200	-0.17	-0.29	-0.23
3	100	300	-0.245	-0.42	-0.3325
4	100	400	-0.34	-0.54	-0.44
5	100	500	-0.435	-0.65	-0.5425
6	100	600	-0.53	-0.77	-0.65
7	100	700	-0.61	-0.87	-0.74
8	100	800	-0.695	-0.97	-0.8325
9	100	900	-0.78	-1.07	-0.925
10	100	1000	-0.86	-1.16	-1.01
11	100	1100	-0.96	-1.27	-1.115
12	100	1200	-1.03	-1.37	-1.2
13	100	1300	-1.14	-1.49	-1.315
14	100	1400	-1.23	-1.58	-1.405
15	100	1500	-1.375	-1.72	-1.5475
16	100	1600	-1.62	-2.02	-1.82
17	100	1700	-1.78	-2.2	-1.99
18	100	1800	-1.905	-2.33	-2.1175
19	100	1900	-1.995	-2.42	-2.2075
20	100	2000	-2.11	-2.54	-2.325
21	100	2100	-2.225	-2.68	-2.4525
22	100	2200	-2.37	-2.82	-2.595
23	100	2300	-2.54	-3	-2.77
24	100	2400	-2.675	-3.14	-2.9075
25	100	2500	-2.845	-3.33	-3.0875



26	100	2600	-2.995	-3.5	-3.2475
27	100	2700	-3.13	-3.64	-3.385
28	100	2800	-3.3	-3.82	-3.56
29	100	2900	-3.43	-3.95	-3.69
30	100	3000	-3.595	-4.11	-3.8525
31	100	3100	-3.985	-4.47	-4.2275
32	100	3200	-4.625	-5.1	-4.8625
33	100	3300	-5.3	-5.75	-5.525
34	100	3400	-5.765	-6.26	-6.0125
35	100	3524	-6.84	-7.4	-7.12
36	100	3694	-7.92	-8.4	-8.16
37	100	3804	-8.975	-9.4	-9.1875
38	100	3948	-10.04	-10.4	-10.22
39	100	4164	-11.04	-11.4	-11.22
40	100	4274	-12.04	-12.4	-12.22
41	100	4372	-13.08	-13.4	-13.24
42	100	4408	-14.135	-14.4	-14.2675
43	100	4612	-15.15	-15.4	-15.275
44	100	4656	-16.07	-16.4	-16.235
45	100	4804	-17.04	-17.4	-17.22
46	100	4888	-18.185	-18.4	-18.2925
47	100	4808	-19.065	-19.4	-19.2325
48	100	4886	-20.095	-20.4	-20.2475
49	100	4838	-21.21	-21.4	-21.305
50	100	4906	-22.215	-22.4	-22.3075
51	100	4956	-23.275	-23.4	-23.3375
52	100	4945	-24.455	-24.4	-24.4275
53	100	4856	-25.455	-25.4	-25.4275
54	100	4872	-26.455	-26.4	-26.4275
55	100	4890	-27.455	-27.4	-27.4275
56	100	4908	-28.455	-28.4	-28.4275
57	100	4894	-29.455	-29.4	-29.4275

Hubungan Beban dan Lendutan
Benda Uji I.1,8.1

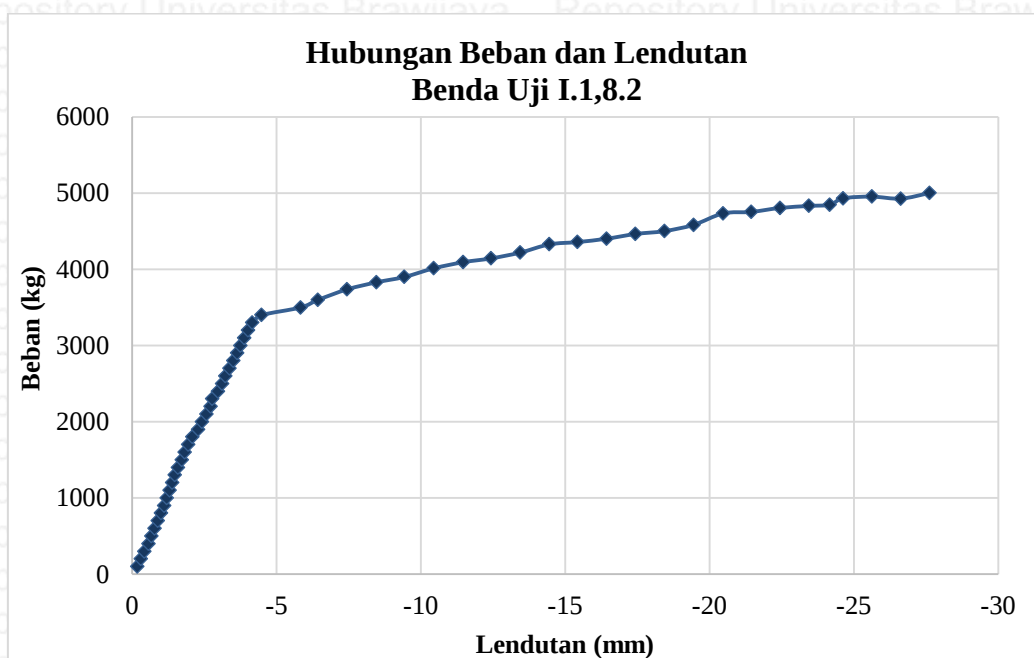


Nama Benda Uji : I.1,8.2
 Tanggal Pembuatan : 2 Maret 2017
 Tanggal Pengujian : 11 April 2017
 Umur Beton : 40 hari
 Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa
 Mutu Beton Aktual : 22,68 Mpa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	-0.1	-0.26	-0.18
2	100	200	-0.195	-0.41	-0.3025
3	100	300	-0.29	-0.56	-0.425
4	100	400	-0.415	-0.73	-0.5725
5	100	500	-0.495	-0.84	-0.6675
6	100	600	-0.595	-0.97	-0.7825
7	100	700	-0.695	-1.09	-0.8925
8	100	800	-0.795	-1.2	-0.9975
9	100	900	-0.895	-1.32	-1.1075
10	100	1000	-0.985	-1.42	-1.2025
11	100	1100	-1.08	-1.52	-1.3
12	100	1200	-1.16	-1.62	-1.39
13	100	1300	-1.25	-1.71	-1.48
14	100	1400	-1.36	-1.82	-1.59
15	100	1500	-1.495	-1.96	-1.7275
16	100	1600	-1.59	-2.06	-1.825
17	100	1700	-1.71	-2.18	-1.945
18	100	1800	-1.85	-2.33	-2.09
19	100	1900	-2.045	-2.53	-2.2875
20	100	2000	-2.185	-2.66	-2.4225
21	100	2100	-2.34	-2.81	-2.575
22	100	2200	-2.48	-2.97	-2.725
23	100	2300	-2.47	-3.09	-2.78
24	100	2400	-2.74	-3.22	-2.98
25	100	2500	-2.875	-3.36	-3.1175
26	100	2600	-2.99	-3.48	-3.235

27	100	2700	-3.125	-3.62	-3.3725
28	100	2800	-3.26	-3.75	-3.505
29	100	2900	-3.42	-3.86	-3.64
30	100	3000	-3.51	-4	-3.755
31	100	3100	-3.64	-4.14	-3.89
32	100	3200	-3.77	-4.27	-4.02
33	100	3300	-3.925	-4.41	-4.1675
34	100	3400	-4.235	-4.74	-4.4875
35	100	3500	-5.595	-6.08	-5.8375
36	100	3600	-6.2	-6.68	-6.44
37	100	3738	-7.22	-7.68	-7.45
38	100	3830	-8.245	-8.68	-8.4625
39	100	3900	-9.175	-9.68	-9.4275
40	100	4014	-10.225	-10.68	-10.4525
41	100	4094	-11.265	-11.68	-11.4725
42	100	4144	-12.195	-12.68	-12.4375
43	100	4220	-13.2	-13.68	-13.44
44	100	4328	-14.23	-14.68	-14.455
45	100	4358	-15.175	-15.68	-15.4275
46	100	4402	-16.185	-16.68	-16.4325
47	100	4464	-17.195	-17.68	-17.4375
48	100	4502	-18.2	-18.68	-18.44
49	100	4584	-19.22	-19.68	-19.45
50	100	4734	-20.26	-20.68	-20.47
51	100	4754	-21.225	-21.68	-21.4525
52	100	4806	-22.21	-22.68	-22.445
53	100	4832	-23.215	-23.68	-23.4475
54	100	4848	-23.655	-24.68	-24.1675
55	100	4932	-23.58	-25.68	-24.63
56	100	4954	-24.58	-26.68	-25.63
57	100	4928	-25.58	-27.68	-26.63
58	100	5002	-26.58	-28.68	-27.63
59	100	4988	-27.58	-29.68	-28.63
60	100	5000	-28.58	-30.68	-29.63
61	100	4794	-29.58	-31.68	-30.63

