

**PENGARUH PENAMBAHAN LAPISAN CAT PADA AGREGAT
KASAR (BATU *PUMICE*) TERHADAP KEKUATAN LENTUR
BALOK TIGA TUMPUAN**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



BAGUS ARISTA SAPUTRA

NIM. 115060100111038

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN LAPISAN CAT PADA AGREGAT KASAR
(BATU PUMICE) TERHADAP KEKUATAN LENTUR BALOK TIGA
TUMPUAN**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



BAGUS ARISTA SAPUTRA

NIM. 115060100111038

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada Januari 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS
NIP. 19511211 198103 2 001

Christin Remayanti N, ST, MT
NIP. 201088403252000

Mengetahui Ketua Program Studi

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

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Penambahan Lapisan Cat pada Agregat Kasar (Batu *Pumice*) terhadap Kekuatan Lentur Balok Tiga Tumpuan

Nama Mahasiswa : Bagus Arista Saputra

NIM : 115060100111038

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI :

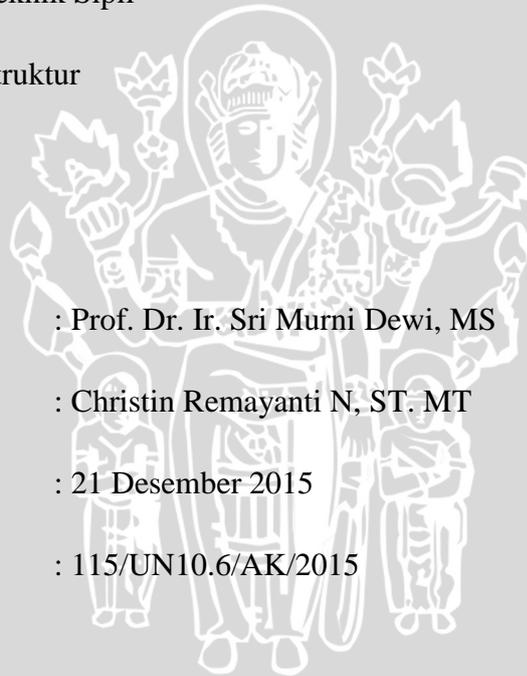
Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS

Dosen Penguji 2 : Christin Remayanti N, ST. MT

Tanggal Ujian : 21 Desember 2015

SK Penguji : 115/UN10.6/AK/2015

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, Januari 2016

Mahasiswa,

Bagus Arista Saputra

NIM. 115060100111038



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh Penambahan Lapisan Cat pada Agregat Kasar (Batu Pumice) terhadap Kekuatan Lentur Balok Beton Tiga Tumpuan**” dapat terselesaikan dengan baik.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S-1) Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Penulis menyadari dalam pelaksanaan dan penyelesaian skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini akan menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. **Orang Tua** yang selalu memberikan motivasi dan dukungan materil dalam pengerjaan skripsi ini
2. **Ir. Sugeng P. Budio, MS** selaku Ketua Jurusan Sipil Universitas Brawijaya
3. **Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST, Mt, M.sc** selaku Dosen Penguji Skripsi.
4. **Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, Ms** selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberi masukan dan wawasan ilmu yang luas selama pelaksanaan skripsi ini.
5. **Christin Remayanti N, ST, MT** selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan serta bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
6. **Ahmad Fauzi, Ari Tri Kurniawan, Reinhart L. G.** selaku teman - teman satu tim pengerjaan skripsi, yang telah berbagi suka dan duka dalam pelaksanaan skripsi ini
7. Teman – Teman CupipawAcikiwil yang telah mengisi hari – hari dalam perkuliahan mapun diluar perkuliahan menjadi lebih berwarna.
8. Teman – Teman KBMS yang telah banyak membantu pelaksanaan skripsi baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan, karena kurangnya pengetahuan dan pengamatan serta adanya keterbatasan waktu. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak di masa sekarang dan masa yang akan datang (Amin).

Malang, Januari 2016

Penulis

RINGKASAN

Bagus Arista Saputra, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2015, *Pengaruh Penambahan Lapisan Cat Pada Agregat Kasar (Batu Pumice) terhadap Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang Tiga Tumpuan*, Dosen Pembimbing : Sri Murni Dewi dan Christin Remayanti N.

Beton merupakan bahan bangunan komposit yang terdiri dari agregat dan campuran semen. Agregat tersebut terdiri dari agregat kasar dan agregat ringan. Kualitas dan karakteristik beton akan sangat dipengaruhi oleh material penyusunnya tersebut. Untuk mengetahui karakteristik dari pengaruh agregat terhadap kekuatan yang dimiliki oleh beton maka perlu dilakukan penelitian. Salah satunya dengan penggunaan batu apung (*pumice*) sebagai agregat kasar menggantikan batu kerikil dalam campuran beton. Batu apung merupakan batuan vulkanik yang memiliki banyak rongga sehingga lebih ringan jika dibandingkan dengan batu kerikil. Serta penggunaan cat sebagai bahan pelapis permukaan batu apung (*pumice*) yang bertujuan untuk mengurangi penyerapan air pada agregat tersebut.

Pada penelitian ini objek yang diamati yaitu: 1.) Balok beton tulang dengan agregat kasar batu kerikil, 2.) Balok beton bertulang dengan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat, 3.) balok beton bertulang dengan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat. Masing - masing balok uji menggunakan 3 benda uji dengan dimensi balok 120 x 15 x 10 cm. Pembebanan *static vertical* dilakukan pada seperempat dan tiga perempat bentang setelah balok beton berumur 28 hari. Balok diletakan diatas tiga tumpuan (*sendi-sendiri-rol*). Benda uji diberi beban hingga mencapai runtuh lentur.

Hasil pengujian agregat menunjukkan penambahan lapisan cat pada agregat kasar batu *pumice* mampu mengurangi penyerapan air sebesar 3,9%. Balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* berlapis cat memiliki nilai berat volume yang lebih kecil daripada balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat. Proses pembebanan *static vertical* menunjukkan bahwa balok beton bertulang beragregat kasar batu *pumice* yang berlapis cat mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan balok beton bertulang beragregat kasar batu *pumice* tanpa lapisan cat. Dengan penambahan lapisan cat juga meningkatkan kekuatan lentur dari balok beton beragregat kasar batu *pumice* sebesar 6,76%.

Kata kunci: beton, *pumice*, cat, berat volume, kuat lentur

SUMMARY

Bagus Arista Saputra, Departement of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya. November 2015, *The Effect of Adding Coat of Paint on Coarse Aggregate (pumice stone) Against Bending Strength at Three Support Beams*, Academic Supervisor: Sri Murni Dewi dan Christin Remayanti N.

Concrete is a composite building material consist of aggregate and cement mixture. The aggregate consists of coarse aggregate and lightweight aggregate. The quality and characteristics of the concrete will be strongly influenced by the constituent materials. To know the characteristics of the aggregate effect on the strength of concrete it is necessary to study. One of them with the use of pumice stone replacing gravel as coarse aggregate in the concrete mix. Pumice is a volcanic rock that has many cavities that are lighter when compared with gravel. Then the use of paint as a surface coating material pumice which aims to reduce the absorption of water in the aggregate.

In this study the object being observed are: 1) reinforced concrete beam with gravel as coarse aggregate, 2.) reinforced concrete beam with pumice stone as coarse aggregate without paint coating, 3) reinforced concrete beam with pumice stone as coarse aggregate with coating of paint. Each beam test uses 3 specimen with dimensions 120 x 15 x 10 cm. Vertical static loading performed in a quarter and three-quarter span with 28-day-old concrete block. The beam placed on three supports (joint - joint – roll). The test specimen is loaded until it reaches bending failure.

The aggregate test results showed that the addition of coating paint on pumice stone as coarse aggregate capable to reducing the water absorption until 3.9%. Reinforced concrete beams that using painted pumice stone as coarse aggregate have a smaller value of weight by volume than reinforced concrete beams that using pumice stone without a coating of paint. Vertical static loading test shows that the reinforced concrete beams that using painted pumice stone as coarse aggregate able to withstand a greater load than the reinforced concrete beams with pumice stone without coating of paint. With the addition of the paint coating also increases the flexural strength of reinforced concrete beams that using pumice stone by 6.76%.

Key words: concrete, pumice, paint, weight, flexural strength

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
RINGKASAN	ii
SUMMARY	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Tinjauan Umum.....	4
2.2. Beton Bertulang.....	5
2.2.1. Beton Ringan.....	5
2.3. Semen.....	7
2.4. Air.....	8
2.5. Bahan Agregat.....	9
2.5.1. Agregat Halus.....	9
2.5.2. Agregat Kasar.....	9
2.5.3. Pemeriksaan Sifat Gradasi Dalam Campuran Beton.....	11
2.6. Pelapisan Agregat (<i>Aggregates Coating</i>).....	13

2.7.	Kebutuhan Tulangan Rangkap untuk Balok.....	14
2.8.	Analisis Kuat Lentur Beton Bertulang Rangkap.....	14
2.9.	Analisis Struktur Statis Tidak Tertentu.....	16
2.9.1.	Metode <i>Slope Deflection</i>	17
2.10.	Hipotesis Awal	19
BAB III METODE PENELITIAN.....		21
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.3.	Analisa Bahan yang digunakan	22
3.3.1.	Semen.....	22
3.3.2.	Air.....	22
3.3.3.	Agregat Halus.....	22
3.3.4.	Agregat Kasar.....	22
3.3.5.	Baja Tulangan.....	22
3.4.	Rancangan Penelitian	22
3.5.	Cara Pengujian dan Penelitian	23
3.6.	Metode Pengumpulan Data.....	24
3.7.	Analisa Data.....	24
3.8.	Variabel Penelitian	25
3.10.	Diagram Langkah-Langkah Penelitian.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1.	Sifat-Sifat Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang.....	27
4.1.1.	Semen.....	27
4.1.2.	Air.....	27
4.1.3.	Agregat Halus.....	27
4.1.4.	Agregat Kasar.....	28
4.2.	Pengujian Beton Segar.....	29

4.3.	Pengujian Beton Keras.....	30
4.4.	Analisis Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis...	31
4.4.1.	Pemodelan Struktur	31
4.4.2.	Kapasitas Lentur Teoritis.....	31
4.5.	Berat Volume Balok Beton.....	32
4.5.1.	Hasil Pengukuran Balok Beton.....	33
4.5.2.	Analisa Berat Volume Balok Beton.....	33
4.6.	Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal.....	35
4.6.1.	Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji.	35
4.6.2.	Kuat Lentur Balok Uji.....	37
4.6.3.	Hubungan Antara Beban dan Lendutan.....	42
4.7.	Pembahasan	47
4.7.1.	Analisa Penyerapan Air Agregat Kasar.....	47
4.7.2.	Analisa Kekuatan Lentur Balok.....	48
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1.	Kesimpulan.....	50
5.2.	Saran.....	50

DAFTAR PUSTAKA

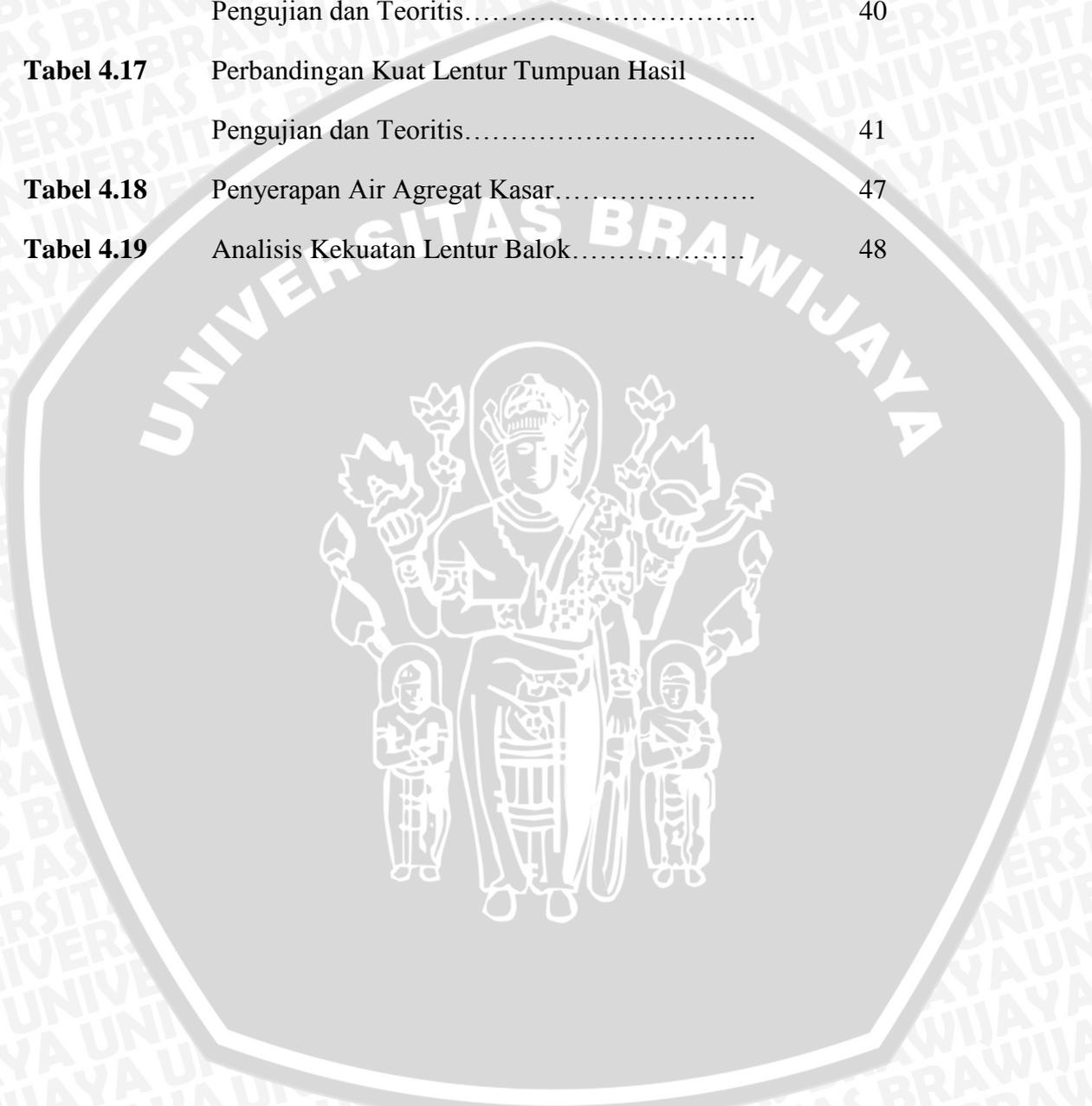
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Persyaratan susunan besar butir agregat ringan untuk beton ringan struktural.....	6
Tabel 2.2	Persyaratan sifat fisis agregat ringan untuk beton ringan structural.....	6
Tabel 2.3	Persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah rata-rata untuk beton ringan structural.....	7
Tabel 2.4	Sifat fisik batu <i>pumice</i>	10
Tabel 2.5	Batas gradasi agregat halus (BS).....	11
Tabel 4.1	Pengujian Agregat Halus.....	27
Tabel 4.2	Pengujian Agregat Kasar Batu Pumice.....	28
Tabel 4.3	Pengujian Agregat Kasar Kerikil.....	28
Tabel 4.4	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar....	28
Tabel 4.5	Pengujian Slump.....	29
Tabel 4.6	Nilai Standar Slump.....	29
Tabel 4.7	Pengujian Kuat Tekan Beton.....	30
Tabel 4.8	Hasil Berat Volume Silinder Beton.....	30
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Teoritis Kapasitas Lentur.....	32
Tabel 4.10	Hasil Pengukuran Dimensi Balok Beton.....	33
Tabel 4.11	Analisa Berat Volume Balok Beton Beragregat Kasar Batu Kerikil.....	34
Tabel 4.12	Analisa Berat Volume Balok Beton Beragregat Kasar Batu <i>Pumice</i>	34
Tabel 4.13	Analisa Berat Volume Balok Beton Beragregat Kasar Batu <i>Pumice</i> dicat.....	34

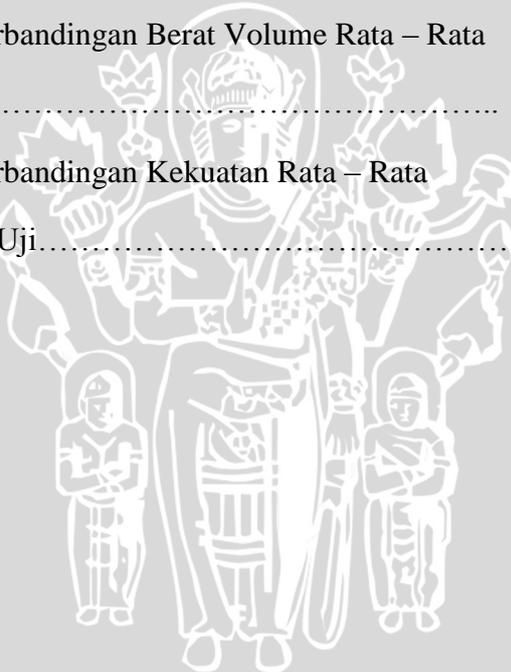
Tabel 4.14	Perbandingan Berat Volume Rata – Rata.....	34
Tabel 4.15	Perbandingan Beban Maksimum Hasil Pengujian dan Teoritis.....	36
Tabel 4.16	Perbandingan Kuat Lentur Lapangan Hasil Pengujian dan Teoritis.....	40
Tabel 4.17	Perbandingan Kuat Lentur Tumpuan Hasil Pengujian dan Teoritis.....	41
Tabel 4.18	Penyerapan Air Agregat Kasar.....	47
Tabel 4.19	Analisis Kekuatan Lentur Balok.....	48