62	100	4884	-30.58	-32.68	-31.63
63	100	4938	-31.58	-33.68	-32.63
64	100	4882	-32.58	-34.68	-33.63



Nama Benda Uji : I.1,8.3

Tanggal Pembuatan : 2 Maret 2017

Tanggal Pengujian : 11 April 2017

Umur Beton : 40 hari

Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa

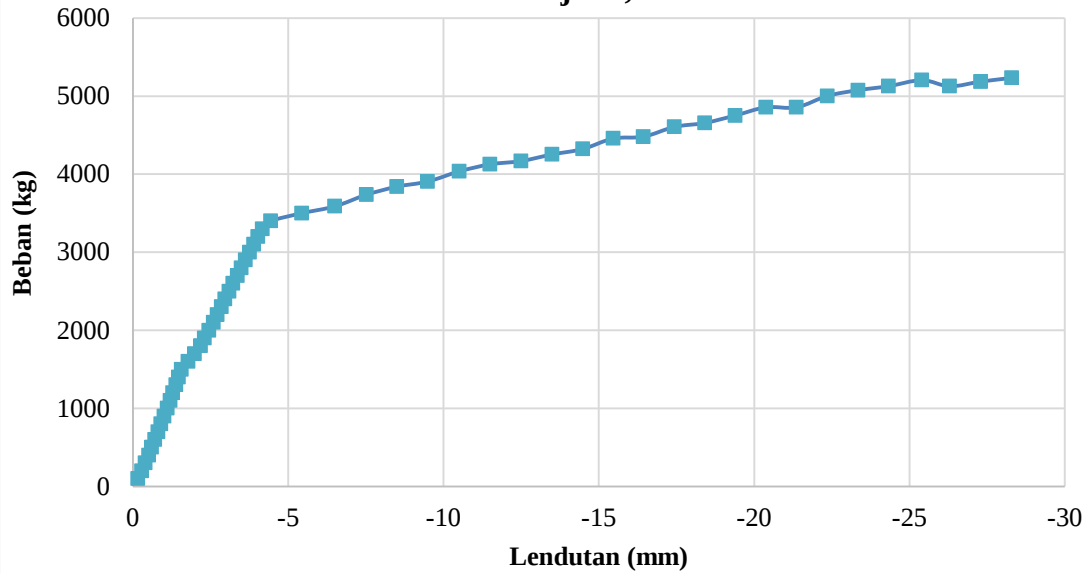
Mutu Beton Aktual : 32,07 Mpa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata
			Titik 1	Titik 2	mm
1	100	100	-0.095	-0.24	-0.1675
2	100	200	-0.19	-0.39	-0.29
3	100	300	-0.275	-0.53	-0.4025
4	100	400	-0.38	-0.65	-0.515
5	100	500	-0.46	-0.76	-0.61
6	100	600	-0.555	-0.87	-0.7125
7	100	700	-0.65	-0.98	-0.815
8	100	800	-0.735	-1.08	-0.9075
9	100	900	-0.845	-1.17	-1.0075
10	100	1000	-0.94	-1.28	-1.11
11	100	1100	-1.03	-1.37	-1.2
12	100	1200	-1.115	-1.46	-1.2875
13	100	1300	-1.21	-1.56	-1.385
14	100	1400	-1.31	-1.63	-1.47
15	100	1500	-1.405	-1.73	-1.5675
16	100	1600	-1.62	-1.94	-1.78
17	100	1700	-1.83	-2.15	-1.99
18	100	1800	-2.02	-2.35	-2.185
19	100	1900	-2.15	-2.47	-2.31
20	100	2000	-2.3	-2.6	-2.45
21	100	2100	-2.445	-2.75	-2.5975
22	100	2200	-2.565	-2.87	-2.7175
23	100	2300	-2.7	-3	-2.85
24	100	2400	-2.815	-3.11	-2.9625
25	100	2500	-2.96	-3.24	-3.1
26	100	2600	-3.07	-3.38	-3.225

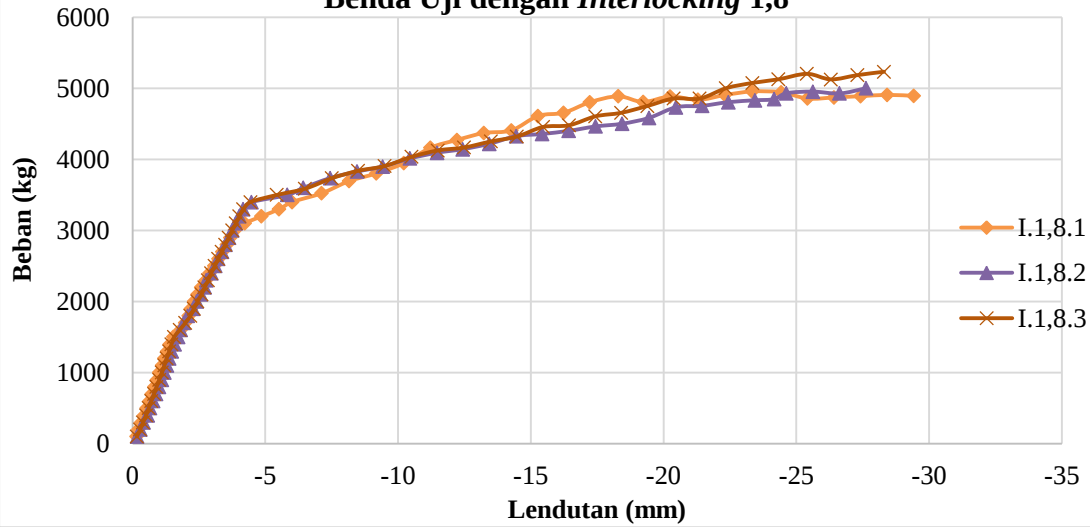


27	100	2700	-3.215	-3.52	-3.3675
28	100	2800	-3.35	-3.64	-3.495
29	100	2900	-3.475	-3.77	-3.6225
30	100	3000	-3.63	-3.88	-3.755
31	100	3100	-3.75	-4.04	-3.895
32	100	3200	-3.88	-4.17	-4.025
33	100	3300	-4.03	-4.32	-4.175
34	100	3400	-4.325	-4.56	-4.4425
35	100	3500	-5.345	-5.53	-5.4375
36	100	3588	-6.355	-6.65	-6.5025
37	100	3736	-7.38	-7.65	-7.515
38	100	3840	-8.345	-8.65	-8.4975
39	100	3906	-9.335	-9.65	-9.4925
40	100	4036	-10.365	-10.65	-10.5075
41	100	4126	-11.345	-11.65	-11.4975
42	100	4168	-12.335	-12.65	-12.4925
43	100	4253	-13.35	-13.65	-13.5
44	100	4322	-14.315	-14.65	-14.4825
45	100	4457	-15.27	-15.65	-15.46
46	100	4480	-16.225	-16.65	-16.4375
47	100	4606	-17.22	-17.65	-17.435
48	100	4656	-18.165	-18.65	-18.4075
49	100	4752	-19.135	-19.65	-19.3925
50	100	4857	-20.11	-20.65	-20.38
51	100	4856	-21.075	-21.65	-21.3625
52	100	5002	-22.055	-22.65	-22.3525
53	100	5076	-23.04	-23.65	-23.345
54	100	5127	-23.995	-24.65	-24.3225
55	100	5204	-25.15	-25.65	-25.4
56	100	5126	-25.945	-26.65	-26.2975
57	100	5186	-26.945	-27.65	-27.2975
58	100	5234	-27.945	-28.65	-28.2975
59	100	5186	-28.945	-29.65	-29.2975
60	100	5167	-29.945	-30.65	-30.2975

Hubungan Beban dan Lendutan
Benda Uji I.1,8.3



Hubungan Beban dan Lendutan
Benda Uji dengan Interlocking 1,8



4. Balok Normal

Nama Benda Uji : Normal 1

Tanggal Pembuatan : 23 Februari 2017

Tanggal Pengujian : 4 April 2017

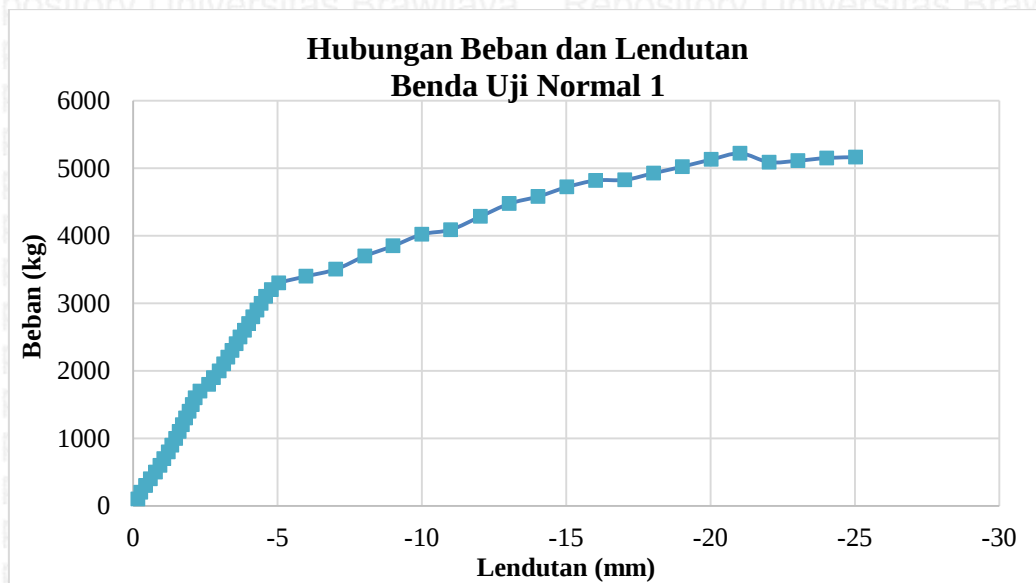
Umur Beton : 40 hari

Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa

Mutu Beton Aktual : 32,75 Mpa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	-0.03	-0.3	-0.165
2	100	200	-0.1	-0.43	-0.265
3	100	300	-0.255	-0.62	-0.4375
4	100	400	-0.41	-0.8	-0.605
5	100	500	-0.57	-0.98	-0.775
6	100	600	-0.725	-1.14	-0.9325
7	100	700	-0.86	-1.28	-1.07
8	100	800	-1	-1.44	-1.22
9	100	900	-1.125	-1.57	-1.3475
10	100	1000	-1.245	-1.71	-1.4775
11	100	1100	-1.365	-1.84	-1.6025
12	100	1200	-1.47	-1.96	-1.715
13	100	1300	-1.575	-2.08	-1.8275
14	100	1400	-1.685	-2.2	-1.9425
15	100	1500	-1.795	-2.31	-2.0525
16	100	1600	-1.9	-2.42	-2.16
17	100	1700	-2.065	-2.57	-2.3175
18	100	1800	-2.36	-2.89	-2.625
19	100	1900	-2.52	-3.05	-2.785
20	100	2000	-2.72	-3.26	-2.99
21	100	2100	-2.86	-3.42	-3.14
22	100	2200	-3.005	-3.56	-3.2825
23	100	2300	-3.15	-3.71	-3.43
24	100	2400	-3.29	-3.85	-3.57
25	100	2500	-3.425	-4	-3.7125

26	100	2600	-3.58	-4.14	-3.86
27	100	2700	-3.725	-4.29	-4.0075
28	100	2800	-3.87	-4.43	-4.15
29	100	2900	-4.015	-4.57	-4.2925
30	100	3000	-4.165	-4.71	-4.4375
31	100	3100	-4.325	-4.87	-4.5975
32	100	3200	-4.53	-5.06	-4.795
33	100	3300	-4.785	-5.31	-5.0475
34	100	3400	-5.74	-6.24	-5.99
35	100	3504	-6.785	-7.26	-7.0225
36	100	3700	-7.795	-8.26	-8.0275
37	100	3850	-8.755	-9.26	-9.0075
38	100	4022	-9.755	-10.26	-10.0075
39	100	4090	-10.745	-11.26	-11.0025
40	100	4286	-11.805	-12.26	-12.0325
41	100	4476	-12.805	-13.26	-13.0325
42	100	4582	-13.805	-14.26	-14.0325
43	100	4722	-14.805	-15.26	-15.0325
44	100	4820	-15.805	-16.26	-16.0325
45	100	4828	-16.805	-17.26	-17.0325
46	100	4928	-17.805	-18.26	-18.0325
47	100	5024	-18.805	-19.26	-19.0325
48	100	5130	-19.805	-20.26	-20.0325
49	100	5220	-20.805	-21.26	-21.0325
50	100	5090	-21.805	-22.26	-22.0325
51	100	5112	-22.805	-23.26	-23.0325
52	100	5152	-23.805	-24.26	-24.0325
53	100	5164	-24.805	-25.26	-25.0325



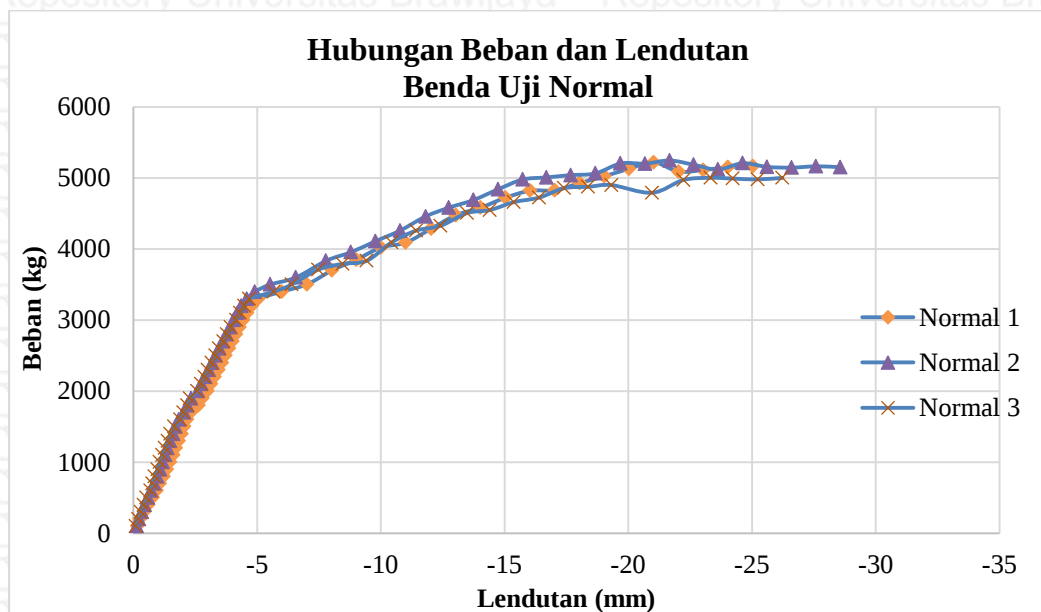
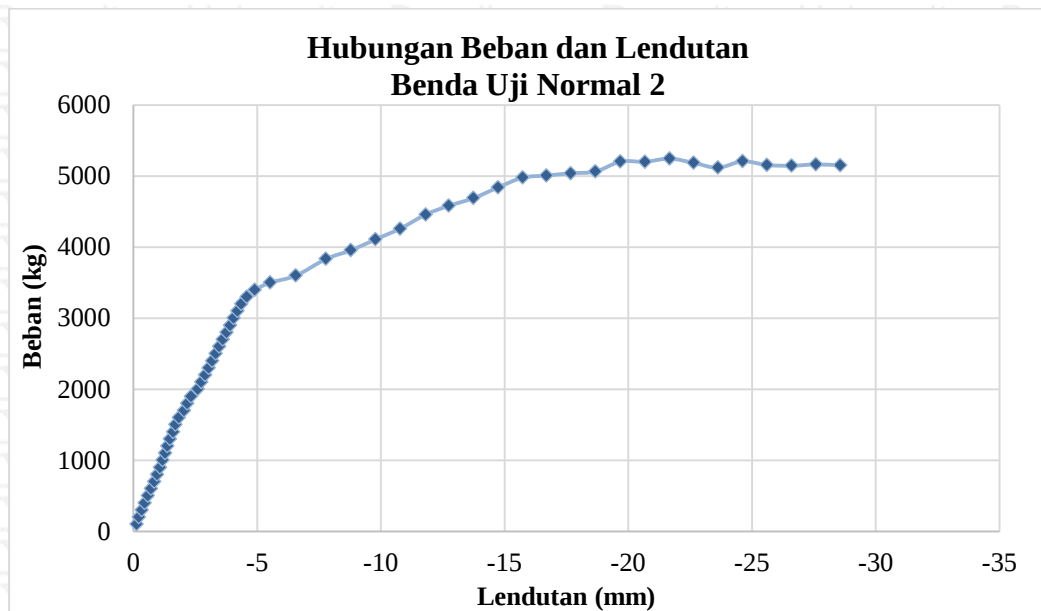
Nama Benda Uji : Normal 2
 Tanggal Pembuatan : 24 Februari 2017
 Tanggal Pengujian : 6 April 2017
 Umur Beton : 41 hari
 Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa
 Mutu Beton Aktual : 12,44 Mpa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	0.165	-0.43	-0.1325
2	100	200	0.145	-0.59	-0.2225
3	100	300	0.065	-0.74	-0.3375
4	100	400	-0.025	-0.89	-0.4575
5	100	500	-0.145	-1.04	-0.5925
6	100	600	-0.24	-1.19	-0.715
7	100	700	-0.35	-1.34	-0.845
8	100	800	-0.44	-1.49	-0.965
9	100	900	-0.535	-1.62	-1.0775
10	100	1000	-0.64	-1.73	-1.185
11	100	1100	-0.735	-1.83	-1.2825
12	100	1200	-0.815	-1.93	-1.3725
13	100	1300	-0.92	-2.04	-1.48
14	100	1400	-1.045	-2.17	-1.6075
15	100	1500	-1.135	-2.26	-1.6975
16	100	1600	-1.285	-2.41	-1.8475
17	100	1700	-1.475	-2.61	-2.0425
18	100	1800	-1.61	-2.74	-2.175
19	100	1900	-1.77	-2.89	-2.33
20	100	2000	-2.03	-3.18	-2.605
21	100	2100	-2.185	-3.31	-2.7475
22	100	2200	-2.34	-3.47	-2.905
23	100	2300	-2.48	-3.6	-3.04
24	100	2400	-2.625	-3.76	-3.1925
25	100	2500	-2.76	-3.89	-3.325