DAFTAR GAMBAR

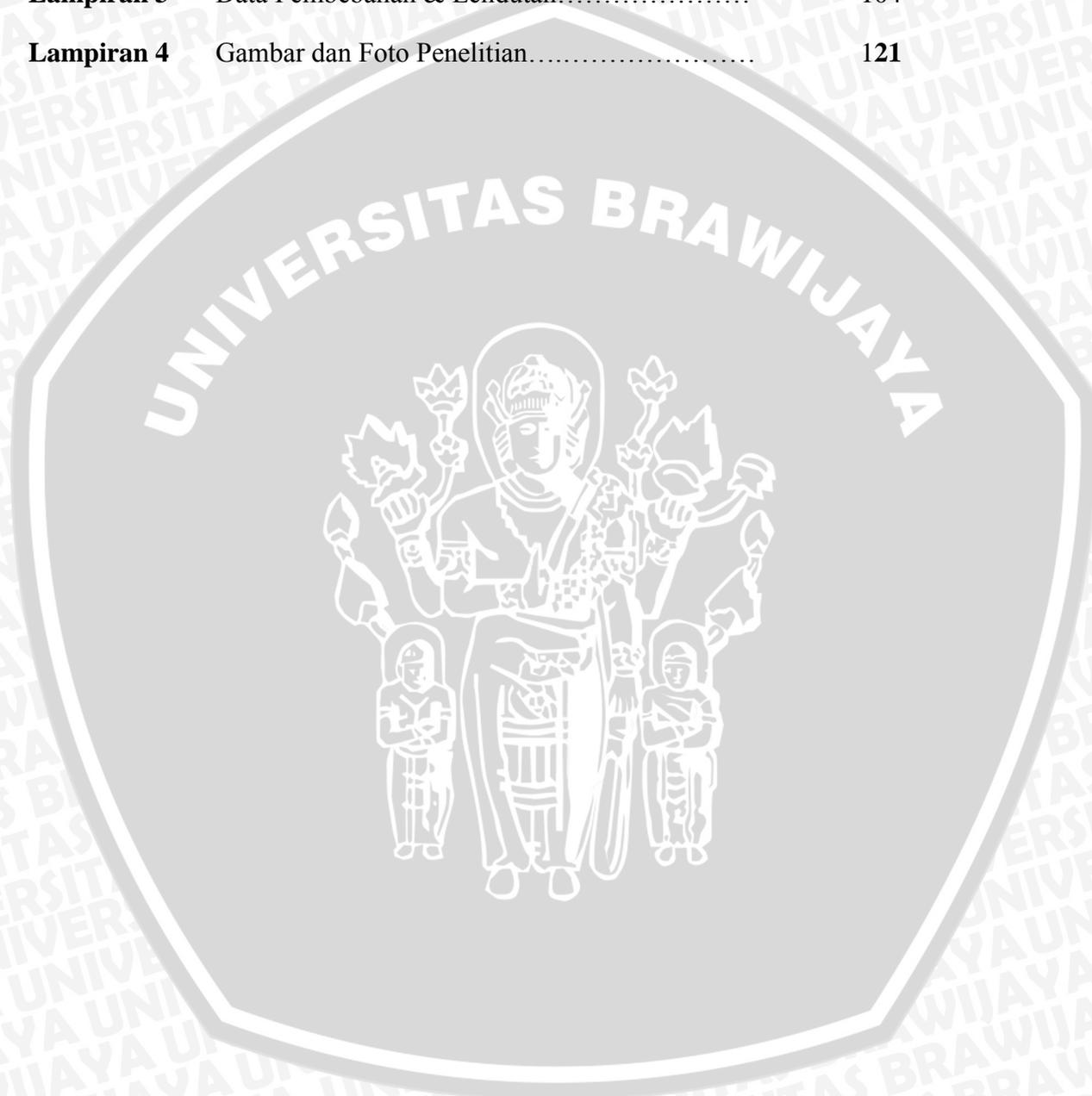
No. Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Penampang balok T dan L untuk tumpuan.....	4
Gambar 2.2	Daerah gradasi pasir kasar.....	11
Gambar 2.3	Daerah gradasi pasir agak kasar.....	12
Gambar 2.4	Daerah gradasi pasir agak halus.....	12
Gambar 2.5	Daerah gradasi pasir halus.....	12
Gambar 2.6	Analisis balok bertulang rangkap.....	15
Gambar 2.7	Tabel Momen Primer.....	18
Gambar 3.1	Skema pembebanan.....	23
Gambar 4.1	Pemodelan Pembebanan Struktur.....	31
Gambar 4.2	Analisis Balok Bertulang Rangkap.....	32
Gambar 4.3	Pembebanan Balok.....	35
Gambar 4.4	Grafik Pu Eksperimen Balok Beton Uji.....	36
Gambar 4.5	Pemodelan Benda Uji Untuk Analisis Statis Tak Tentu.....	37
Gambar 4.6	Pemodelan Benda Uji Bentang Balok AB.....	39
Gambar 4.7	Grafik Mu Lapangan Eksperimen Balok Beton...	40
Gambar 4.8	Grafik Mu Tumpuan Eksperimen Balok Beton...	41
Gambar 4.9	Tapak Balok Titik Pembacaan Lendutan.....	42
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 Untuk Benda Uji Batu Kerikil.....	42
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 Untuk Benda Uji Batu Kerikil.....	43
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 Untuk Benda Uji Batu <i>Pumice</i>	44

Gambar 4.13	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 Untuk Benda Uji Batu <i>Pumice</i>	44
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 Untuk Benda Uji Batu <i>Pumice</i> Cat.....	45
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 Untuk Benda Uji Batu <i>Pumice</i> Cat.....	45
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Hubungan Lendutan dan Beban Maksimum Benda Uji.....	46
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Persentase Penyerapan Air Agregat Kasar.....	47
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan Berat Volume Rata – Rata Benda Uji.....	48
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Kekuatan Rata – Rata Balok uji Uji.....	48



DAFTAR LAMPIRAN

No. Gambar	Judul	Halaman
Lampiran 1	Pemeriksaan & Analisis Bahan Campuran.....	52
Lampiran 2	Perhitungan Teoritis.....	69
Lampiran 3	Data Pembebanan & Lendutan.....	104
Lampiran 4	Gambar dan Foto Penelitian.....	121



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, sudah banyak dilaksanakan percobaan dan pengujian untuk melakukan penelitian yang berhubungan dengan agregat untuk beton bertulang. Penelitian yang dilakukan pada umumnya bertujuan untuk meningkatkan nilai mutu beton dengan lebih efektif dan efisien. Beton (*Concrete*) merupakan bahan bangunan yang diperoleh dari hasil campuran antara semen, air, agregat halus, dan agregat kasar dengan perbandingan tertentu dan kadang-kadang ditambah bahan tambahan campuran. Beton sering digunakan sebagai komponen utama dalam struktur suatu bangunan seperti gedung – gedung bertingkat tinggi, pelabuhan, jembatan. Hal ini dikarenakan sifat beton yang memiliki kuat tekan yang tinggi dan tahan lama. Untuk mencapai kuat tekan beton yang tinggi maka perlu diperhatikan karakteristik dari bahan penyusunnya yaitu agregat, dimana kandungan agregat dalam campuran beton akan menempat (60-75)% dari volume total sehingga seleksi agregat ini sangat penting.

Dengan perkembangan teknologi dibidang konstruksi saat ini mendorong kita untuk berinovasi meningkatkan kualitas sebuah bangunan konstruksi. Inovasi tersebut diantaranya pada penggunaan beton ringan. Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis (*density*) yang lebih ringan dibandingkan dengan beton normal. Pada umumnya berat beton ringan berkisar antara 600 – 1900 kg/m³. Karena itu keunggulan dari beton ringan yaitu dari beratnya yang ringan sehingga apabila digunakan pada bangunan tinggi akan dapat secara signifikan mengurangi berat bangunan sendiri.

Agregat yang umumnya digunakan dalam campuran beton ringan yaitu berupa batuan vulkanik seperti batu *pumice*. Batu *pumice* sering juga disebut batu apung. Batu *pumice* atau batu apung adalah jenis batuan asam yang berwarna terang, mengandung buih yang terbentuk dari lava cair yang mengalami proses pendinginan akibat dari letusan gunung berapi. Karena hal tersebut batu *pumice* memiliki rongga pori yang besar. Rongga tersebut menyebabkan batu *pumice* memiliki sifat menyerap air. Dalam

sebuah jurnal *Properties of Pumice Lightweight Aggregate* didapatkan hasil penelitian bahwa batu *pumice* memiliki nilai penyerapan air dengan rata-rata 32,98%. Angka tersebut cukup besar dibandingkan dengan nilai penyerapan air agregat normal. Dengan sifat menyerap air tersebut menyebabkan batu *pumice* mudah hancur apabila sudah sudah tercampur dalam campuran beton dan diberi tekanan.

Untuk mengatasi hal tersebut maka pada penelitian ini agregat kasar batu *pumice* akan dilapisi dengan cat kayu polimer. Lapisan cat kayu polimer ini digunakan sebagai lapisan yang menutupi rongga pori dari batu *pumice* sehingga campuran semen dan air tidak masuk ke dalam pori batu *pumice* ketika proses pencampuran agregat dan pasta semen dilakukan.

Penelitian ini akan menggunakan tiga pengondisian agregat kasar yaitu kondisi pertama menggunakan agregat normal, kondisi kedua menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa dilapisi cat kayu polimer, dan kondisi ketiga menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan lapisan cat kayu polimer. Dari ketiga kondisi tersebut akan dilakukan penelitian pengaruh penambahan lapisan cat pada agregat kasar (batu *pumice*) terhadap kekuatan balok beton bertulang dengan tiga tumpuan. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan peneliti dapat memperoleh parameter kekuatan optimum dari pengaruh penambahan lapisan cat kayu polimer pada agregat kasar (batu *pumice*), sehingga nantinya hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku penyerapan air dari beton batu *pumice* tanpa cat dengan beton batu *pumice* berlapis cat?
2. Bagaimana pengaruh pelapisan cat terhadap berat balok?
3. Bagaimana pengaruh pelapisan cat terhadap kekuatan balok?
4. Bagaimana perbandingan berat volume dan kuat lentur dari beton batu *pumice* yang dicat terhadap balok kontrol?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil perilaku elemen balok beragregat kasar batu pumice dari hasil letusan Gunung Kelud yang dilapisi oleh cat polimer terhadap kekuatan lentur

1.4. Batasan Masalah

Karena luasnya cakupan masalah yang akan diidentifikasi, maka perlu dilakukan pembatasan-pembatasan, yaitu:

1. Penelitian dan pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya.
2. Beton menggunakan komposisi campuran semen : pasir : batu pecah (kerikil) yaitu 1 : 2 : 3
3. Beton menggunakan komposisi campuran semen : pasir : batu pumice yaitu 1 : 2 : 2
4. Semen yang digunakan adalah semen gresik tipe 1 (satu).
5. Air yang digunakan adalah air PDAM Kota Malang.
6. Cat yang digunakan adalah cat *waterproof* propan
7. Ketebalan lapisan cat tidak diperhitungkan
8. Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil alami yang dalam skripsi ini disebut kerikil dan batu *pumice* yang berasal dari hasil letusan Gunung Kelud.
9. Menggunakan 9 benda uji balok dengan ukuran 10x15x120 cm.
10. Kuat tarik baja ditetapkan sebesar 240 Mpa
11. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan lenntur balok yang terjadi.
12. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga tumpuan saat pengujian kekuatan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan penelitian ini yaitu untuk mengetahui besarnya kekuatan optimum yang terjadi pada balok akibat pengaruh penambahan lapisan cat kayu berjenis polimer pada agregat kasar batu *pumice* hasil letusan Gunung Kelud. Sehingga hasil dari penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya dan dapat berguna untuk pembuatan beton untuk masa yang akan datang.

BAB II

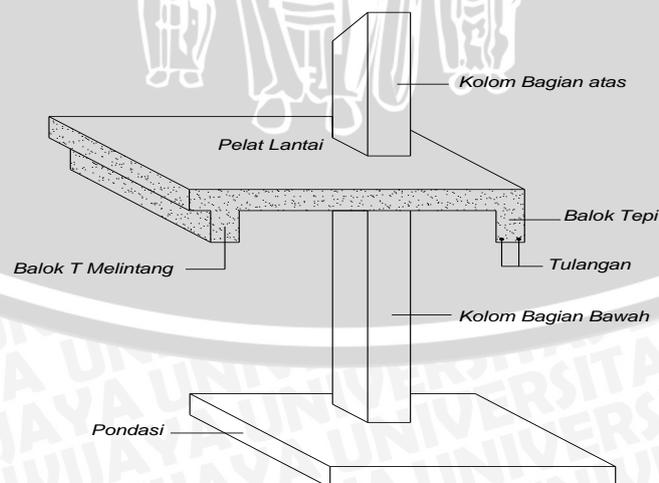
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Balok merupakan salah satu elemen penting dalam suatu struktur bangunan, selain pelat dan kolom. Balok merupakan elemen horisontal pada struktur yang berfungsi untuk menyalurkan beban, baik itu beban horisontal maupun beban vertikal, beban tersebut dapat berupa beban mati maupun beban hidup ke rangka pendukung vertikal (kolom).

Balok pada struktur dibedakan menjadi dua, yaitu balok induk dan balok anak. Balok induk merupakan balok yang konstruksinya langsung ditopang oleh kolom, sedangkan balok anak konstruksinya menumpu pada balok induk yang menuju ke kolom. Dengan demikian maka dimensi balok induk lebih besar dari balok anak.

Pada umumnya elemen balok dicor secara monolit dengan pelat lantai, dan secara struktural ditulangi dibagian bawah, atau bagian atas dan bawah. Karena balok dicor secara monolit dengan pelat lantai, maka elemen tersebut membentuk penampang balok T untuk tumpuan di tengah dan balok L untuk tumpuan di tepi (Beton Bertulang:Edward G Nawy, 1998: 61).



Gambar 2.1 Penampang balok T dan L untuk tumpuan

(Sumber: Beton Bertulang:Edward G Nawy, 1998: 61)

2.2. Beton Bertulang

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03-2847-2002).

Nilai kuat tekan beton relative lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan yang bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9-15% saja dari kuat tekannya. Sehingga pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat membantu kelemahannya untuk memperkuat dan menahan gaya tarik (Dipohussodo, 1993).

Kombinasi antara beton dan baja menghasilkan aksi komposit (*composite action*) yaitu merupakan suatu kombinasi yang menghasilkan bahan bangunan yang kuat, tahan lama dan dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran. Manfaat dari keserbagunaannya dicapai dengan mengkombinasikan segi-segi yang terbaik dari beton dan baja.

Beton diklasifikasikan berdasarkan volumenya menurut SNI 03-2847-2002 yaitu:

1. Beton normal : beton yang mempunyai berat satuan $2200 \text{ kg/m}^3 - 2500 \text{ kg/m}^3$.
2. Beton ringan : beton yang mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m^3 .
3. Beton berat : beton yang mempunyai berat satuan lebih dari 2500 kg/m^3 .

2.2.1. Beton Ringan

Beton merupakan material yang mempunyai sifat kekuatan mekanis yang bagus namun berat. Untuk itulah diperlukan sebuah hal untuk membuat beton tersebut menjadi ringan. Beton ringan bukanlah hal yang baru dalam teknologi beton. Masyarakat zaman Yunani dan Romawi sudah menggunakan beton ringan sebagai konstruksi bangunan.

Agregat dari beton ringan pun macam-macam, ada yang alami maupun buatan manusia. Agregat ringan alami biasanya berasal dari batuan vulkanik. Batu apung (*pumice*) dan scoria adalah agregat ringan yang sudah ada sejak dahulu. (Chandra, 2002)

Menurut SNI 03-2461-2008 beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar menjadi beton ringan adalah:

Tabel 2.1 Persyaratan susunan besar butir agregat ringan untuk beton ringan struktural

Ukuran	Prosentase yang lulus angka (% berat)								
	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,3
Agregat halus : (4,75 – 0) mm	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25
Agregat kasar : (25,0 – 4,75) mm	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19,0 – 4,75) mm	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12,5 – 4,75) mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9,5 – 2,36) mm	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi agregat halus & kasar : (12,5 – 8,0)mm	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
(9,5 – 8) mm	-	-	100	90-100	65-90	35-65	-	10-25	5-15

sumber : SNI 03-2461-2008

Tabel 2.2 Persyaratan sifat fisis agregat ringan untuk beton ringan struktural

No	Sifat fisis	Persyaratan
1	Berat jenis	1,0 – 1,8
2	Penyerapan air maksimum (%), setelah direndam 24 jam	20
3	Berat isi maksimum :	
	- gembur kering (kg/cm)	1120
	- agregat halus	880
	- agregat kasar	1040
	- campuran agregat kasar dan halus	60
4	Nilai presentase volume padat (%)	9 – 14
5	Nilai 10 % kehalusan (ton)	
6	Kadar bagian yang terapung setelah direndam dalam air 10 menit maksimum (%)	5
7	Kadar bahan yang mentah (clay dump) (%)	<1
8	Nilai keawetan, jika dalam larutan magnesium sulfat selama 16 – 18 jam, bagian yang larut maksimum (%)	12

CATATAN :

Nilai keremukan ditentukan sebagai hasil bagi banyaknya fraksi yang lolos pada ayakan 2,4 mm dengan banyaknya bahan agregat kering oven semula dikalikan 100 %

sumber : SNI 03-2461-2008

Tabel 2.3 Persyaratan kuat tekan dan kuat tarik belah rata-rata untuk beton ringan struktural

Berat isi kering udara 28 hari, maksimum (kg/cm ³)	Kuat tarik belah (tidak langsung) rata-rata (MPa)	Kuat tekan rata-rata, 28 hari, minimum (MPa)
	Semua agregat ringan	
1760	2,2	28
1680	2,1	21
1600	2,0	17
	Agregat ringan dan pasir	
1840	2,3	28
1760	2,1	21
1680	2,0	17
<p>CATATAN 1 Nilai kuat tekan dan berat isi diambil dari rata-rata 3 buah benda uji sedangkan kuat tarik belah diambil rata-rata dari 6 benda uji, CATATAN 2 Nilai antara untuk kekuatan tekan dan nilai berat isi yang berkait dapat diperoleh dengan penambahan atau interpolasi, CATATAN 3 Bahan-bahan yang tidak memenuhi persyaratan kuat tarik rata-rata minimum dapat digunakan bila rancangannya dimodifikasi untuk mengimbangi nilai yang lebih rendah, CATATAN 4 1 MPa \approx 10 kg/cm².</p>		

sumber : SNI 03-2461-2008

2.3. Semen

Semen yang biasa dipakai adalah semen portland. Semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. (SNI-15-2049-2004)

Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) dari kandungan batu kapur,
2. Silika (SiO₂) dari kandungan lempung,
3. Alumina (Al₂O₃) dari kandungan lempung, (dengan sedikit persentase magnesia, MgO, dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya.

(Beton Bertulang:Edward G Nawy, 1998: 9)

Dalam penggunaan sebagai bahan pembentuk beton (ASTM-C150) mengklasifikasikan semen menurut jenis dan penggunaannya, yaitu:

1. Tipe I : Semen portland biasa atau umum. Tidak diperlukansifat spesifik. Biasanya digunakan untuk membuat beton yang tidak ada kontak dengan tanah ataupun air seperti beton pratekan dan pratarik.
2. Tipe II : Untuk konstruksi biasa seperti tipe I, namun harus tahan terhadap panas hidrasi sedang dan perlawanan terhadap sulfat.
3. Tipe III : Dibutuhkan untuk kekuatan awal tinggi dan cepat mengeras
4. Tipe IV : Semen portland yang digunakan pada konstruksi untuk panas hidrasi rendah.
5. Tipe V : Digunakan dimana ketahanan tinggi terhadap sulfat sangat penting.

2.4. Air

Pada campuran air diperlukan agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen. Hal ini untuk membasahi agregat dan melumasi campuran agar mudah dalam pengerjaannya (Beton Bertulang:Edward G Nawy, 1998: 13).

Menurut PBI 1971 air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, bahan-bahan organis atau bahan-bahan lain yang merusak beton dan/atau baja tulangan. Dalam hal ini sebaiknya dipakai air bersih yang dapat diminum.
2. Apabila terdapat keragu-raguan mengenai air, dianjurkan untuk mengirimkan contoh air itu ke lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui untuk diselidiki sampai seberapa jauh air itu mengandung zat-zat yang dapat merusak beton dan/atau tulangan.
3. Apabila pemeriksaan contoh air seperti disebut dalam poin 2 itu tidak dapat dilakukan, maka dalam hal adanya keragu-raguan mengenai air harus diadakan percobaan perbandingan antara kekuatan tekan mortar semen + pasir dengan memakai air itu dan dengan memakai air suling. Air tersebut dianggap dapat dipakai, apabila kekuatan tekan mortar dengan memakai air itu pada umur 7 dan 28 hari paling sedikit adalah 90% dari kekuatan tekan mortar dengan memakai air suling pada umur yang sama.

4. Jumlah air yang dipakai untuk membuat adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

2.5. Bahan Agregat

Agregat adalah bahan material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah yang dapat dipakai bersama – sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen atau adukan.

Agregat merupakan komponen yang paling berpengaruh terhadap kekuatan tekan pada beton. Agregat yang baik harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogeny rapat. Agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar. Komposisi agregat dalam campuran beton adalah sekitar 70-75% dari seluruh volume beton. untuk mencapai kuat tekan beton yang baik perlu diperhatikan kepadatan dan kekerasan massanya. Karena pada umumnya semakin padat dan keras massa agregat maka akan semakin tinggi kekuatan dan durability-nya (daya tahan terhadap penurunan mutu akibat pengaruh cuaca). (Struktur Beton Bertulang: Istimawan Dipohusodo, 1999: 5)

2.5.1. Agregat Halus

Agregat halus untuk beton adalah berupa pasir alam sebagai hasil dari desintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu.

Agregat halus merupakan pengisi rongga yang berupa pasir. Ukuranya bervariasi antara ukuran No. 4 dan No. 100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. (Beton Bertulang:Edward G Nawy, 1998: 15)

2.5.2. Agregat Kasar

Agregat kasar untuk beton adalah agregat yang berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan alam atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu, dan mempunyai ukuran butir antara 6-40 mm. Besar butir maksimum yang diijinkan tergantung pada maksimum pemakaian.

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi 6 mm. Sifat agregat mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahanya terhadap desintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek merusak lainnya. (Beton Bertulang:Edward G Nawy, 1998: 14)

Memperhatikan gradasi krikil agar tetap konstan adalah sangat penting karena berpengaruh pada mutu beton. Maksudnya agar kerikil dan pasir (diameter 0,14 – 5 mm) dapat membentuk susunan agregat yang padat sehingga kekuatan beton menjadi besar.

2.5.2.1. Batu Pumice

Batu *pumice* terbentuk ketika lava cair yang kaya SiO_2 dari letusan gunung berapi mendingin. Densitas dari batu apung yang rendah disebabkan adanya gelembung gas di lava cair yang terjebak saat pendinginan terjadi. Rongga-rongganya sangat kecil dan saling terhubung (Chandra, 2002).

Kekuatan agregat berkisar dari sangat lemah dan berpori, hingga kuat dan kurang berpori. Absorpsi pada batu pumice umumnya tinggi tergantung porositas dan ukurannya. Salah satu hal yang membuat batu pumice digunakan dalam beton ringan struktural yaitu densitas rendah dan kekuatan yang relatif tinggi (Carryer, 1995; P.J. Moss, 1970 dalam *Pumice Aggregates for Structural Lightweight and Internally Cured Concretes*). Sifat fisik batu pumice (Graha, 1987) yaitu:

Tabel 2.4 Sifat fisik batu pumice

Unsur	Kapasitas
Bobot isi ruang	480-960 kg/cm ³
Peresapan air	16,67%
Berat Jenis	0,8 gr/cm ³
Hantaran Suara	Rendah
Ratio kuat tekan terhadap beban	Tinggi
Konduktivitas terhadap api	Rendah
Ketahanan terhadap api	s/d 6 jam

2.5.3. Pemeriksaan Sifat-Sifat Gradasi Dalam Campuran Beton

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh terhadap mutu campuran beton. Untuk menghasilkan beton yang memiliki kekuatan yang seperti yang kita inginkan, maka sifat-sifat ini perlu untuk diketahui.

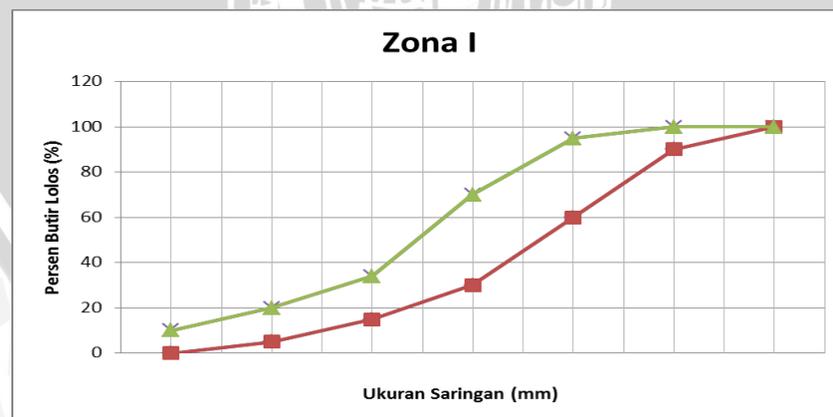
2.5.3.1. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus. Syarat-syarat untuk agregat halus yang dikelompokkan dalam empat daerah seperti dalam table 2.5. Tabel tersebut dijelaskan dalam gambar 2.2 samapai 2.5 untuk mempermudah pemahaman

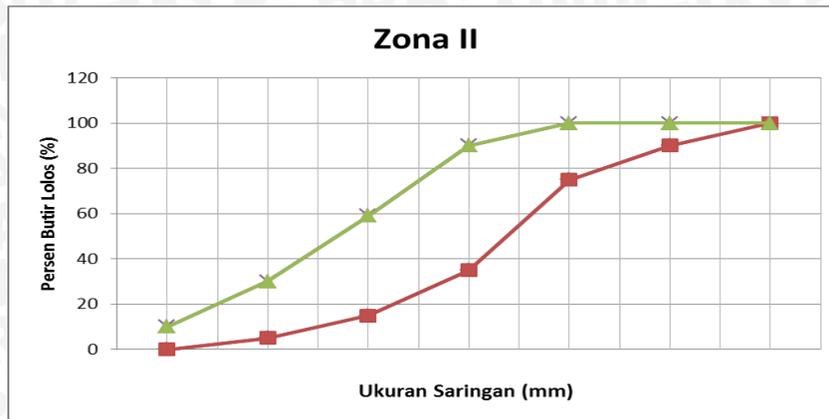
Tabel 2.5 Batas Gradasi Agregat Halus (BS)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan (%)			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

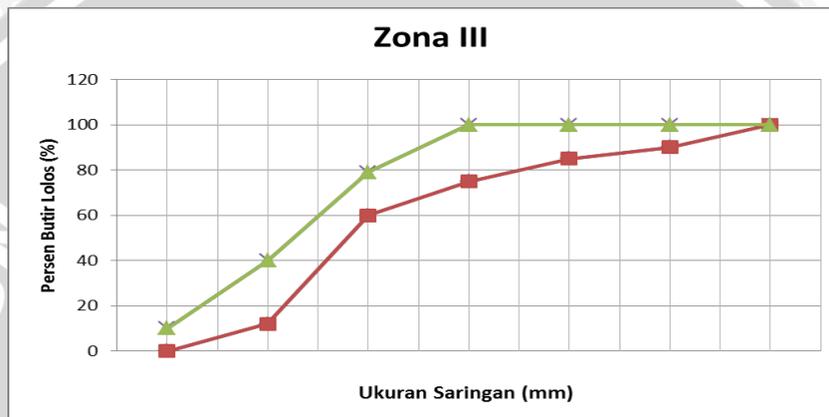
- Keterangan :
- Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
 - Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
 - Daerah Gradasi III = Pasir Agak Halus
 - Daerah Gradasi IV = Pasir Halus



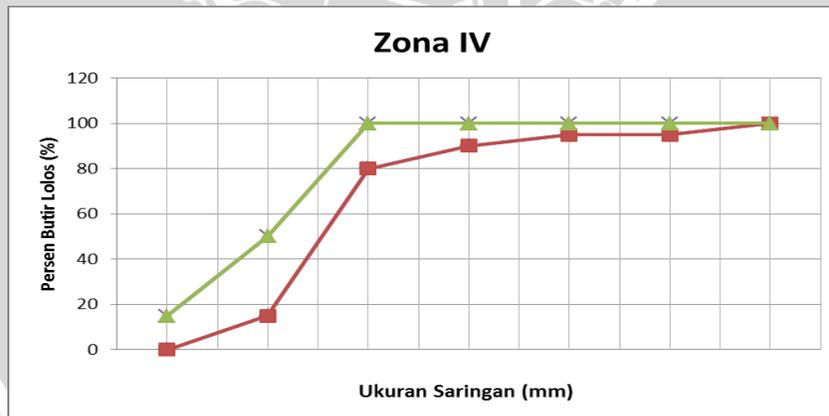
Gambar 2.2 Daerah Gradasi Pasir Kasar



Gambar 2.3 Daerah Gradasi Pasir Agak Kasar



Gambar 2.4 Daerah Gradasi Pasir Agak Halus



Gambar 2.5 Daerah Gradasi Pasir Halus

2.5.3.2. Pemeriksaan Kadar Air Agregat

Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka prosentase kadar air yang dikandung agregat. Kadar air dapat dibedakan menjadi empat jenis. (1) Kadar air kerng oven, yaitu keadaan agregat yang dapat menyerap air dalam campuran beton secara maksimal

(dengan kapasitas penuh). (2) Kadar air kering udara, yaitu keadaan agregat yang kering permukaan namun mengandung sedikit air di rongga-rongganya. Agregat ini juga dapat menyerap air walaupun tidak dengan kapasitas penuh. (3) Jenuh dengan kering permukaan, yaitu keadaan agregat yang permukaannya kering, namun semua rongga-rongganya terisi air. Didalam beton agregat dengan kondisi seperti ini tidak akan menyerap air dalam campuran. (4) Basah, yaitu keadaan agregat dengan kandungan air yang berlebihan pada permukaannya. Agregat dengan kondisi yang seperti ini akan menyumbangkan air kedalam campuran. Dari keempat kondisi tersebut hanya dua kondisi yang sering dipakai sebagai campuran beton yaitu kering oven dan keadaan jenuh dengan permukaan kering. Keadaan ini biasanya dinyatakan dalam prosen dan dapat dihitung sebagai berikut :

$$KA = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (2-1)$$

Jika agregat basah ditimbang beratnya (W_1), kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu $100^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ sampai beratnya konstan (biasanya selama 16-24 jam), kemudian ditimbang beratnya (W_2), maka kadar airnya (KA) dapat diketahui.

2.5.3.3. Pemeriksaan Berat Isi Agregat

Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan berat isi agregat (pasir dan kerikil). Berat satuan pasir adalah perbandingan antara berat pasir dengan volume alat ukur Unit weight diperoleh dengan memasukan pasir ke dalam alat ukur yang telah diketahui volumenya sehingga berat pasir dapat diketahui, sedangkan berat satuan kerikil adalah perbandingan antara berat kerikil dengan alat ukur Unit weight diperoleh dengan memasukan kerikil ke dalam alat ukur yang telah diketahui volumenya sehingga berat kerikil dapat diketahui.

Jika pasir atau kerikil yang dimasukkan ke dalam ember kemudian ditusuk-tusuk sebanyak 25 (dua puluh lima) kali dengan tongkat penusuk, maka cara tersebut dinamakan rodding. Jika pasir atau kerikil yang dimasukkan ke dalam ember dengan cara biasa (tidak ditusuk-tusuk), maka cara ini dinamakan shoveling.

2.6. Pelapisan Agregat (*Aggregates Coating*)

Pelapisan agregat merupakan salah satu metode yang digunakan untuk tujuan tertentu. Pelapisan agregat biasanya menggunakan tanah liat, kalsium karbonat dan debu atau lumpur. Ada beberapa teknik dalam pelapisan yaitu dengan melapisi semua

permukaan agregat atau melapisi sebagian agregat tergantung dari tujuannya (Munoz, 2005). Penelitian tentang pelapisan agregat menggunakan bahan polimer juga telah dilakukan dengan tujuan mengurangi penyerapan air pada *pumice* sebagai agregat kasar. Hasilnya *pumice* dengan pelapisan menggunakan polimer penyerapan airnya lebih kecil (2-10)% dibandingkan *pumice* yang tidak dilapisi bahan polimer (30-40)% (Bideci, 2013).