26	100	2600	-2.915	-4.03	-3.4725
27	100	2700	-3.045	-4.18	-3.6125
28	100	2800	-3.195	-4.34	-3.7675
29	100	2900	-3.34	-4.48	-3.91
30	100	3000	-3.485	-4.63	-4.0575
31	100	3100	-3.63	-4.78	-4.205
32	100	3200	-3.8	-4.94	-4.37
33	100	3300	-4.025	-5.15	-4.5875
34	100	3400	-4.375	-5.45	-4.9125
35	100	3500	-4.96	-6.09	-5.525
36	100	3600	-6.02	-7.12	-6.57
37	100	3834	-7.2	-8.37	-7.785
38	100	3956	-8.215	-9.37	-8.7925
39	100	4110	-9.195	-10.37	-9.7825
40	100	4260	-10.185	-11.37	-10.7775
41	100	4459	-11.255	-12.37	-11.8125
42	100	4582	-12.13	-13.37	-12.75
43	100	4690	-13.12	-14.37	-13.745
44	100	4840	-14.1	-15.37	-14.735
45	100	4978	-15.09	-16.37	-15.73
46	100	5008	-16.015	-17.37	-16.6925
47	100	5040	-16.985	-18.37	-17.6775
48	100	5064	-17.975	-19.37	-18.6725
49	100	5204	-19.005	-20.37	-19.6875
50	100	5202	-19.98	-21.37	-20.675
51	100	5246	-20.98	-22.37	-21.675
52	100	5186	-21.93	-23.37	-22.65
53	100	5118	-22.875	-24.37	-23.6225
54	100	5208	-23.87	-25.37	-24.62
55	100	5156	-24.835	-26.37	-25.6025
56	100	5146	-25.825	-27.37	-26.5975
57	100	5164	-26.805	-28.37	-27.5875
58	100	5152	-27.775	-29.37	-28.5725
59	100	5108	-28.735	-30.37	-29.5525

60	100	5130	-29.69	-31.37	-30.53
61	100	5146	-30.695	-32.37	-31.5325
62	100	5156	-31.71	-33.37	-32.54
63	100	5134	-32.595	-34.37	-33.4825

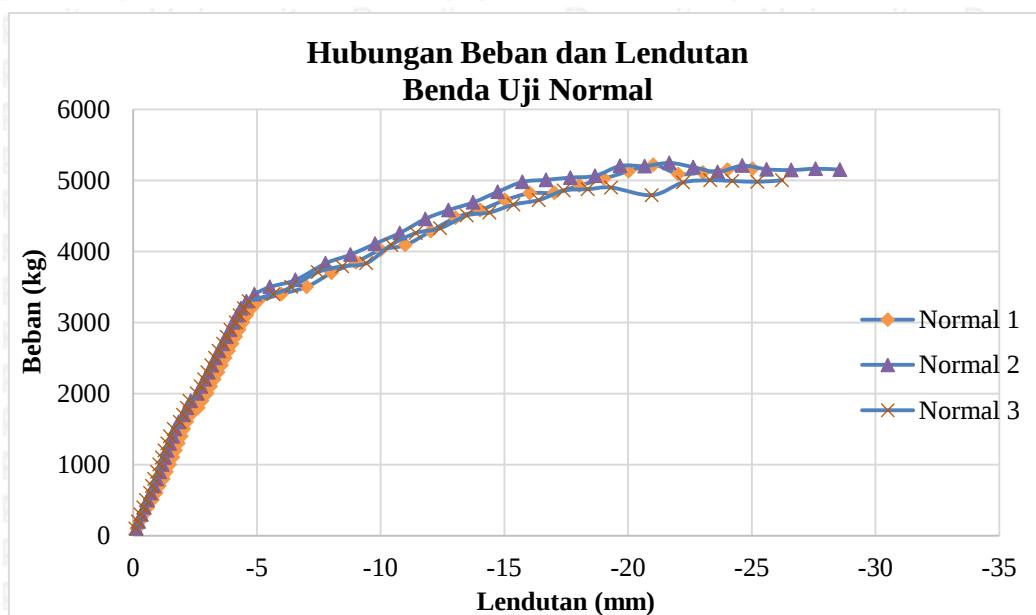
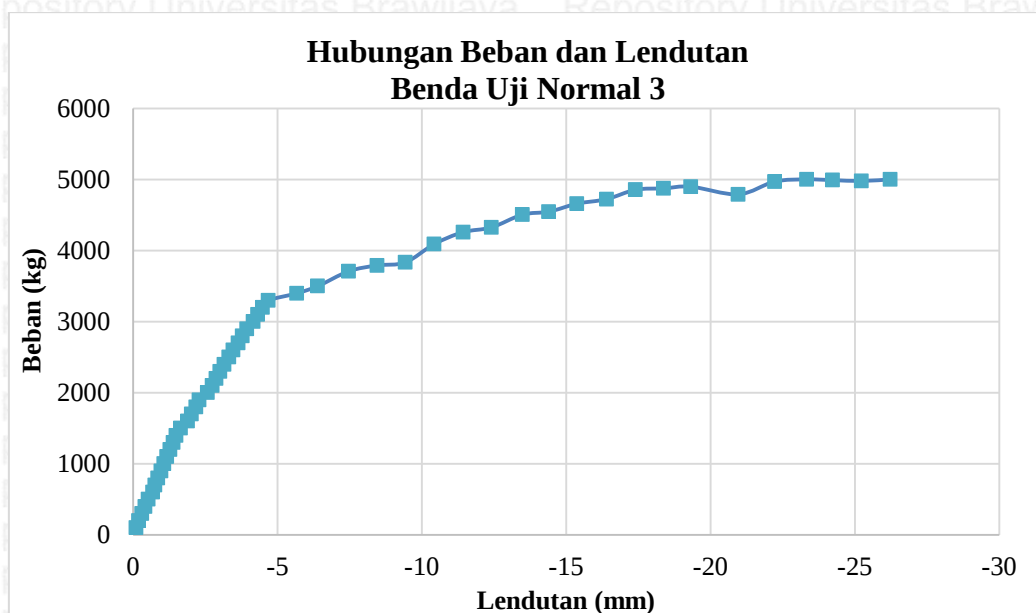




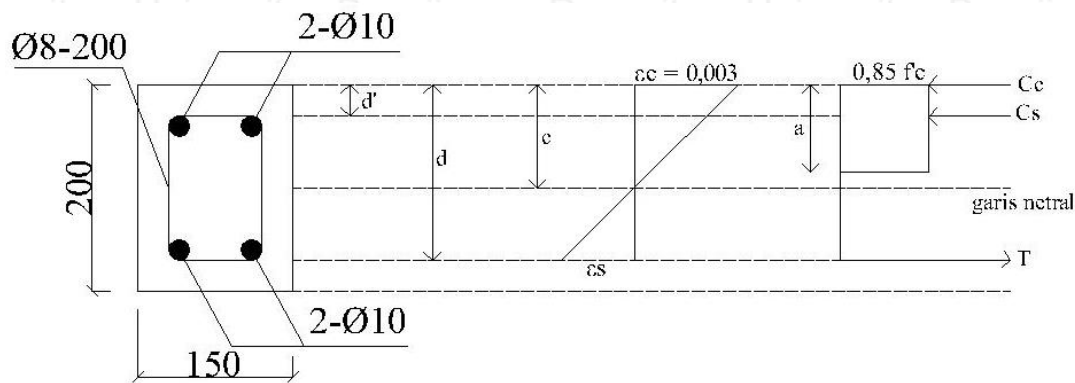
Nama Benda Uji : Normal 3
Tanggal Pembuatan : 23 Februari 2017
Tanggal Pengujian : 5 April 2017
Umur Beton : 41 hari
Mutu Beton Rencana : 21,7 MPa
Mutu Beton Aktual : 33,03 Mpa

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
1	100	100	0	-0.2	-0.1
2	100	200	-0.075	-0.32	-0.1975
3	100	300	-0.165	-0.45	-0.3075
4	100	400	-0.26	-0.57	-0.415
5	100	500	-0.36	-0.69	-0.525
6	100	600	-0.51	-0.86	-0.685
7	100	700	-0.585	-0.94	-0.7625
8	100	800	-0.675	-1.05	-0.8625
9	100	900	-0.785	-1.16	-0.9725
10	100	1000	-0.87	-1.26	-1.065
11	100	1100	-0.965	-1.37	-1.1675
12	100	1200	-1.07	-1.48	-1.275
13	100	1300	-1.18	-1.59	-1.385
14	100	1400	-1.28	-1.7	-1.49
15	100	1500	-1.455	-1.83	-1.6425
16	100	1600	-1.66	-2.12	-1.89
17	100	1700	-1.795	-2.26	-2.0275
18	100	1800	-1.935	-2.43	-2.1825
19	100	1900	-2.045	-2.53	-2.2875
20	100	2000	-2.34	-2.81	-2.575
21	100	2100	-2.51	-2.97	-2.74
22	100	2200	-2.655	-3.1	-2.8775
23	100	2300	-2.79	-3.22	-3.005
24	100	2400	-2.94	-3.37	-3.155

25	100	2500	-3.1	-3.53	-3.315
26	100	2600	-3.25	-3.68	-3.465
27	100	2700	-3.425	-3.85	-3.6375
28	100	2800	-3.58	-3.98	-3.78
29	100	2900	-3.735	-4.14	-3.9375
30	100	3000	-3.96	-4.36	-4.16
31	100	3100	-4.12	-4.51	-4.315
32	100	3200	-4.29	-4.68	-4.485
33	100	3300	-4.49	-4.87	-4.68
34	100	3400	-5.48	-5.87	-5.675
35	100	3500	-6.19	-6.6	-6.395
36	100	3709	-7.285	-7.65	-7.4675
37	100	3792	-8.26	-8.65	-8.455
38	100	3834	-9.205	-9.65	-9.4275
39	100	4092	-10.21	-10.65	-10.43
40	100	4260	-11.215	-11.65	-11.4325
41	100	4326	-12.17	-12.65	-12.41
42	100	4506	-13.315	-13.65	-13.4825
43	100	4548	-14.155	-14.65	-14.4025
44	100	4660	-15.1	-15.65	-15.375
45	100	4724	-16.15	-16.65	-16.4
46	100	4856	-17.155	-17.65	-17.4025
47	100	4876	-18.11	-18.65	-18.38
48	100	4900	-18.99	-19.65	-19.32
49	100	4792	-21.27	-20.65	-20.96
50	100	4972	-22.805	-21.65	-22.2275
51	100	5002	-24.01	-22.65	-23.33
52	100	4992	-24.805	-23.65	-24.2275
53	100	4980	-25.815	-24.65	-25.2325
54	100	5002	-26.805	-25.65	-26.2275



Lampiran 9. Perhitungan Beban Maksimum Teoritis



Diketahui :

$$l = 100 \text{ cm}$$

$$b = 15 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$f'_c = 33.03 \text{ MPa}$$

$$f_y = 318 \text{ MPa} = 3180 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{selimut beton} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - (d.\text{tul tarik}/2 + d.\text{senggang} + \text{tebal selimut}) = 20 - (1/2 + 0,8 + 3) = 15,7 \text{ cm}$$

$$d' = 20 - d = 4,3 \text{ cm}$$

$$q = 0,15 \times 0,2 \times 2400 = 72 \text{ kg/m} = 0,72 \text{ kg/cm}$$

$$A_s = A_s' = 2-\text{Ø}10 \text{ (157 mm}^2\text{)}$$

$$\beta = 0,828$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1,57}{15 \cdot 20} = 0,0067$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{318} = 0,0044$$

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

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(0,85 \cdot \frac{21,7}{240} \cdot 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 240} \right) = 0,0358$$

→ $\rho_{\min} > \rho > \rho_{\max}$, sesuai dengan asumsi awal, balok mengalami kondisi *under-reinforced*.

Menentukan Kapasitas Momen :

Asumsi awal : Baja tarik sudah leleh, $f_s = f_y$

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

$$C = T$$

$$C_c + C_s = T$$

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



$$0.85 \cdot f'c \cdot b \cdot a + A_s \cdot \epsilon_s \cdot \frac{\frac{a}{0.85} - d'}{\frac{a}{0.85}} \cdot E_s = A_s \cdot f_y$$

$$0.85 \cdot 33,03 \cdot 150 \cdot a + 157,0 \cdot 003 \cdot \frac{1,18a - 43}{1,18a} \cdot 200000 = 157 \cdot 318$$

$$4211,33a + 94200 \cdot \frac{1,18a - 43}{1,18a} = 49926$$

$$4211,33a + 94200 - \frac{3432711,864}{a} = 49926$$

$$4211,33a^2 + 44274a - 3432711,86 = 0$$

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

$$a_1 = \frac{-44274 + \sqrt{(44274)^2 - 4(4211,33)(-3432711,86)}}{2(4211,33)} = 23,774$$

$$a_1 = \frac{-44274 - \sqrt{(44274)^2 - 4(4211,33)(-3432711,86)}}{2(4211,33)} = -34,287$$

Maka digunakan $a = 23,774 \text{ mm}$

$$\text{Maka, } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{23,774}{0,828} = 28,7 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$\text{- Regangan baja tarik } (\epsilon_s) = \epsilon_c \cdot \frac{d-c}{c} = 0,003 \cdot \frac{157-28,7}{28,7} = 0,01341$$

$$\text{Tegangan baja tarik } (f_s) = \epsilon_s \cdot E_s = 0,01341 \times 200000 = 2682 \text{ MPa}$$

$2682 \text{ MPa} > 318 \text{ MPa} \rightarrow$ Baja tarik sudah leleh (sesuai asumsi)

$$\text{- Regangan baja tarik } (\epsilon_s) = \epsilon_c \cdot \frac{d'-c}{c} = 0,003 \cdot \frac{43-28,7}{28,7} = 0,00149$$

$$\text{Tegangan baja tarik } (f_s) = \epsilon_s \cdot E_s = 0,00149 \times 200000 = 298 \text{ MPa}$$

$298 \text{ MPa} < 318 \text{ MPa} \rightarrow$ Baja tekan belum leleh (sesuai asumsi)

Perhitungan momen nominal penampang dengan tulangan tekan sebagai tulangan semu :

- Momen lentur nominal

$$M_n = C_c \cdot (d - a/2)$$

$$= 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2)$$

$$= 0.85 \cdot 33,03 \cdot 150 \cdot 23,774 \cdot (157 - 23,774/2)$$

$$= 14528462,32 \text{ Nmm} = 1452,85 \text{ kgm}$$

- Beban Terpusat yang dapat dipakai dalam desain

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

$$1452,85 = (\frac{1}{4} \cdot P \cdot 1) + (\frac{1}{8} \cdot 72 \cdot 1^2)$$

$$1452,85 = \frac{1}{4} P + 9$$

$$P = 5775,39 \text{ kg}$$

Lampiran 10. Perhitungan Lendutan Teoritis

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 15 \cdot 20^3 = 10000 \text{ cm}^4$$

$$f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f'_c} = 0,7 \cdot \sqrt{33,03} = 12,7219$$

$$y_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ cm}$$

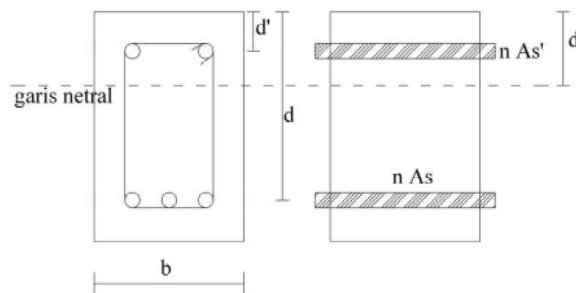
$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{12,7219 \cdot 10000}{10} = 12721,91 \text{ kgcm}$$

$$E_{\text{baja}} = 200000 \text{ Mpa}$$

$$E_{\text{beton}} = 27011,71 \text{ Mpa}$$

$$n = E_{\text{baja}} / E_{\text{beton}} = 7,404$$

Letak garis netral (y) ditentukan sebagai berikut :