2.7. Kebutuhan Tulangan Rangkap Untuk Balok

Tidak semua balok memerlukan tulangan tekan dalam analisisnya, oleh karena itu digunakan beberapa analisa untuk menentukannya. Beberapa analisa itu adalah pada saat perencanaan suatu balok, apabila suatu penampang dikehendaki untuk menerima beban yang lebih besar dari kapasitasnya, sedangkan dilain pihak seringkali pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi balok, maka apabila terjadi momen tahanan (M_R) lebih kecil daripada momen rencana (M_u), maka balok tersebut direncanakan dengan menggunakan tulangan rangkap. (Dipohusodo, 1999)

- ❖ Apabila dalam perencanaan suatu balok didapatkan nilai rasio penulangan (ρ) lebih besar dari batas nilai rasio penulangan maksimum (ρ_{maks}) maka jika hal ini yang dihadapi, SNI 03-2847-2002 pasal 10.3 ayat 4 memperbolehkan tulangan tarik lebih dari batas nilai ρ_{maks} bersamaan dengan penambahan tulangan baja didaerah tekan penampang balok disertai penambahan tulangan tarik secara bersamaan. Atau tulangan tarik baja dipasang didaerah tarik dan tulangan tekan baja dipasang didaerah tekan balok bertulangan rangkap.
- ❖ Apabila suatu balok menerima beban bolak-balik dari atas dan dari bawah, maka struktur tersebut membutuhkan tulangan rangkap, hal ini didukung oleh SK SNI T-15-1990-03 pasal 3-14-3 ayat 2.1 dan 2.2 yang memberikan batasan minimal pada pemaiakaian tulangan tarik maupun tekan pada penampang dengan penentuan tulangan tekan adalah $\frac{1}{2}$ dari tulangan tarik yang ada.

2.8. Analisis Kuat Lentur Balok Bertulang Rangkap

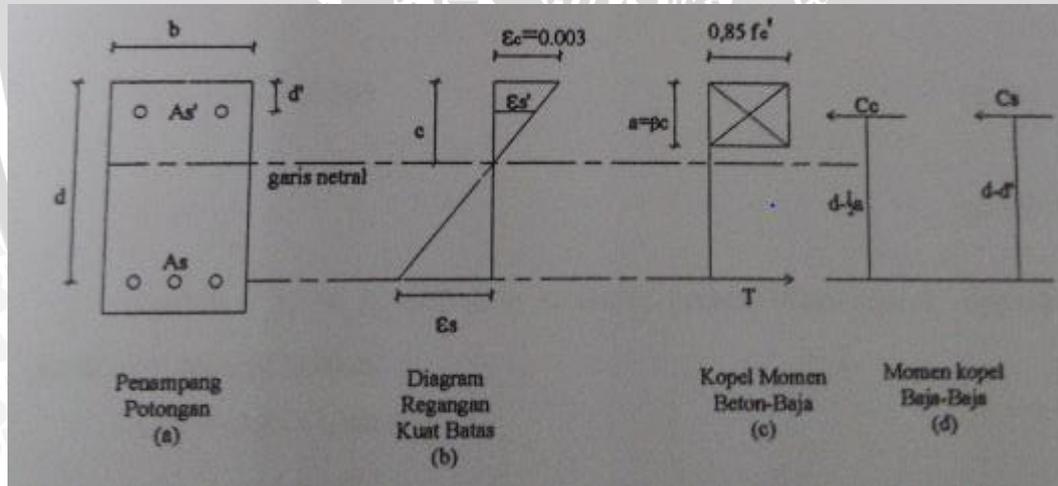
Pada analisis tulangan rangkap, anggapan-anggapan dasar yang digunakan untuk analisis balok beton bertulang rangkap pada dasarnya sama dengan balok beton

bertulangan tarik saja. Hanya ada satu tambahan anggapan yang penting ialah tegangan tulangan baja tekan (f_s') merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat tulangan baja tekan (Dipohusodo, 1999).

Terdapat dua kondisi umum yang dapat digunakan untuk menganalisa keberadaan tulangan rangkap ini yaitu:

1. Tulangan Baja berperilaku elastik hanya sampai pada tingkat dimana regangannya luluh (ϵ_s). Apabila regangan tekan baja (ϵ_s') sama atau lebih besar dari tegangan luluhnya (ϵ_s) maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja (f_s') diambil sama dengan tegangan luluhnya (f_y), sedangkan bila regangan tekan baja yang terjadi kurang dari regangan luluhnya maka tegangan tekan baja $f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$ ($E_s =$ modulus elastisitas baja 2×10^5)
2. Apabila letak garis netral penampang balok relative tinggi, ada kemungkinan pada saat momen ultimit terjadi, regangan $\epsilon_s' < \epsilon_y$ (belum mencapai luluh).

Untuk tercapainya masing-masing kondisi tersebut tergantung dengan posisi garis netral penampang yang terjadi. Kuat momen total balok bertulangan rangkap merupakan penjumlahan kedua kopel momen dalam dan mengabaikan luas beton tekan yang ditempati oleh tulangan baja tekan (Dipohusodo, 1999).



Gambar 2.6 Analisis balok bertulangan rangkap

Sumber : Dipohusodo, Istimawan. 1999. *Struktur Beton Bertulang*

Dengan menganggap tulangan baja tarik dan tekan telah meluluh sehingga :

$$f_s = f_s' = f_y \quad (2-2)$$

Keseimbangan gaya-gaya : $\sum H = 0$, sehingga $f_s' = f_y$

$$T = C_c + C_s \quad (2-3)$$

$$A_s f_y = 0,85 f_c' ab + A_s' f_y \quad (2-4)$$

Nilai a didapatkan dari persamaan berikut :

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 f_c') b} \quad (2-5)$$

dengan menggunakan anggapan sama dengan yang dipakai pada balok bertulangan tarik saja tentang hubungan antara tinggi balok tegangan beton tekan dengan garis netral penampang balok terhadap serat tepi tekan ($a = \beta \cdot c$), maka letak garis netral dapat ditentukan dan selanjutnya digunakan untuk menetapkan regangan-regangan baja.

$$c = \frac{a}{0,85} \quad (2-6)$$

Pemeriksaan regangan-regangan untuk mengetahui apakah asumsi yang digunakan benar, yang berarti bahwa kedua penulangan baik penulangan tekan maupun tarik telah meluluh sebelum beton hancur (Dipohusodo, 1999).

Regangan yang diperhitungkan terjadi pada saat dicapai momen ultimit, adalah:

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} (0,003) \quad (2-7)$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003) \quad (2-8)$$

$$\epsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \quad (2-9)$$

Apabila $\epsilon_s' < \epsilon_y$ dan $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ untuk mendapatkan nilai c, menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A_s f_y = (0,85 f_c') ab + A_s' f_s' \quad (2-10)$$

$$f_s' = 0,003 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \quad (2-11)$$

$$f_s' = 0,003 \left(1 - \frac{\beta d'}{a} \right) E_s \quad (2-12)$$

$$A_s f_y = (0,85 f_c') ab + A_s' 0,003 \left(1 - \frac{\beta d'}{a} \right) E_s \quad (2-13)$$

Menghitung kuat momen tahan ideal untuk masing – masing kopel.

$$M_n = C_c (d - \frac{1}{2} a) + C_s (d - d') \quad (2-14)$$

2.9. Analisis Struktur Statis Tidak Tertentu

Secara umum struktur yang dimaksud dalam analisis struktur adalah struktur rangka yang dibagi menjadi: balok, rangka batang (*truss*) bidang dan ruang, portal (*frame*) bidang dan ruang, serta balok grid. Tujuan dari analisis struktur adalah untuk menentukan berbagai aksi pada struktur, seperti reaksi pada tumpuan dan

resultante tegangan (momen lentur, gaya geser, dan sebagainya). Resultante dari semua aksi ini dapat berupa gaya, kopel, dan keduanya. Jika struktur tersebut dalam keadaan statis, maka resultante dari vektor gaya dan vektor momen harus nol misalnya dari arah X, Y, dan Z. Maka didapat persamaan keseimbangan statis sebagai berikut : (Haryanto, 1999)

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 & \quad \sum F_y = 0 & \quad \sum F_z = 0 \\ \sum M_x = 0 & \quad \sum M_y = 0 & \quad \sum M_z = 0 \end{aligned} \quad (2-15)$$

Suatu struktur disebut tidak terentu luar apabila jumlah komponen reaksinya melebihi jumlah persamaan keseimbangan. Oleh karena itu, pada struktur ruang akan bersifat statis tak tentu bila jumlah komponen reaksinya lebih dari enam, dan pada struktur bidang bersifat statis tak tentu bila jumlah komponen reaksinya lebih dari tiga. (Haryanto, 1999: 4-5)

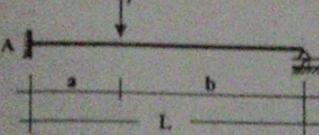
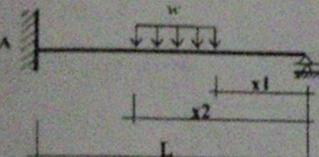
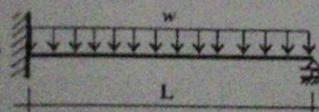
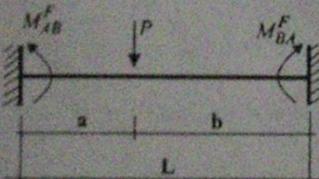
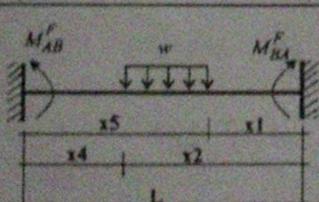
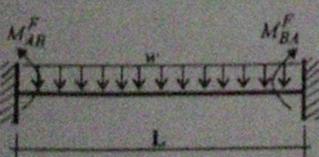
2.9.1. Metode Slope Deflection

Untuk penyelesaian analisis struktur tidak tertentu dikenal beberapa metode. Salah satunya adalah *Metode Slope Deflection*. Pada prinsipnya *Metode Slope Deflection* ialah metode untuk menentukan momen-momen ujung batang pada portal (*frame*). Berikut ini beberapa anggapan pada analisis struktur dengan *Metode Slope Deflection*: (Haryanto, 1999: 36)

1. semua joint dihubungkan secara kaku (*rigid*),
2. sudut pada pertemuan batang besarnya tetap sama setelah mengalami rotasi akibat pembebanan dan sebelum adanya pembebanan,
3. perubahan akibat gaya aksial dan gaya geser diabaikan,
4. rotasi-rotasi pada joint besarnya belum diketahui, yang merupakan sebuah bilangan yang harus dihitung,
5. jumlah momen ujung pada setiap joint sama dengan nol ($\sum M = 0$), kecuali pada tumpuan yang berdiri sendiri.

Selanjutnya dalam penyelesaian dengan *Metode Slope Deflection* diperlukan pengertian tentang momen primer (momen jepit ujung). Momen primer adalah momen pada batang yang ujungnya dijepit sempurna. Pada **Gambar 2.7** menunjukkan tabel momen primer pada beberapa kasus pembebanan balok.

Tabel III. 1. Momen Primer Balok

No.	Balok dan Pembebanan	Momen Primer (FEM)
1		$M_{AB}^F = \frac{Pb}{2L^2} (L^2 - b^2)$
2		$M_{AB}^F = \frac{w}{2L^2} \left[\frac{L^2 x^2}{2} - \frac{x^4}{4} \right]_{x1}^{x2}$
3		$M_{AB}^F = \frac{1}{8} wL^2$
4		$M_{AB}^F = \frac{Pab^2}{L^2}$ $M_{BA}^F = -\frac{Pba^2}{L^2}$
5		$M_{AB}^F = \frac{w}{L^2} \left[\frac{Lx^3}{3} - \frac{x^4}{4} \right]_{x1}^{x2}$ $M_{BA}^F = -\frac{w}{L^2} \left[\frac{Lx^3}{3} - \frac{x^4}{4} \right]_{x4}^{x5}$
6		$M_{AB}^F = \frac{1}{12} wL^2$ $M_{BA}^F = -\frac{1}{12} wL^2$

Gambar 2.7 Tabel momen primer

Sumber : Yoso Wigroho, Haryanto. 1999. Analisis Struktur Tidak Tertentu

Selanjutnya tahap menentukan persamaan slope deflection. Momen ujung batang pada struktur dipengaruhi oleh beban luar pada batang, rotasi ujung dekat, rotasi ujung jauh dan perpindahan joint. maka dari pengaruh tersebut didapatkan persamaan sebagai berikut: (Haryanto, 1999:38-40)

$$M_1 = \frac{EI}{L} (-2\theta_A - \theta_B) \quad (2-16)$$

$$M_2 = \frac{EI}{L} (-2\theta_B - \theta_A) \quad (2-17)$$

Sehingga momen pada ujung A adalah jumlah dari momen primer M_{AB}^F dan M_1 sedang momen pada ujung B merupakan jumlah dari momen primer M_{BA}^F dan M_2 . Sehingga didapat persamaan sebagai berikut: (Haryanto, 1999:40)

$$M_{AB} = M_{AB}^F + \frac{2EI}{L} (-2\theta_A - \theta_B) \quad (2-18)$$

$$M_{BA} = M_{BA}^F + \frac{2EI}{L} (-2\theta_B - \theta_A) \quad (2-19)$$

Persama (2-18) dan (2-19) disebut *Persamaan Slope Deflection*.

Tahap-tahap dalam menyelesaikan kasus struktur tidak tertentu dengan menggunakan *Metode Slope Deflection* adalah sebagai berikut : (Haryanto, 1999:41)

1. Menghitung momen primer setiap ujung batang.
2. Menentukan *Persamaan Slope Deflection* dari momen primer dan rotasi joint.
3. Menyusun persamaan simultan dengan mempertimbangkan syarat kesepadanan pada setiap joint, Misalnya:
 - pada dukungan jepit, berarti $M \neq 0$ dan $\theta = 0$
 - pada dukungan sendi, berarti $M = 0$ dan $\theta \neq 0$
 - pada dukungan rol, berarti $M = 0$ dan $\theta \neq 0$
 - pada pertemuan batang, berarti $M = 0$
4. Menyelesaikan persamaan simultan untuk memperoleh nilai-nilai θ (rotasi)
5. mendistribusikan nilai-nilai θ pada *Persamaan Slope Deflection* untuk memperoleh momen-momen ujung batang.
6. menghitung reaksi-reaksi dan momen-momen pada bagian tengah batang
7. Menggambar bidang momen, gaya lintang, dan gaya geser.

2.10. Hipotesis Awal

Hipotesis sementara yaitu ada pengaruh dari cat yang melapisi agregat batu *pumice* sebagai agregat kasar terhadap penyerapan air dan kekuatan lentur pada beton bertulang tiga tumpuan. Pengaruh tersebut yaitu:

- Dengan penambahan lapisan cat akan mengurangi penyerapan air agregat kasar batu *pumice*
- Dengan penambahan lapisan cat berat dari benda uji akan lebih ringan, sedangkan berat dari benda uji dengan agregat kerikil merupakan yang terberat
- Dengan tambahan lapisan cat kekuatan lentur pada balok tiga tumpuan akan lebih kecil dibandingkan dengan batu *pumice* tanpa lapisan cat karena

bidang kontak antar agregat akan terhalang oleh lapisan cat sehingga mengurangi kekuatan. Kekuatan terbesar akan dimiliki oleh benda uji yang menggunakan kerikil sebagai agregat kasar

- Penambahan lapisan cat juga akan mengurangi berat volume jika dibandingkan dengan balok kontrol.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Waktu penelitian yaitu Mei sampai selesai.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Satu set ayakan dengan *motorized dynamic sieve shaker*
2. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu dengan kapasitas $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$.
3. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr sampai 10 gr
4. Cetakan balok dengan ukuran 10x15x120 cm
5. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*)
6. Tongkat pemadat
7. Alat uji slump (*kerucut Abrams*)
8. Alat penggetar (*vibrator*)
9. Ember
10. Sekop
11. Sendok semen
12. Talam
13. Rangka pembebanan
14. Dongkrak hidrolik
15. *Proving ring* pembaca beban

Bahan-bahan yang digunakan adalah:

1. Semen Gresik tipe 1 (satu)
2. Agregat halus berupa pasir dari pasaran
3. Agregat kasar berupa batu *pumice* yang didapat dari letusan Gunung Kelud dan kerikil yang didapat dari pasaran

4. Air bersih dari PDAM Kota Malang
5. Baja tulangan yang didapat dari pasaran

3.3. Analisa Bahan yang Digunakan

3.3.1. Semen

Semen yang digunakan adalah Semen Gresik Type I (satu). Pada bahan semen tidak dilakukan pengujian khusus.

3.3.2. Air

Air yang digunakan adalah air bersih dari PDAM Kota Malang, maka tidak dilakukan pengujian secara khusus.

3.3.3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan yaitu pasir. Pasir yang didapat dari pasaran akan tetap dijaga dari adanya kotoran organik dan non organik maupun lumpur.

3.3.4. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian kali ini ada dua yaitu kerikil batu pecah dan batu *pumice*.

3.3.5. Baja Tulangan

Untuk tulangan tarik digunakan 2- \emptyset 8 dan tulangan tekan digunakan 2- \emptyset 8.