Gambar 4.3 Penampang Transformasi

Kedudukan Garis Netral:

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

$$\frac{1}{2} \cdot 15 \cdot y^2 + 7,404 \cdot 1,57 \cdot y - 7,404 \cdot 1,57 \cdot 4,3 - 7,404 \cdot 1,57 \cdot 15,7 + 7,404 \cdot 1,57 \cdot y = 0$$

$$7,5y^2 + 23,249y - 232,492 = 0$$

$$\text{Didapatkan } y_1 = 4,229 \text{ cm dan } y_2 = -7,329 \text{ cm}$$

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

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot 15 \cdot 4,229^3 + 7,404 \cdot 1,57 \cdot (15,7 - 4,229)^2 + 7,404 \cdot 1,57 \cdot (4,229 - 4,3)^2$$

$$I_{cr} = 1907,833 \text{ cm}^4$$

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

$$I_e = \left(\frac{12721,91}{145285} \right)^3 \times 10000 + \left(1 - \left(\frac{12721,91}{145285} \right)^3 \right) \times 1907,833$$

$$I_e = 1913,26 \text{ cm}^4$$

Lendutan akibat beban terpusat setelah retak:

$$\Delta_1 = \frac{Pl^3}{48E_c I_e} = \frac{5775,38 \cdot 100^3}{48 \cdot 27011,71 \cdot 1913,26} = 2,328 \text{ cm}$$

$$\Delta_2 = \frac{5ql^4}{384E_c I_e} = \frac{5 \cdot 0,72 \cdot 100^4}{384 \cdot 27011,71 \cdot 1913,26} = 0,018 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{maks}} = \Delta_1 + \Delta_2 = 2,328 + 0,018 = 2,346 \text{ cm}$$

Lampiran 12. Perhitungan Kekakuan Teoritis

Kekakuan teoritis balok dengan panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm:

$$k_1 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_1 = \frac{5661,46 \text{ kg}}{2,31}$$

$$k_1 = 2453,3432 \text{ kg/mm}$$

Kekakuan teoritis balok dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm:

$$k_1 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_1 = \frac{5707,01 \text{ kg}}{2,32}$$

$$k_1 = 2456,6195 \text{ kg/mm}$$

Kekakuan teoritis balok dengan panjang kait (*interlocking*) 1,8 cm:

$$k_1 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_1 = \frac{5669,25 \text{ kg}}{2,31}$$

$$k_1 = 2453,9066 \text{ kg/mm}$$

Kekakuan teoritis balok normal:

$$k_1 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_1 = \frac{5775,38 \text{ kg}}{2,35}$$

$$k_1 = 2461,4895 \text{ kg/mm}$$



Lampiran 12. Perhitungan Kekakuan Teoritis dengan $P = 1000 \text{ kg}$

Kekakuan teoritis balok dengan panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm:

$$k_1 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_1 = \frac{1000 \text{ kg}}{0,4226}$$

$$k_1 = 2366,36 \text{ kg/mm}$$

Kekakuan teoritis balok dengan panjang kait (*interlocking*) 1,2 cm:

$$k_1 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_1 = \frac{1000 \text{ kg}}{0,4220}$$

$$k_1 = 2369,37 \text{ kg/mm}$$

Kekakuan teoritis balok dengan panjang kait (*interlocking*) 1,8 cm:

$$k_1 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_1 = \frac{1000 \text{ kg}}{0,4225}$$

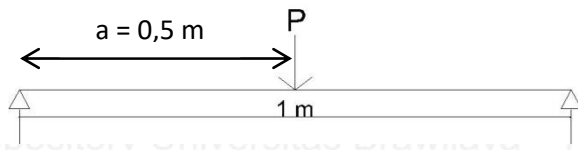
$$k_1 = 2366,88 \text{ kg/mm}$$

Kekakuan teoritis balok normal:

$$k_1 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_1 = \frac{1000 \text{ kg}}{0,4212}$$

$$k_1 = 2373,85 \text{ kg/mm}$$

Lampiran 13. Keruntuhan Geser Teoritis

$$d = h - d'$$

$$d = 0,2 - 0,03$$

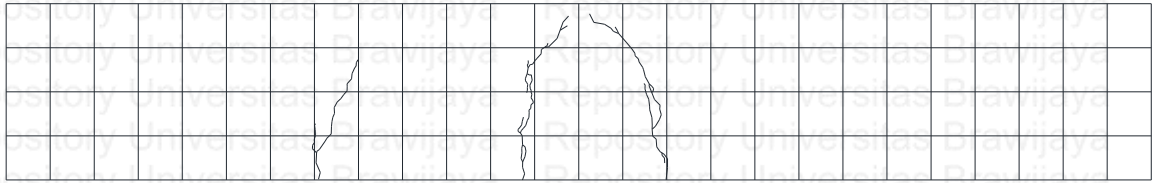
$$d = 0,17 \text{ m}$$

$$a/d = 0,5 / 0,17$$

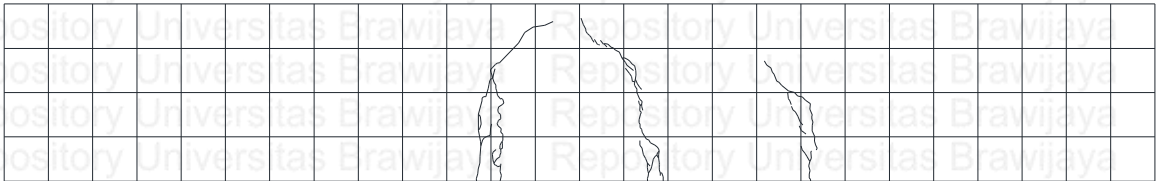
$$a/d = 2,941$$

Balok dengan $2,5 < a/d < 6$, dengan kekuatan geser sama dengan besar kapasitas keretakan miring, retak lentur mulai bersifat dominan, dan keruntuhan geser sering dimulai dengan retak lentur murni yang vertikal di tengah bentang aka semakin miring jika semakin dekat ke perletakan yang tegangan gesernya semakin besar.

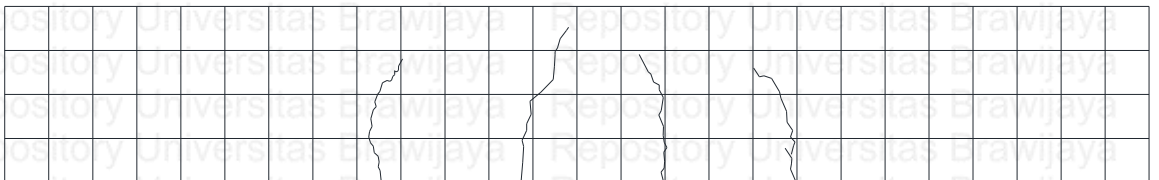
Lampiran 14. Hasil Pola Retak



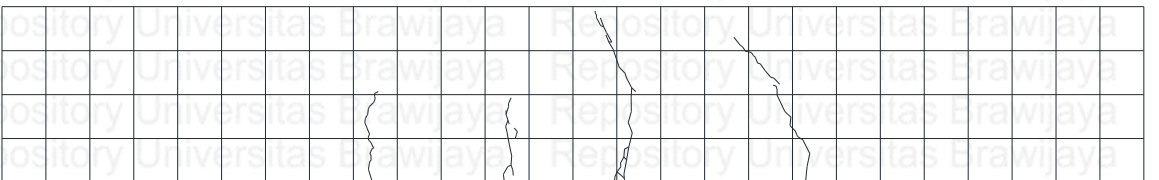
Gambar 1. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji I.0,6.1



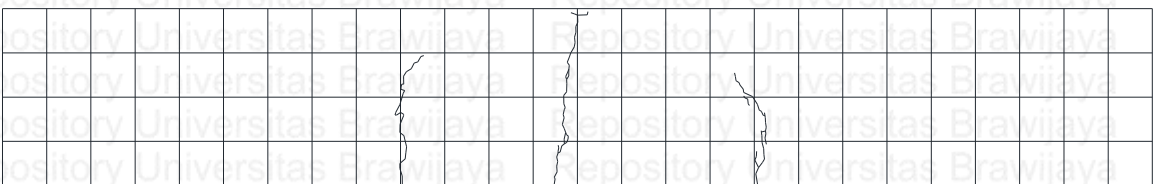
Gambar 2. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji I.0,6.1



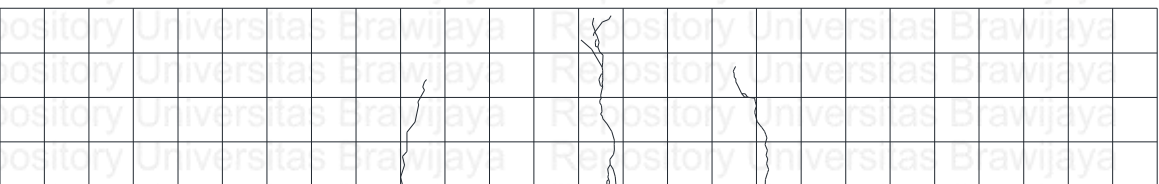
Gambar 3. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji I.1,2.1



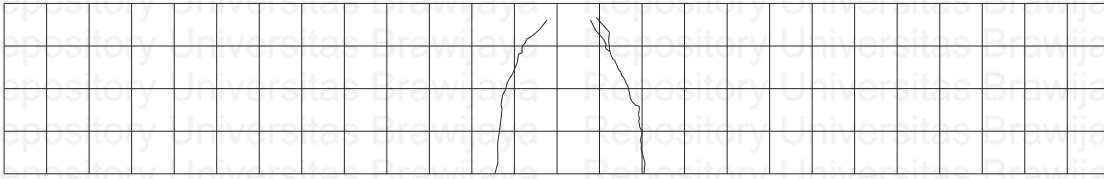
Gambar 4. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji I.1,2.1



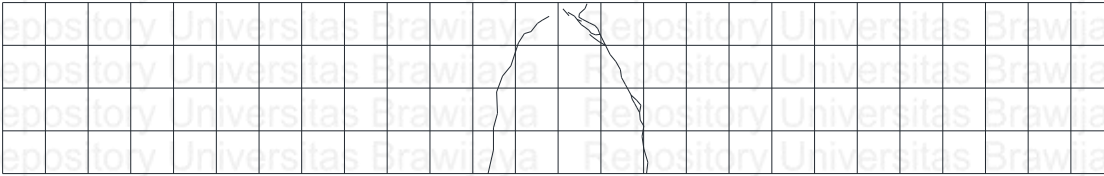
Gambar 5. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji I.1,8.1



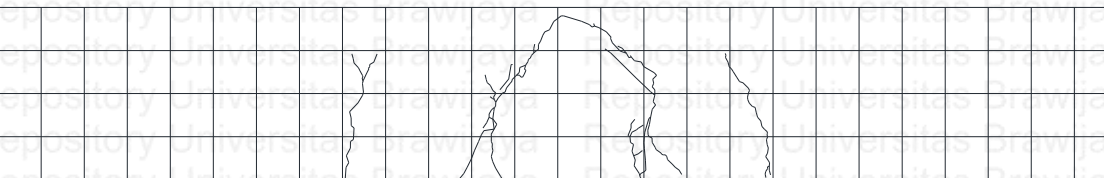
Gambar 6. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji I.1,8.1



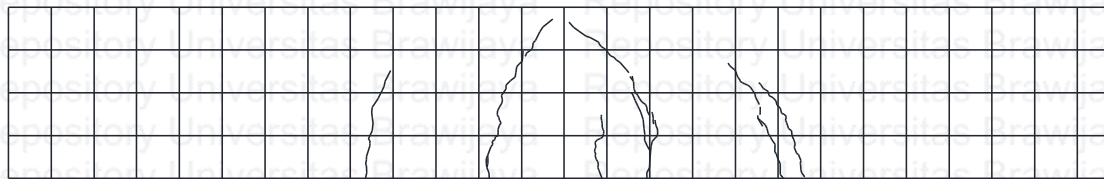
Gambar 7. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji N.1



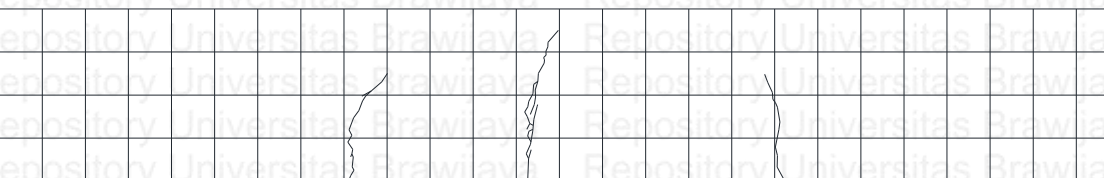
Gambar 8. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji N.1



Gambar 9. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji I.0,6,2



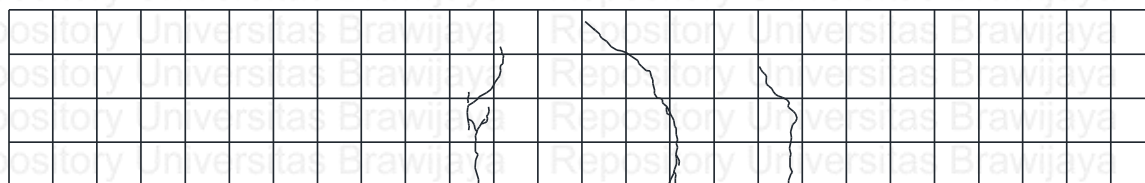
Gambar 10. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji I.0,6,2



Gambar 11. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji I.1,2,2



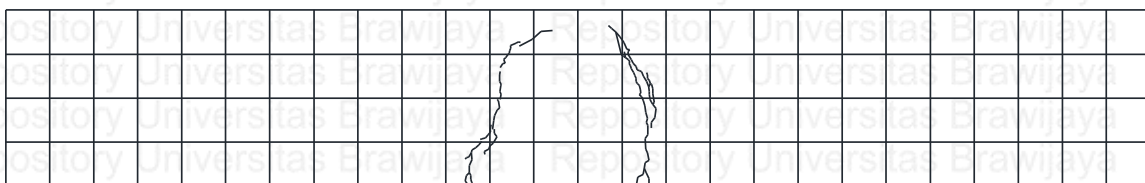
Gambar 12. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji I.1,2,2



Gambar 13. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji I.1,8.2



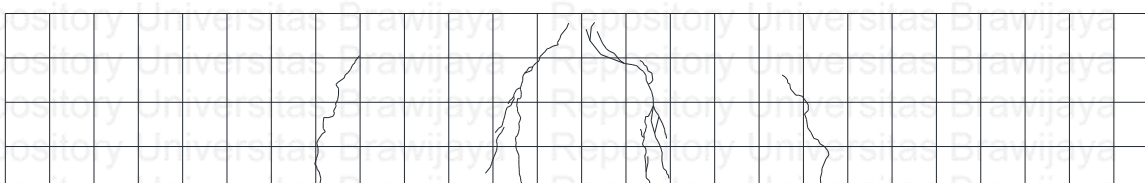
Gambar 14. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji I.1,8.2



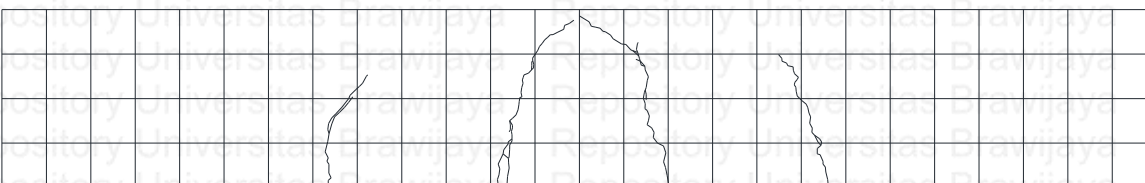
Gambar 15. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji N.2



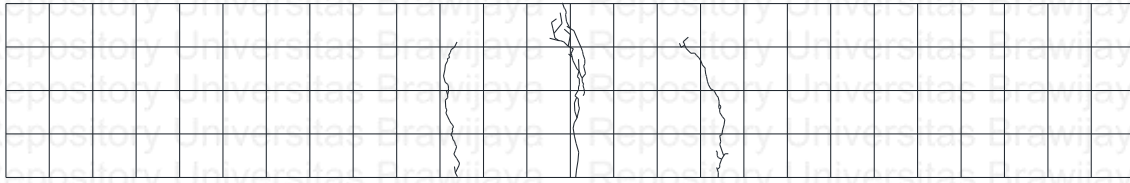
Gambar 16. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji N.2