3.4. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian kali ini dibutuhkan 9 (sembilan) benda uji yang masing-masing benda uji perlakuannya sebagai berikut:

1. 3 buah balok beton berukuran 10x15x120 cm dengan campuran semen : pasir : kerikil yaitu 1 : 2 : 3.
2. 3 buah balok beton berukuran 10x15x120cm dengan campuran semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2 : 2
3. 3 buah balok beton berukuran 10x15x120cm dengan campuran semen : pasir : batu *pumice* yang dilapisi cat yaitu 1 : 2 : 2

Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian adalah:

- a. Persiapan material dan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji.
- b. Pengecatan batu *pumice* menggunakan cat *waterproof* propan.
- c. Analisa bahan meliputi agregat halus dan agregat kasar.
- d. Menghitung perbandingan *Mix Design* dengan Kuat Tekan yang direncanakan 20 Mpa

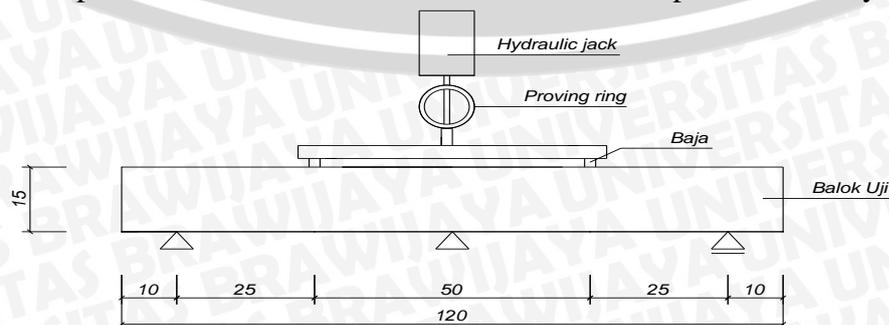
- e. Pembuatan cetakan beton (bekisting) balok dengan ukuran 10x15x120 cm sebanyak 9 buah
- f. Pemasangan tulangan balok
- g. Pencampuran bahan beton dengan menggunakan mesin pencampur
- h. Pengukuran nilai slump dari tiap-tiap variasi
- i. Memasukkan campuran adukan beton ke dalam bekisting
- j. Perawatan (*curing*)
- k. Pelepasan bekisting

Metode pengecatan agregat kasar batu pumice :

- a. Siapkan cat *waterproof* (propan)
- b. Siapkan wadah dan saringan
- c. Siapkan agregat kasar pumice sesuai dengan perhitungan *mix design*
- d. Tuangkan cat *waterproof* (propan) kedalam wadah yang telah disediakan hingga mencapai terisi setengah volume atau $\frac{3}{4}$ volume.
- e. Letakan agregat kasar batu *pumice* pada saringan sesuai kapasitas saringan
- f. Celupkan saringan yang berisi agregat kasar batu pumice kedalam wadah yang terisi cat. Kemudian angkat dan ayak untuk meratakan cat pada permukaan agregat.
- g. Lakukan langkah diatas berulang kali hingga semua permukaan agregat tertutupi cat.
- h. Keringkan cat dengan cara menyangkan di tempat terbuka, sebar agregat secara merata agar tidak menempel.
- i. Setelah disiangkan selama sehari penuh maka agregat dapat dikemas.

3.5. Cara Penelitian dan Pengujian

Setelah umur beton 28 hari sejak pengecoran maka dilakukan pengujian terhadap benda uji. Balok ditempatkan pada rangka pembebanan (*loading frame*) dengan tiga tumpuan simetris. Balok diberikan dua beban terpusat vertikal yang sama besar.



Gambar 3.1 Skema Pembebanan

Beban terpusat vertikal pada balok dikerjakan oleh pompa hidraulik. Penambahan beban dibaca pada alat *strain meter*. Setelah peralatan benda uji siap pada rangka pengujian, pembebanan segera dilakukan secara berangsur-angsur dari beban nol sampai dengan beban maksimum yang dapat diterima beton.

Langkah-langkah pengujian:

1. Balok uji ditempatkan pada rangka pembebanan (*loading frame*) dengan tiga tumpuan. Balok diberikan beban terpusat vertikal yang sama besar.
2. Balok dibebani secara bertahap sampai didapatkan beban maksimum.
3. Pembacaan beban pada alat *strain meter*.

3.6. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data benda uji dalam penelitian kali adalah dengan membuat 3 (tiga) balok beton dengan campuran semen : pasir : batu *pumice* yaitu 1 : 2 : 2 sebagai balok kontrol dari 6 (enam) balok yang terdiri dari 3 balok dengan campuran semen : pasir : kerikil 1 : 2 : 3, dan 3 balok dengan campuran semen : pasir : batu *pumice* yang dilapisi cat 1 : 2 : 2. Pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat hasil pengukuran P maksimum yang terjadi.

3.7. Analisa Data

Dari P maksimum yang didapat dari pengujian dapat ditentukan M_u dengan menggunakan analisis statis tidak tertentu yaitu dengan menggunakan penyelesaian *Metode Slope Deflection*.

Tahap penyelesaiannya *Metode Slope Deflection* adalah sebagai berikut :

8. Menghitung momen primer setiap ujung batang.

$$M_{AB}^F = \frac{Pab^2}{L^2} \quad (3-1)$$

$$M_{BA}^F = - \frac{Pab^2}{L^2} \quad (3-2)$$

9. Menentukan *Persamaan Slope Deflection* dari momen primer dan rotasi joint.

$$M_{AB} = M_{AB}^F + \frac{2EI}{L} (-2\theta_A - \theta_B) \quad (3-3)$$

$$M_{BA} = M_{BA}^F + \frac{2EI}{L} (-2\theta_B - \theta_A) \quad (3-4)$$

10. Menyusun persamaan simultan dengan mempertimbangkan syarat kesepadanan pada setiap joint, Misalnya:

- pada dukungan jepit, berarti $M \neq 0$ dan $\theta = 0$
- pada dukungan sendi, berarti $M = 0$ dan $\theta \neq 0$
- pada dukungan rol, berarti $M = 0$ dan $\theta \neq 0$
- pada pertemuan batang, berarti $M = 0$

11. Menyelesaikan persamaan simultan untuk memperoleh nilai-nilai θ (rotasi)

12. mendistribusikan nilai-nilai θ pada *Persamaan Slope Deflection* untuk memperoleh momen-momen ujung batang.

13. menghitung reaksi-reaksi dan momen-momen pada bagian tengah batang

14. Menggambar bidang momen, gaya lintang, dan gaya geser.

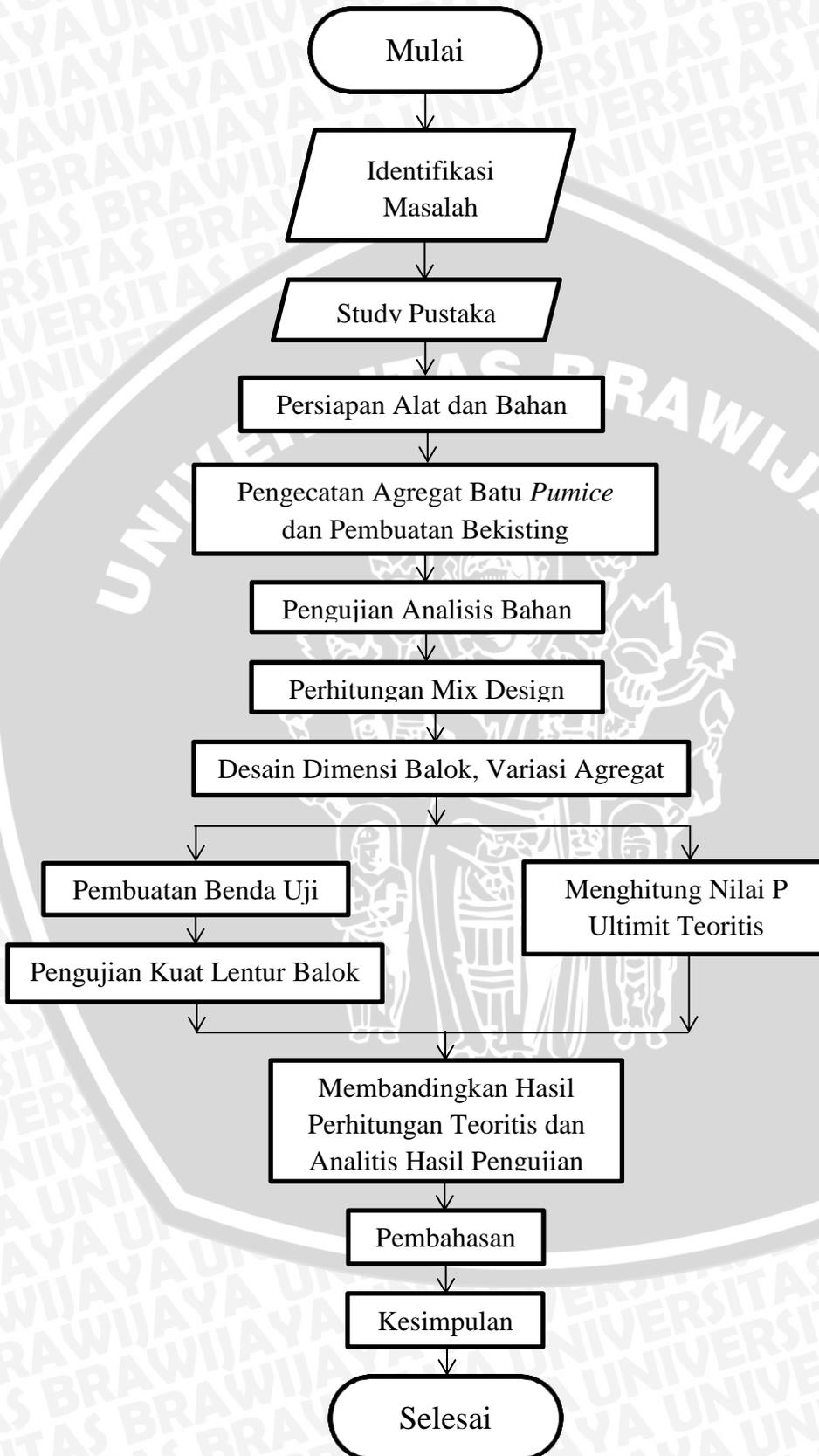
Pada poin enam (6) tahap diatas didapatkan nilai M_u yang terjadi. Sehingga didapatkan besar peningkatan beban dan kapasitas lentur yang terjadi pada masing-masing benda uji.

3.8. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas (*Independent variable*) yaitu variabel yang perubahnya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian kali ini yang merupakan variabel bebas adalah agregat batu *pumice* dan cat waterproof
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah Kekuatan lentur.

3.9 Diagram Langkah-Langkah Penelitian



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

7.1. Sifat-Sifat Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang

Pengujian utama dalam penelitian ini adalah pengujian pembebanan balok dengan dua beban terpusat yang simetris untuk setiap balok. Beberapa pengujian lain dilakukan untuk melengkapi data yang diperlukan dalam pengujian utama. Pengujian pendukung yang dilakukan itu adalah analisa agregat halus, analisa agregat kasar, pengujian beton segar dengan slump dan uji kuat tekan beton keras dengan benda uji silinder.

7.1.1. Semen

Semen yang digunakan adalah Semen Portland type 1 yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik yang mana umumnya digunakan untuk bangunan dan tidak memerlukan persyaratan khusus. Pada semen ini tidak dilakukan pemeriksaan lebih lanjut karena telah memenuhi syarat.

7.1.2. Air

Air merupakan suatu material yang sangat berpengaruh dalam pengecoran, air dalam prosesnya akan bercampur dengan semen dan akan beraksi bersama dalam proses pengerasan beton. Dalam penelitian ini air yang digunakan adalah air PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) Kotamadya Malang yang tersedia di laboratorium dan tidak dilakukan penganalisaan lebih lanjut karena telah memenuhi persyaratan.

7.1.3. Agregat Halus

Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan adalah pasir alam yang berasal dari Malang. Dari hasil analisis ayakan didapatkan pasir termasuk dalam daerah gradasi no. 2 berdasarkan ASTM. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pengujian Agregat Halus

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus Kehalusan	2,595
Berat Jenis SSD	2,670
Absorpsi (%)	3,22

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

3.1.4. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu *pumice* yang berasal dari Gunung Kelud serta batu pecah yang berasal dari Malang. Dari hasil analisis gradasi ayakan batu *pumice* dan batu pecah didapatkan ukuran butir batu *pumice* dan batu pecah termasuk kedalam max 40 mm. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.3**

Tabel 4.2 Pengujian Agregat Kasar Batu Pumice

Keterangan	Hasil Penelitian	
	Pumice	Pumice Cat
Modulus Kehalusan	7,872	7,872
Berat Jenis SSD	1,853	1,787
Absorpsi (%)	14	10,1

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.3 Pengujian Agregat Kasar Kerikil

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus Kehalusan	7,536
Berat Jenis SSD	2,599
Absorpsi (%)	3,2

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.4 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

	Pumice tanpa cat	Pumice dengan cat	Kerikil
Benda Uji Kering Udara (Bk) (gram)	1000	1000	1000
Benda Uji Jenuh Kering Permukaan (Bj) (gram)	1140	1101	1032
Benda uji Jenuh Kering permukaan dalam air (Ba) (gram)	525	485	635
Berat Jenis Curah :			
$\frac{Bk}{(Bj - Ba)}$	1,626	1,623	2,519
Berat Jenis Jenuh kering permukaan			
$\frac{Bj}{(Bj - Ba)}$	1,854	1,787	2,599
Berat Jenis semu :			
$\frac{Bk}{(Bk - Ba)}$	2,105	1,942	2,740
Penyerapan air			
$\frac{Bj - Bk}{Bk}$	14,0%	10,1%	3,2%

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

3.2. Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slump. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan dan kemudahan dalam campuran adukan beton. Nilai slump diperoleh dari besarnya penurunan beton segar yang dimasukkan ke dalam cetakan logam. Cara memasukan beton segar ke dalam cetakan ini yaitu dengan mengisi tiap 1/3 lapisan, dan tiap lapisannya ditusuk-tusuk sebanyak 25 tusukan. Berikut ini adalah data pengujian slump. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Pengujian Slump

	Pengecoran	Faktor Air Semen	Slump (cm)
Kerikil	I	0,6	9,5
	II	0,6	12
Pumice	I	0,6	13,5
	II	0,6	15
Pumice Cat	I	0,6	10,5
	II	0,6	14,5

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan tabel tersebut didapatkan nilai rata – rata untuk kerikil sebesar 10,75 cm, pumice sebesar 12,25 cm, dan pumice cat sebesar 13,125 cm. Hasil dari pengujian slump ini sesuai dengan PBI 1971.

Tabel 4.6. Nilai Standar Slump

	maks	min
-dinding	12,5	5
-pelat pondasi		
-pondasi telapak bertulang		
-pondasi telapak tidak bertulang	9	2,5
-kaison		
-konstruksi di bawah tanah		
-pelat	15	7,5
-balok		
-kolom		
-dinding		
pengerasanjalan	7,5	5
pembetonan masal	7,5	2,5

Sumber: PBI 1971

4.3. Pengujian Beton Keras

Pembuatan benda uji kuat tekan beton ini diambil 1 sampel dari setiap kali pengecoran. Sampel uji kuat tekan beton berbentuk silinder dengan dimensi diameter 8 cm dan tinggi 16 cm.

Proses perawatan atau *curing* benda uji silinder ini dilakukan dengan direndam selama 14 hari setelah 1 hari dilepas dari bekistingnya. Kemudian diangkat dan didiamkan hingga mencapai umur beton 28 hari. Kemudian dilakukan pengujian tekan. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada **Table 4.7**

Tabel 4.7 Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda Uji	Diameter (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	Berat Isi (kg/m ³)	P max (kn)	Fc (n/mm ²)	Fc rata-rata (n/mm ²)
Kerikil	8	803,84	1,75	2177,050	89	17,715	13,834
	8	803,84	1,85	2301,453	50	9,952	
Pumice	8	803,84	1,65	2052,647	82	16,322	14,530
	8	803,84	1,5	1866,043	64	12,739	
Pumice Cat	8	803,84	1,6	1990,446	59	11,744	14,133
	8	803,84	1,45	1803,842	83	16,521	

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.8 Hasil Berat Volume Silinder Beton

Benda Uji	Berat (kg)	Volume (cm ³)	Berat Volume (kg/m ³)	Berat Volume Rata-Rata (kg/m ³)
Kerikil	1,75	0,000804	2175,97	2238,14
	1,85	0,000804	2300,31	
Pumice	1,65	0,000804	2051,63	1958,37
	1,5	0,000804	1865,11	
Pumice Cat	1,6	0,000804	1989,46	1896,20
	1,45	0,000804	1802,94	

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari hasil pengujian kuat tekan beton tersebut didapat nilai kuat tekan beton rata-rata untuk agregat kerikil sebesar 13,834 Mpa, agregat batu *pumice* sebesar 14,53 Mpa, dan untuk agregat batu *pumice* cat sebesar 14,132 Mpa. sedangkan mutu beton yang direncanakan pada perencanaan *mix design* sebesar 20 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa beton yang digunakan belum sesuai dengan perencanaan *mix design*. Hal ini dikarenakan pada saat proses *curing* benda uji silinder kerikil tertindih oleh silinder berdiamter 15 cm dan tinggi 30 cm lain yang berada di atasnya, sehingga berpengaruh

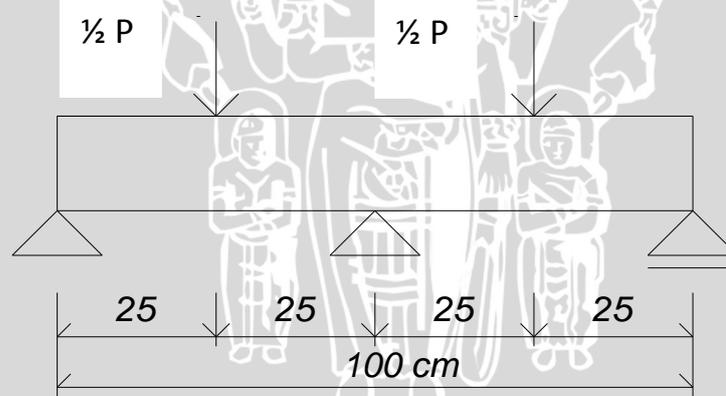
terhadap kuat tekan salah satu benda uji silinder kerikil. Selanjutnya nilai kuat tekan beton tersebut digunakan dalam analisis perhitungan beban maksimum (P_u) teoritis yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang tiga tumpuan

Pada **Tabel 4.8** hasil rata-rata berat volume silinder beton kerikil adalah 2238,14 kg/m^3 , pumice 1958,37 kg/m^3 , dan pumice cat 1896,2 kg/m^3 . Berdasarkan SNI 03-2847-2002, nilai berat volume benda uji dengan agregat kasar batu kerikil masuk ke dalam beton normal (2200 kg/m^3 – 2500 kg/m^3), namun benda uji dengan agregat kasar batu pumice yang merupakan beton ringan tidak masuk ke dalam beton ringan ($\leq 1900 \text{ kg/m}^3$). Sedangkan pumice cat masih termasuk ke dalam beton ringan karena berat volumenya lebih kecil dari 1900 kg/m^3 .