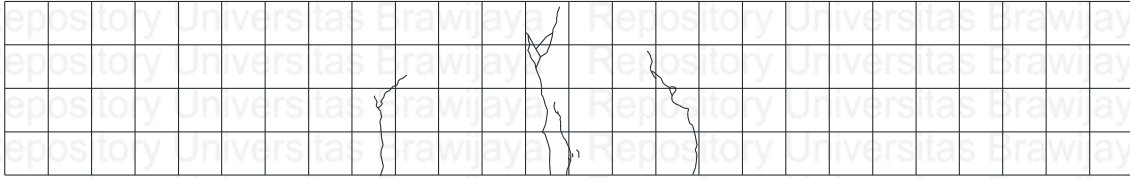
Gambar 17. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji I.0,6.3



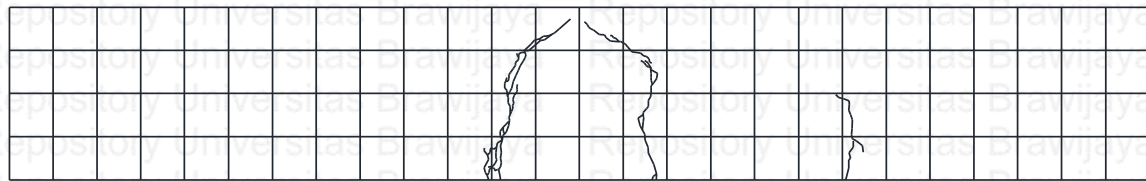
Gambar 18. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji I.0,6.3



Gambar 19. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji I.1,2,3



Gambar 20. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji I.1,2,3



Gambar 21. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji I.1,8,3



Gambar 22. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji I.1,8,3



Gambar 23. Tampak Depan Pola Retak Benda Uji N.3



Gambar 24. Tampak Belakang Pola Retak Benda Uji N.3

Lampiran 15. Gambar Pengecoran



Gambar 1. Persiapan Pengecoran



Gambar 2. Bekisting Balok



Gambar 3. Test Slump

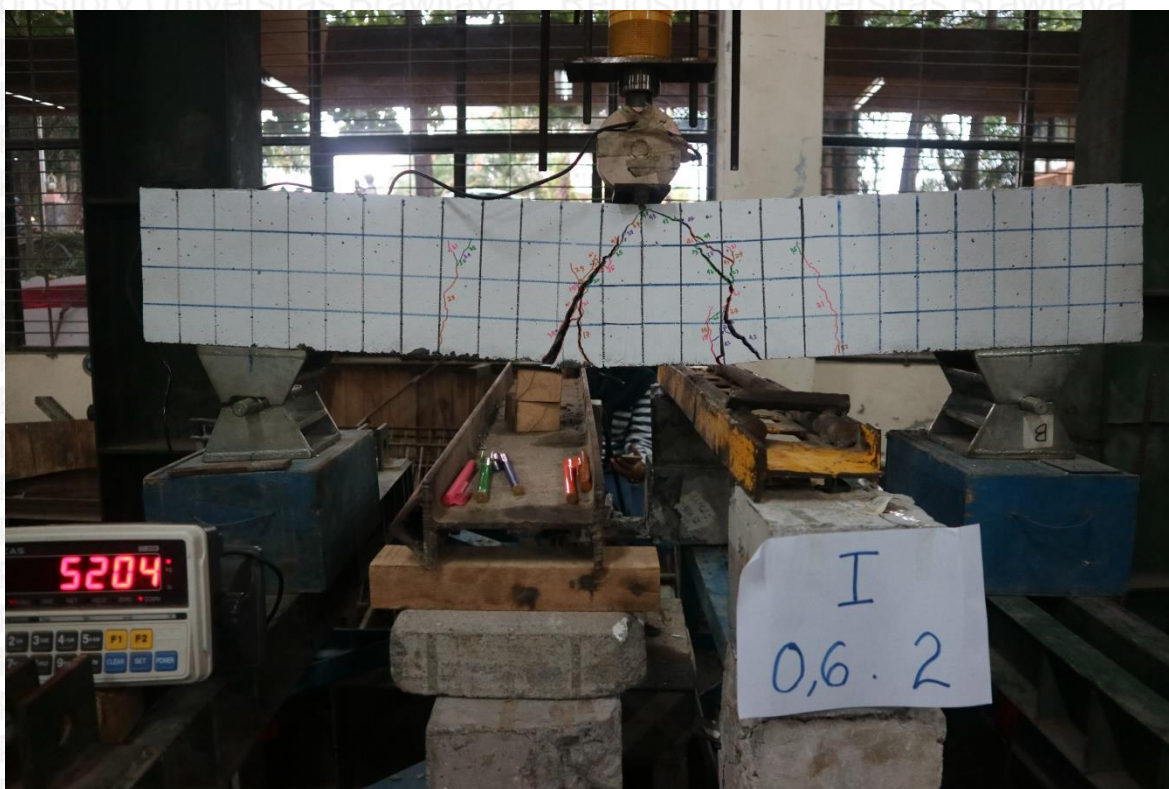


Gambar 4. Pemadatan dengan Vibrator

Lampiran 16. Gambar Akhir Pola Retak



Gambar 1. Pola Retak Benda Uji I,0,6.1



Gambar 2. Pola Retak Benda Uji I.0,6.2



Gambar 3. Pola Retak Benda Uji I.0,6.3



Gambar 4. Pola Retak Benda Uji I.1,2.1



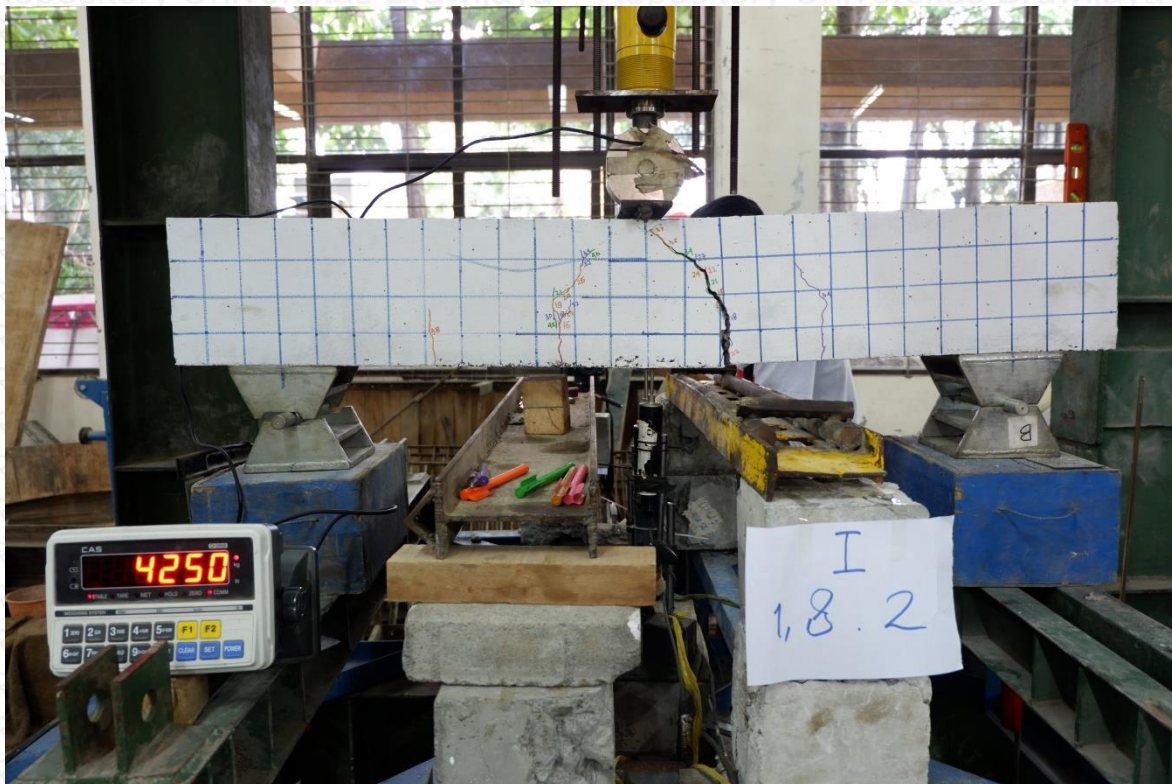
Gambar 5. Pola Retak Benda Uji I.1,2,2



Gambar 6. Pola Retak Benda Uji I.1,2,3



Gambar 7. Pola Retak Benda Uji I.1,8.1



Gambar 8. Pola Retak Benda Uji I.1,8.2



Gambar 9. Pola Retak Benda Uji I.1,8.3



Gambar 10. Pola Retak Benda Uji Normal 1



Gambar 11. Pola Retak Benda Uji Normal 2



Gambar 12. Pola Retak Benda Uji Normal 3