4.4. Analisis Perhitungan Beban Maksimum (P_u) Teoritis

4.4.1. Pemodelan Struktur

Sebelum melakukan analisa perhitungan beban maksimum (P_u) secara teoritis harus dilakukan pemodelan struktur terlebih dahulu. Balok ditumpu oleh tiga tumpuan yaitu sendi – sendi – rol. Beban yang bekerja diasumsikan sebagai beban vertikal terpusat di tengah bentang.

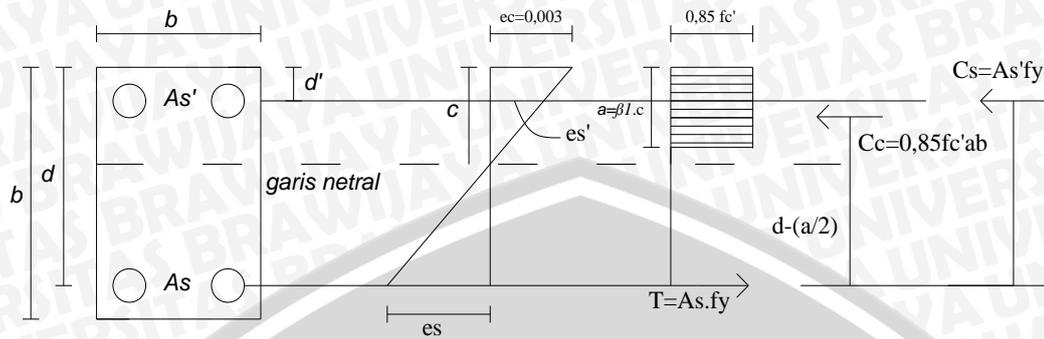


Gambar 4.1 Pemodelan Pembebanan Struktur

4.4.2. Kapasitas Lentur Teoritis

Perhitungan beban maksimum secara teoritis dilakukan dengan cara analisis penampang segiempat balok beton bertulang sehingga akan didapatkan kapasitas lenturnya. Balok menggunakan tulangan rangkap, Sehingga berlaku keseimbangan gaya, yaitu gaya tarik = gaya tekan. Di mana gaya tarik ($tension = T$) diberikan oleh

baja tulangan tarik, sedangkan gaya tekan (*compression* = C) diberikan oleh beton didaerah tekan (*compression concrete* = Cc)



Gambar 4.2 Analisis Balok Bertulang Rangkap

Dari hasil perhitungan teoritis yang terlampir pada lampiran 2 didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.9** berikut :

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Teoritis Kapasitas Lentur

Benda Uji	Fc' (Mpa)	Mn (Kgm)	Mu Lapangan (kgm)	Mu Tumpuan (kgm)	Pu (kg)
Perencanaan	20	369,949	314,457	377,348	8050,1
Kerikil	13,834	289,906	246,42	295,704	6308,358
<i>Pumice</i>	14,53	290,539	246,958	296,351	6322,146
<i>Pumice Cat</i>	14,133	290,386	246,828	296,194	6318,798

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari hasil perhitungan kapasitas lentur balok dan statis tak tentu menggunakan metode *Slope Deflection* didapat nilai beban maksimum (Pu) teoritis beton untuk agregat Kerikil sebesar 6308,358 kg, Agregat batu *Pumice* sebesar 6322,146 kg, dan Untuk Agregat batu *Pumice* cat sebesar 6318,798 kg. Sedangkan beban maksimum yang direncanakan sebesar 8050,1 kg. Selanjutnya hasil perhitungan teoritis tersebut akan digunakan sebagai pembandingan dengan hasil aktual pada benda uji.

4.5. Berat Volume Balok Beton

Dalam melakukan pengujian berat volume balok beton ini diperlukan beberapa data yang akan diukur. Data-data tersebut meliputi berat, panjang, lebar, dan tinggi balok. Proses pengambilan data tersebut dilakukan setelah balok beton tersebut berumur 28 hari yakni pada saat balok beton tersebut telah siap untuk diuji beban vertikal.

Pengukuran berat balok beton menggunakan timbangan, sedangkan pengukuran dimensi balok menggunakan meteran.

4.5.1. Hasil Pengukuran Balok Beton

Setelah dilakukan pengukuran terhadap dimensi balok beton bertulang, data hasil pengukuran diperlihatkan pada **Table 4.10**.

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Dimensi Balok Beton Aktual

No	Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)
1	K1	48,65	1,203	0,106	0,165
2	K2	48,45	1,203	0,103	0,165
3	K3	50,75	1,202	0,103	0,165
4	P1	42,1	1,202	0,105	0,165
5	P2	41,3	1,208	0,105	0,165
6	P3	43,45	1,203	0,106	0,165
7	PC1	42,9	1,208	0,103	0,165
8	PC2	42,05	1,206	0,104	0,165
9	PC3	41,04	1,202	0,103	0,17

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Keterangan :

- K1 = Benda uji beragregat kasar batu kerikil ke-1
- K2 = Benda uji beragregat kasar batu kerikil ke-2
- K3 = Benda uji beragregat kasar batu kerikil ke-3
- P1 = Benda uji beragregat kasar batu *pumice* ke-1
- P2 = Benda uji beragregat kasar batu *pumice* ke-2
- P3 = Benda uji beragregat kasar batu *pumice* ke-3
- PC1 = Benda uji beragregat kasar batu *pumice* dicat ke-1
- PC2 = Benda uji beragregat kasar batu *pumice* dicat ke-2
- PC3 = Benda uji beragregat kasar batu *pumice* dicat ke-3

4.5.2. Analisa Berat Volume Balok Beton

Setelah data berat dan dimensi balok beton didapatkan, maka selanjutnya dapat dilakukan analisa berat volume balok beton. Untuk menganalisa berat volume balok beton dibagi menjadi tiga kelompok yaitu balok beton beragregat kasar batu kerikil, balok beton beragregat kasar batu *pumice*, dan balok beton beragregat kasar batu *pumice* dicat. Perhitungan berat volume balok beton diperlihatkan pada table berikut ini:

Tabel 4.11 Analisa Berat Volume Balok Beton Beragregat Kasar Batu Kerikil

No	Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
1	K1	48,65	1,203	0,106	0,165	0,02104	2312,2107
2	K2	48,45	1,203	0,103	0,165	0,02044	2369,7743
3	K3	50,75	1,202	0,103	0,165	0,02043	2484,3364
Berat Volume Rata - Rata							2388,7738

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.12 Analisa Berat Volume Balok Beton Beragregat Kasar Batu Pumice

No	Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
1	P1	42,1	1,202	0,105	0,165	0,02082	2021,6426
2	P2	41,3	1,208	0,105	0,165	0,02093	1973,3761
3	P3	43,45	1,203	0,106	0,165	0,02104	2065,0679
Berat Volume Rata - Rata							2020,0289

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.13 Analisa Berat Volume Balok Beton Beragregat Kasar Pumice dicat

No	Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
1	PC1	42,9	1,208	0,105	0,165	0,02093	2049,8266
2	PC2	42,05	1,206	0,104	0,165	0,02069	2031,8957
3	PC3	41,04	1,202	0,103	0,17	0,02105	1949,9198
Berat Volume Rata - Rata							2010,5473

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata nilai berat volume pada balok beton bertulangan beragregat kasar kerikil sebesar 2388,7738 kg/m³, sedangkan rata-rata nilai berat volume pada balok beton bertulangan beragregat kasar batu *pumice* sebesar 2020,0289 kg/m³, dan rata-rata nilai berat volume pada balok beton bertulangan beragregat kasar batu *pumice* dicat sebesar 2010,5473 kg/m³.

Tabel 4.14 Perbandingan Berat Volume Rata – Rata Terhadap Balok Pumice

No	Benda Uji	Berat Volume Rata - Rata (kg/m ³)	Perbandingan selisih (%)
1	Kerikil	2388,7738	0
2	Pumice	2020,0289	-18,254
3	Pumice Cat	2010,5473	-18,723

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pada **Table 4.14** dapat diketahui besarnya pengaruh penambahan lapisan cat terhadap berat volume dari balok uji. Dengan penambahan lapisan cat tidak terjadi perubahan yang signifikan dari berat volume balok beton bertulang yaitu terjadi pengurangan berat volume sebesar 0,469% jika dibandingkan dengan balok beton beragregat kasar batu pumice biasa. Hal ini membuktikan dengan penambahan lapisan cat dapat mengurangi berat volume dari balok beton bertulang. Sedangkan untuk balok beton beragregat kasar kerikil memiliki berat volume yang terbesar

4.6. Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal

Pengujian kuat tekan lentur dilakukan dengan menggunakan dongkrak hidrolik dengan beban terpusat simetris. Balok berdimensi 10 x 15 x 120 cm, yang telah berumur 28 hari dipersiapkan dan diletakan di atas tumpuan. Kemudian dilakukan *setting* peralatan pengujian. Data yang akan diambil pada penelitian ini adalah beban maksimum yang mampu diterima oleh balok uji dan lendutan yang terjadi :



Gambar 4.3 Pembebanan Balok

4.6.1. Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji

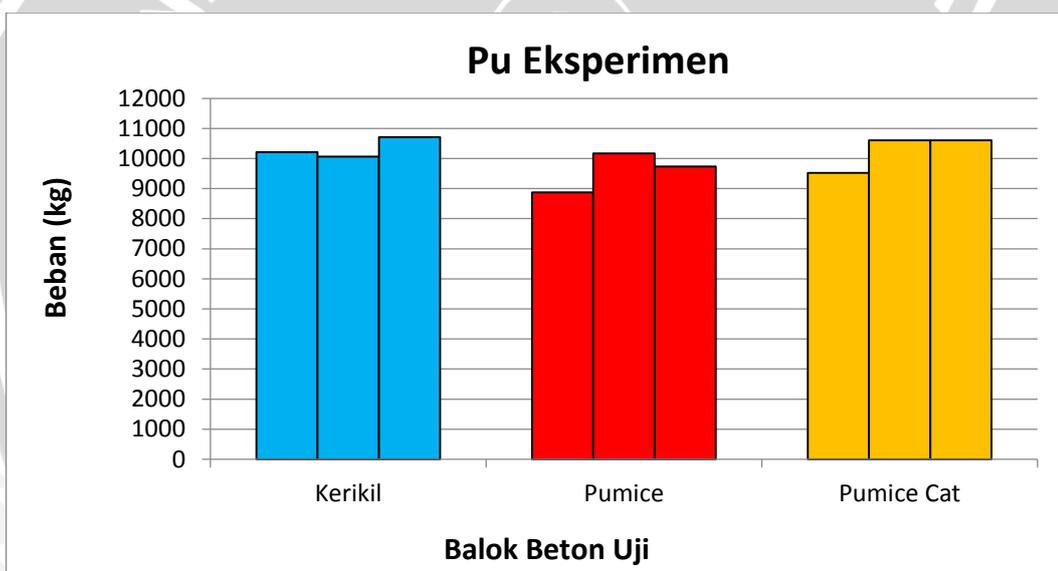
Setelah dilakukan pengujian balok beton terhadap beban vertikal, didapatkan data lendutan dan beban maksimum yang berkerja pada balok beton. Selanjutnya dilakukan perbandingan antara beban saat balok mencapai beban maksimum teoritis (P_u teoritis) dengan beban pengujian yang menggunakan dongkrak hidrolik (P_u eksperimen) diperlihatkan pada **Tabel 4.14**.

Tabel 4.15 Perbandingan Beban Maksimum Hasil Pengujian dan

Teoritis

Benda Uji	Pu Eksperimen (kg)	Rata – Rata Eksperimen (kg)	Pu Teoritis (kg)	Perbandingan Selisih (%)
Kerikil	10216	10328	6308,358	38,3
	10060		6308,358	37,3
	10708		6308,358	41,1
Pumice	8872	9592	6322,146	28,7
	10168		6322,146	37,8
	9736		6322,146	35,1
Pumice cat	9520	10240	6318,798	33,6
	10600		6318,798	40,4
	10600		6318,798	40,4

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

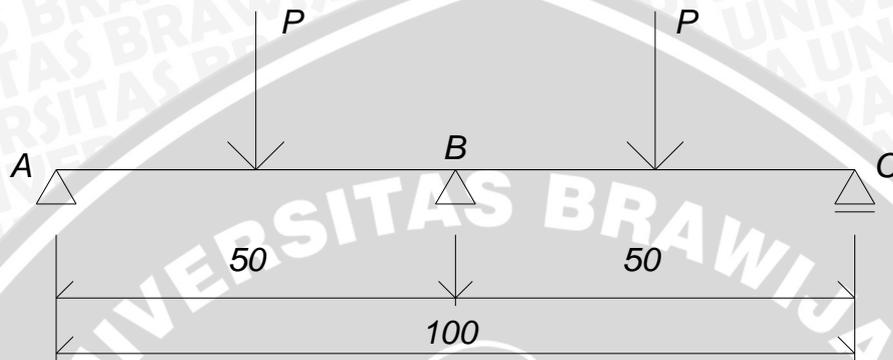


Gambar 4.4 Grafik Pu Eksperimen Belok Beton Uji

Berdasarkan **Tabel 4.15** dapat diketahui rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh masing – masing balok. Balok beragregat kasar kerikil mampu menahan beban yang paling besar yaitu rata – rata sebesar 10328 kg.. Sedangkan balok yang beragregat kasar batu *pumice* mampu menahan beban maksimum dengan rata – rata sebesar 9592 kg, lebih rendah dibandingkan dengan balok beragregat kasar batu *pumice* dicat yang mampu menahan beban maksimum dengan rata – rata sebesar 10240 kg.

4.6.2. Kuat Lentur Balok Uji

Setelah didapatkan data beban maksimum dari hasil pengujian maka dapat dilakukan perhitungan momen yang terjadi pada benda uji. Perhitungan momen menggunakan analisis statis tak tentu dengan metode *Slope Deflection*. Berikut langkah menghitung momen yang terjadi:



Gambar 4.5 Pemodelan Benda Uji Untuk Analisis Tak Tentu

- Perhitungan Momen Primer

$$M_{AB}^o = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P \cdot 0,25(0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA}^o = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P \cdot 0,25(0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC}^o = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P \cdot 0,25(0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{CB}^o = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P \cdot 0,25(0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

- Persamaan Slope Deflection : ($EI = 0,5$)

$$M_{AB} = M_{AB}^o + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_A + \theta_B) = -0,0625 \cdot P + 4\theta_A + 2\theta_B$$

$$M_{BA} = M_{BA}^o + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_B + \theta_A) = 0,0625 \cdot P + 4\theta_B + 2\theta_A$$

$$M_{BC} = M_{BC}^o + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_B + \theta_C) = -0,0625 \cdot P + 4\theta_B + 2\theta_C$$

$$M_{CB} = M_{CB}^o + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_C + \theta_B) = 0,0625 \cdot P + 4\theta_C + 2\theta_B$$

- Syarat Keseimbangan :

Pada titik B

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$
$$0,0625 \cdot P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625 \cdot P + 4\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$2\theta_A + 8\theta_B + 2\theta_C = 0 \dots\dots\dots (1)$$

Pada titik A

$$\begin{aligned} M_{AB} &= 0 \\ -0,0625 \cdot P + 4\theta_A + 2\theta_B &= 0 \\ 4\theta_A &= 0,0625 \cdot P - 2\theta_B \\ \theta_A &= 0,015625 \cdot P - 0,5\theta_B \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

Pada titik C

$$\begin{aligned} M_{CB} &= 0 \\ 0,0625 \cdot P + 4\theta_C + 2\theta_B &= 0 \\ 4\theta_C &= -0,0625 \cdot P - 2\theta_B \\ \theta_C &= -0,015625 \cdot P - 0,5\theta_B \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

Substitusi persamaan (2) dan (3) pada persamaan (1)

$$\begin{aligned} 2\theta_A + 8\theta_B + 2\theta_C &= 0 \\ 2(0,015625 \cdot P - 0,5\theta_B) + 8\theta_B + 2(-0,015625 \cdot P - 0,5\theta_B) &= 0 \\ -1\theta_B + 0,03125 \cdot P + 8\theta_B - 0,03125 \cdot P - 1\theta_B &= 0 \\ 6\theta_B &= 0 \\ \theta_B &= 0 \\ \theta_A &= 0,015625 \cdot P - 0,5 \cdot 0 \\ \theta_A &= 0,015625 \cdot P - 0,5 (0) = 0,015625 \cdot P \\ \theta_C &= -0,015625 \cdot P - 0,5 \cdot 0 \\ \theta_C &= -0,015625 \cdot P - 0,5 (0) = -0,015625 \cdot P \end{aligned}$$

• Kontrol :

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= 0 \\ M_{AB} &= -0,0625 \cdot P + 4\theta_A + 2\theta_B \\ M_{AB} &= -0,0625 \cdot P + 4(0,015625 \cdot P) + 2(0) \\ M_{AB} &= 0 \text{ P kgm (OK)} \\ \Sigma M_C &= 0 \\ M_{CB} &= 0,0625 \cdot P + 4\theta_C + 2\theta_B \\ M_{CB} &= 0,0625 \cdot P + 4(-0,015625 \cdot P) + 2(0) \\ M_{CB} &= 0 \text{ P kgm (OK)} \\ \Sigma M_B &= 0 \\ M_{BA} + M_{BC} &= 0 \\ 0,0625 \cdot P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625 \cdot P + 4\theta_B + 2\theta_C &= 0 \\ 0,0625 \cdot P + 4(0) + 2(0,015625 \cdot P) - 0,0625 \cdot P + 4(0) + 2(-0,015625 \cdot P) &= 0 \\ 0 &= 0 \text{ P kgm (OK)} \end{aligned}$$

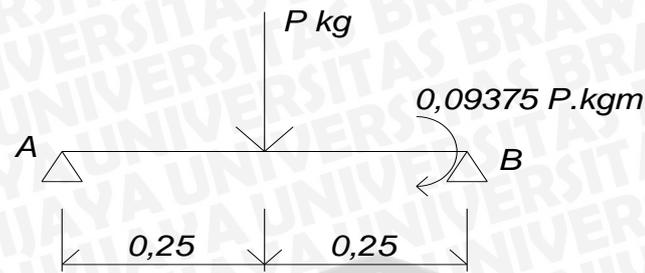
• Menghitung momen maksimum :

Bentang balok AB

Momen maksimum pada tumpuan didapat dari persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{BA} &= 0,0625 \cdot P + 4\theta_B + 2\theta_A \\ M_{BA} &= 0,0625 \cdot P + 4(0) + 2(0,015625 \cdot P) \\ M_{BA} &= 0,09375 \text{ P} \end{aligned}$$





Gambar 4.6 Pemodelan Benda Uji Bentang Balok AB

Berikut analisa untuk bentang AB.

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 \\ R_A(0,5) - P(0,25) + 0,09375P &= 0 \\ 0,5R_A - 0,25P + 0,09375P &= 0 \\ R_A &= \frac{0,15625P}{0,5} = 0,3125 Pkg \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= 0 \\ -R_B(0,5) + P(0,25) + 0,09375P &= 0 \\ -0,5R_B + 0,25P + 0,09375P &= 0 \\ R_B &= \frac{0,34375P}{0,5} = 0,6875 Pkg \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V &= 0 \\ R_A + R_B &= P \\ 0,3125P + 0,6875P &= P \\ P &= P \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Setelah di dapatkan persamaan R_A , maka dapat dicari persamaan untuk menghitung momen maksimum pada lapangan, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_{ul} &= 0,3125 P \times 0,25 \text{ m} \\ M_{ul} &= 0,078125 P \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perbandingan antara momen maksimum di lapangan saat runtuh teoritis (M_{ul} teoritis) dengan pengujian yang menggunakan dongkrak hidrolik (M_{ul} eksperimen). Momen maksimum lapangan teoritis didapat dari perhitungan pada lampiran 2. Momen maksimum lapangan dari hasil penelitian dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$M_{ul} = 0,078125 P$$

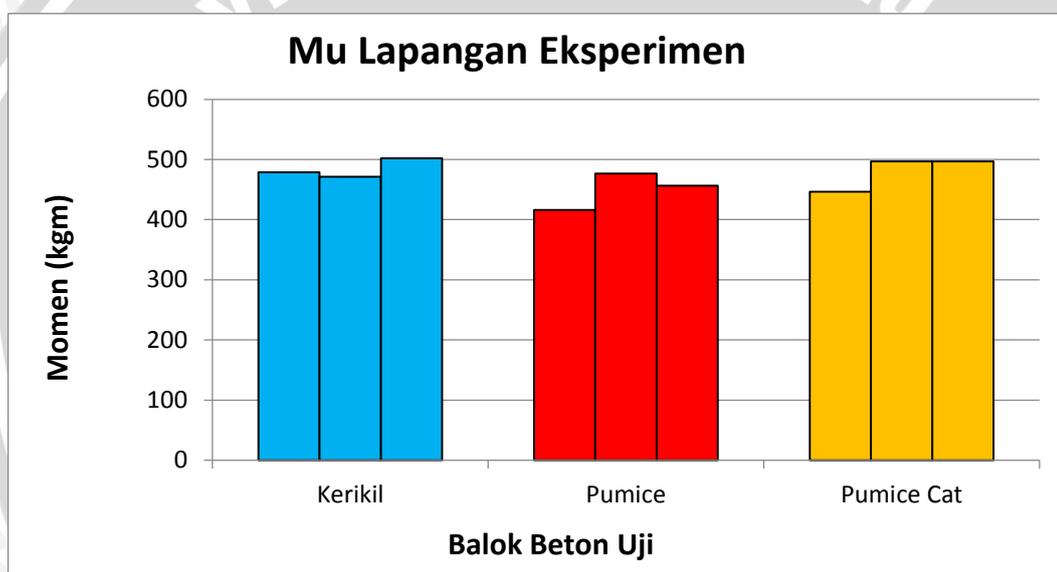
dengan :

- M_{ul} = Momen maksimum lapangan
- P = $\frac{1}{2}$ Beban maksimum

Tabel 4.16 Perbandingan Kuat Lentur Lapangan Hasil Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	Mu Lapangan Eksperimen (kgm)	Rata - Rata Eksperimen (kgm)	Mu Lapangan Teoritis (kgm)	Perbandingan Selisih (%)
Kerikil	399,0625	403,4375	246,42	38,3
	392,96875		246,42	37,3
	418,28125		246,42	41,1
Pumice	346,5625	374,6875	246,958	28,7
	397,1875		246,958	37,8
	380,3125		246,958	35,1
Pumice cat	371,875	400	246,828	33,6
	414,0625		246,828	40,4
	414,0625		246,828	40,4

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.7 Grafik Mu Lapangan Eksperimen Belok Beton Uji

Begitu pula pada bagian tumpuan. Dilakukan perbandingan antara momen maksimum di tumpuan saat runtuh teoritis (M_{ut} teoritis) dengan pengujian yang menggunakan dongkrak hidrolik (M_{ut} eksperimen). Momen maksimum tumpuan teoritis didapat dari perhitungan pada lampiran 2. Momen maksimum tumpuan dari hasil penelitian dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$M_{ut} = 0,09375 P$$

dengan :

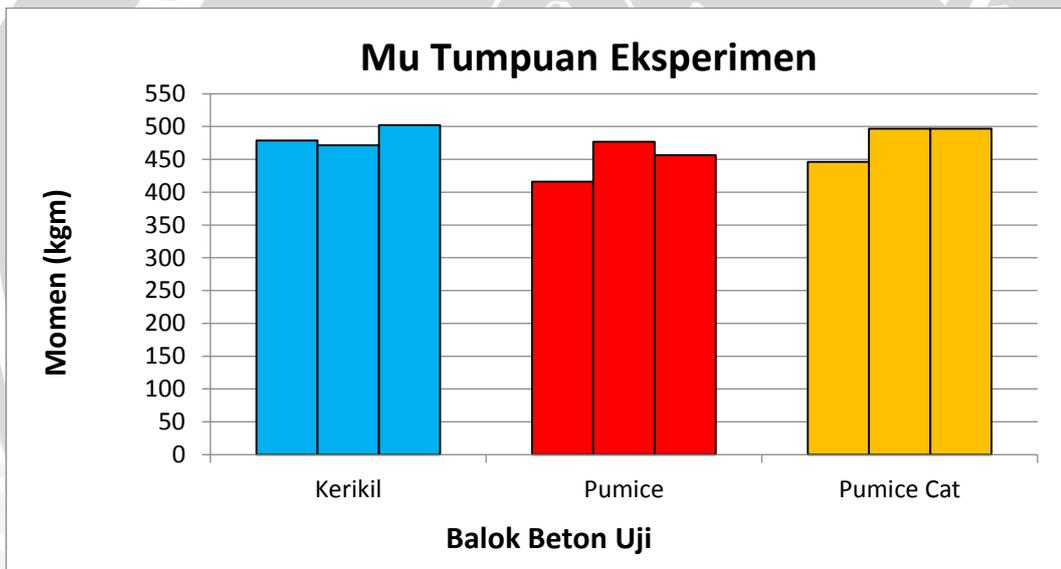
M_{ut} = Momen maksimum tumpuan

P = $\frac{1}{2}$ Beban maksimum

Tabel 4.17 Perbandingan Kuat Lentur Tumpuan Hasil Pengujian dan Teoritis

Benda Uji	Mu Tumpuan Eksperimen (kgm)	Rata – Rata Eksperimen (kgm)	Mu Tumpuan Teoritis (kgm)	Perbandingan Selisih (%)
Kerikil	478,875	484,125	295,704	38,3
	471,5625		295,704	37,3
	501,9375		295,704	41,1
Pumice	415,875	449,625	296,351	28,7
	476,625		296,351	37,8
	456,375		296,351	35,1
Pumice cat	446,25	480	296,194	33,6
	496,875		296,194	40,4
	496,875		296,194	40,4

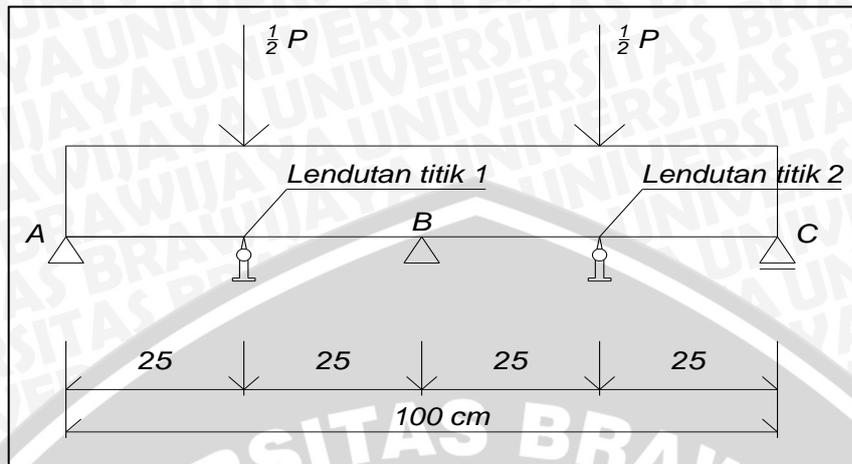
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.8 Grafik Mu Tumpuan Eksperimen Belok Beton Uji

Berdasarkan **Tabel 4.16** dan **Tabel 4.17** dapat diketahui besarnya nilai kuat lentur balok uji. Balok beton beragregat kasar batu *pumice* memiliki kuat lentur rata – rata pada bagian lapangan sebesar 374,687 kgm dan pada bagian tumpuan sebesar 449,625 kgm. Sedangkan balok beragregat kasar batu *pumice* dicat memiliki kuat lentur yang lebih besar yaitu pada bagian lapangan sebesar 400 kgm dan pada bagian tumpuan sebesar 480 kgm. Balok beton beragregat kasar kerikil memiliki kuat lentur rata – rata yang paling besar yaitu pada bagian lapangan sebesar 403,437 kgm dan pada bagian tumpuan sebesar 484,125 kgm

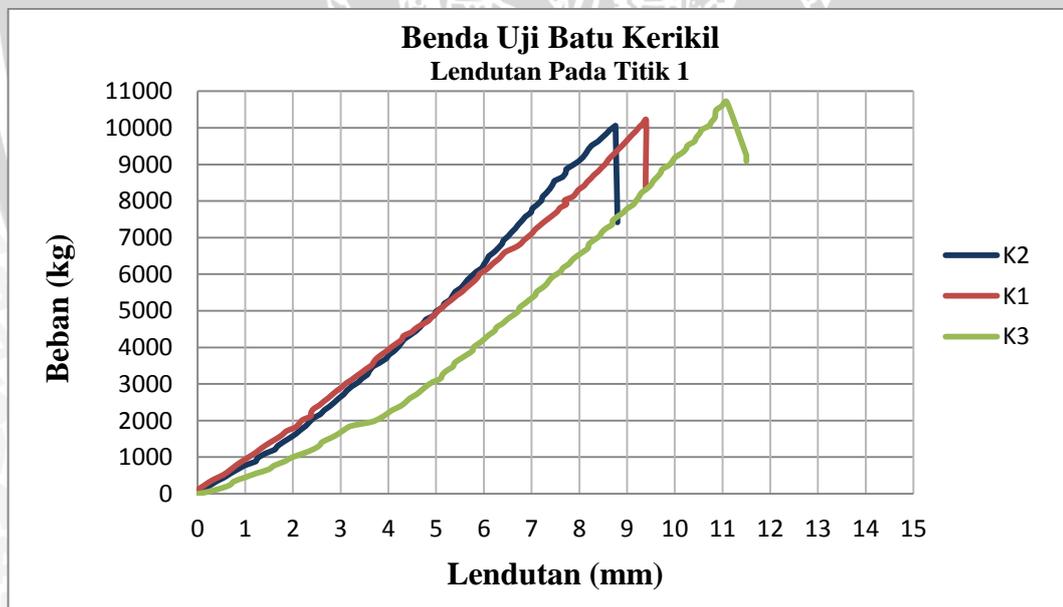
4.6.3. Hubungan Antara Beban dan Lendutan



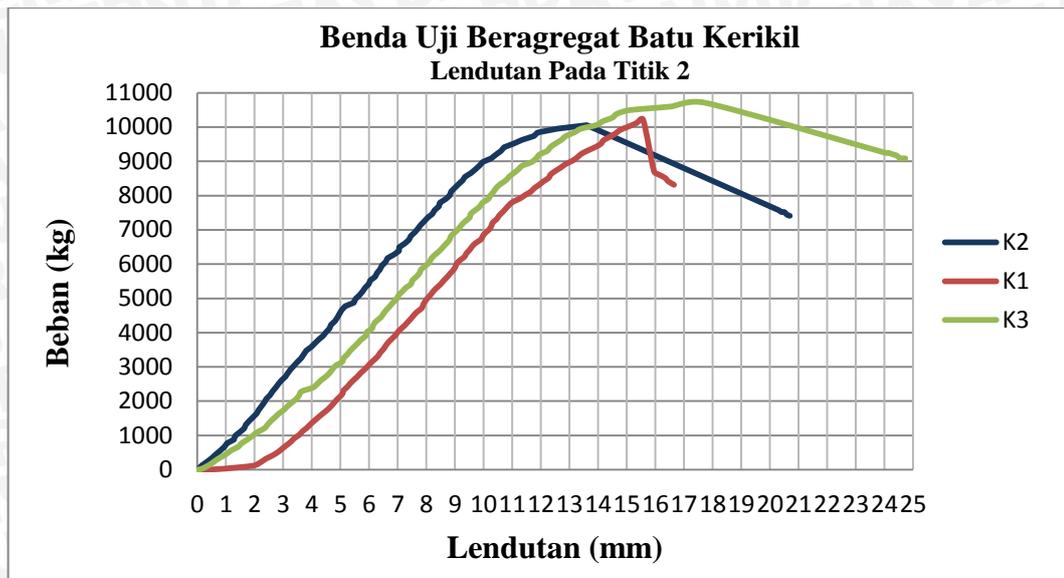
Gambar 4.9 Tapak Balok Titik Pembacaan Lendutan

Dari hasil pengujian laboratorium terhadap kekuatan lentur balok beton bertulang tiga tumpuan menggunakan pompa hidrolis didapatkan grafik hubungan antara beban dan lendutan, sebagai berikut :

1.) Balok Uji Kerikil



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 Untuk Benda Uji Batu Kerikil

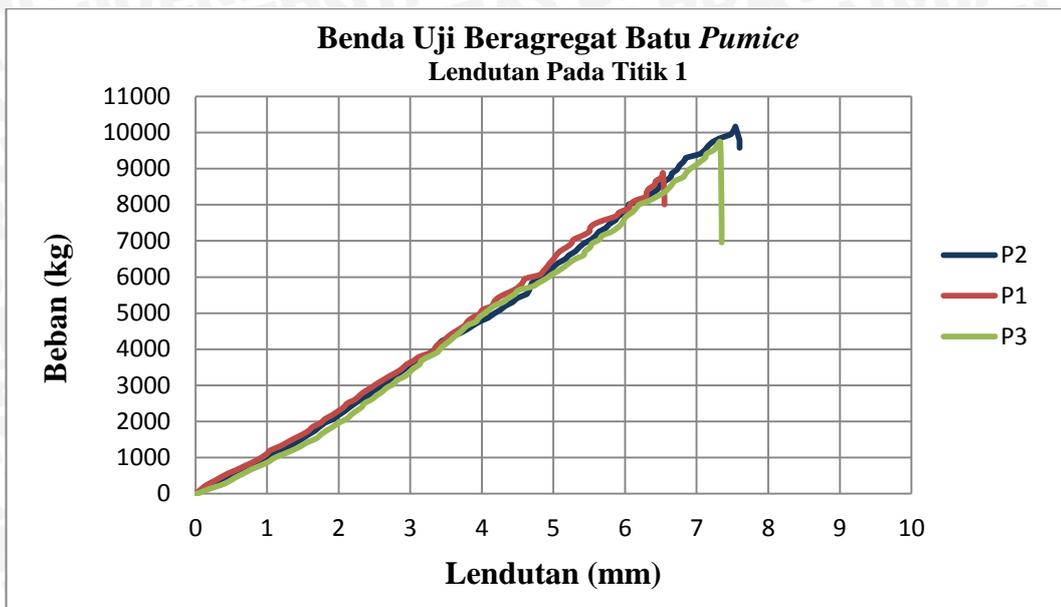


Gambar 4.11 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 Untuk Benda Uji Batu Kerikil

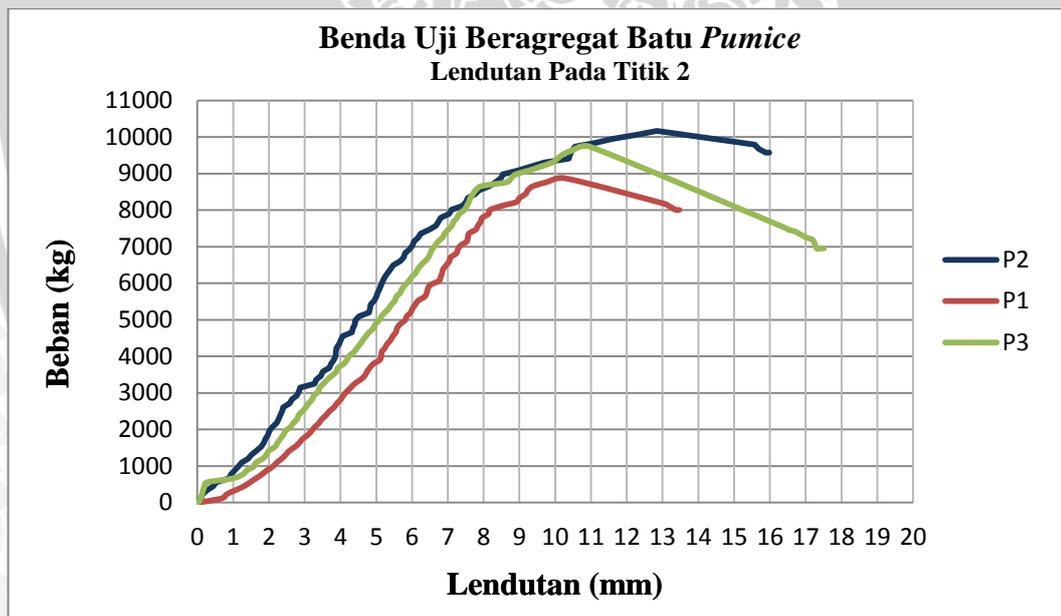
Dari **Gambar 4.10** dan **Gambar 4.11** dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji beragregat kasar batu kerikil. Lendutan pada Titik 1 (diantara tumpuan sendi – sendi) memiliki kemiringan grafik yang lebih besar dibandingkan dengan lendutan pada Titik 2 (diantara tumpuan sendi – rol). Pada saat mencapai beban maksimum pembacaan lendutan pada titik 1 tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Sedangkan lendutan pada titik 2 terus mengalami kenaikan.

Pada **Gambar 4.11** benda uji K1 dapat menahan beban maksimum sebesar 10216 kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih kecil dibandingkan dengan dua balok yang lainnya. Benda uji K2 dapat menahan beban maksimum sebesar 10060 kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih besar dibandingkan dengan dua balok yang lainnya. Benda uji K3 dapat menahan beban maksimum sebesar 10708 kg dan sudut kemiringan awal relative lebih kecil dibandingkan dengan benda uji K2.

2) Balok Uji *Pumice*



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 Untuk Benda Uji Batu *Pumice*

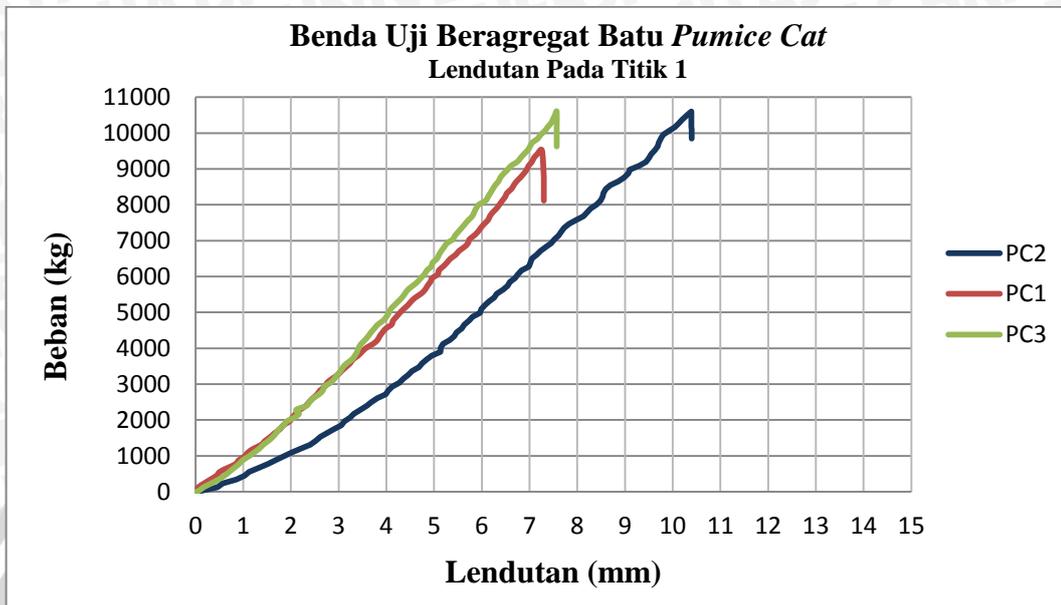


Gambar 4.13 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 Untuk Benda Uji Batu *Pumice*

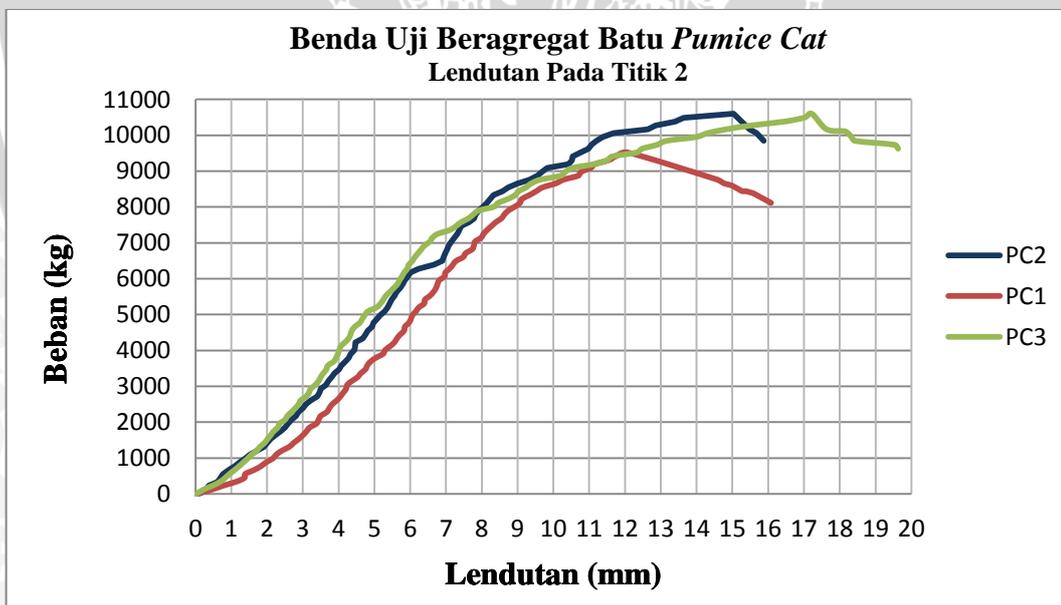
Dari **Gambar 4.13** dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji beragregat kasar batu *pumice*. Benda uji P1 dapat menahan beban maksimum sebesar 8872 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif lebih kecil dibandingkan dengan dua balok yang lainnya. Benda uji P2 dapat menahan beban maksimum sebesar 10168 kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih besar

dibandingkan dengan benda uji P1. Benda uji P3 dapat menahan beban maksimum sebesar 9736 kg dan sudut kemiringan awal tidak jauh berbeda dengan benda uji P2.

3) Balok Uji *Pumice Cat*



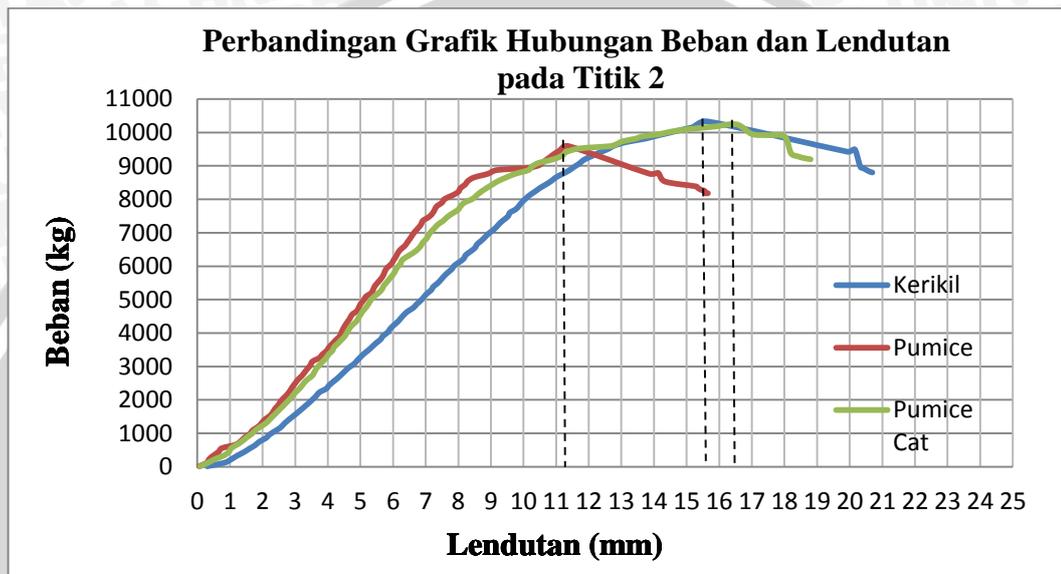
Gambar 4.14 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 Untuk Benda Uji Batu *Pumice Cat*



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 Untuk Benda Uji Batu *Pumice Cat*

Dari **Gambar 4.15** tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji beragregat kasar batu *pumice dicat*. Benda uji

PC1 dapat menahan beban maksimum sebesar 9520 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif lebih kecil dibandingkan dengan dua balok yang lainnya. Benda uji P2 dapat menahan beban maksimum sebesar 10060 kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih besar dibandingkan dengan benda uji P1. Benda uji P3 dapat menahan beban maksimum sebesar 10060 kg dan sudut kemiringan awal tidak jauh berbeda dengan benda uji P2.



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Hubungan Lendutan dan Beban Maksimum Benda Uji

Pada **Gambar 4.16** menjelaskan kapasitas beban maksimum yang terjadi pada masing – masing benda uji. Pada balok control yaitu balok beton bertulang dengan agregat kasar batu kerikil memiliki kapasitas beban maksimum rata – rata sebesar 1038 kg. Namun pada balok beton bertulang dengan agregat kasar batu *pumice* terjadi penurunan kapasitas beban maksimum rata – rata yaitu sebesar 9592 kg. Dengan penambahan lapisan cat pada agregat kasar batu *pumice* mampu meningkatkan kapasitas beban maksimum rata – rata menjadi sebesar 10240 kg. Dengan demikian penambahan lapisan cat pada agregat kasar batu *pumice* dapat meningkatkan kekuatan dari balok beton dengan agregat kasar batu *pumice*

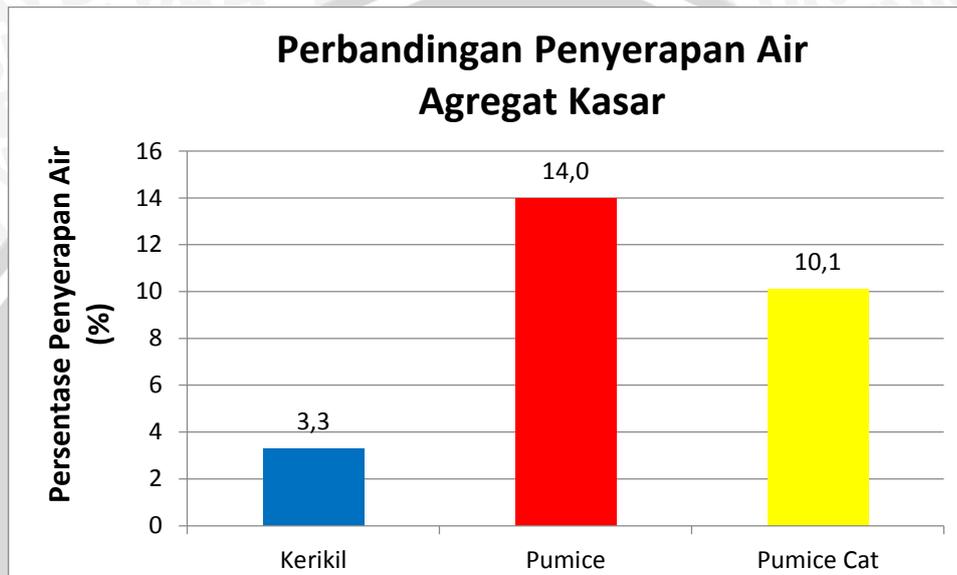
4.7. Pembahasan

4.7.1. Analisis Penyerapan Air Agregat Kasar

Tabel 4.18 Penyerapan Air Agregat Kasar

Keterangan	<i>Pumice</i>	<i>Pumice</i> cat	Kerikil
Penyerapan air	14,0%	10,1%	3,2%

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Persentase Penyerapan Air Agregat Kasar

Tabel 4.18 dan Gambar 4.17 menunjukkan bahwa agregat kerikil memiliki persentase penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan dengan agregat pumice yaitu sebesar 3,2 %. Sedangkan agregat kasar batu *pumice* memiliki penyerapan air sebesar 14 %. Hal tersebut terjadi karena karakteristik dari batu pumice yang memiliki rongga – rongga pori yang besar dibandingkan dengan batu kerikil, sehingga air dapat meresap masuk kedalam pori ketika dalam kondisi kering.

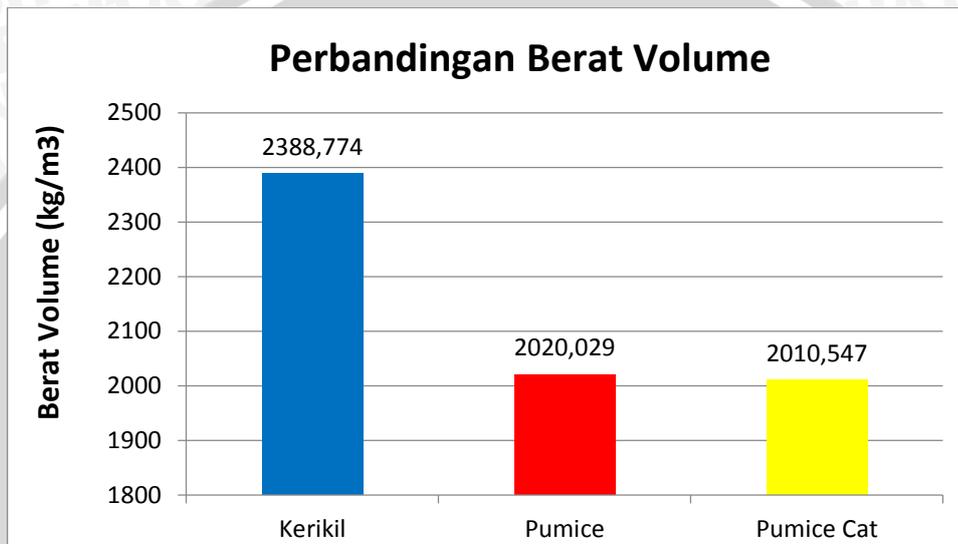
Dengan penambahan lapisan cat pada agregat kasar didapatkan nilai penyerapan air sebesar 10,1 %. Terjadi penurunan prosentase penyerapan air dibandingkan dengan batu pumice biasa. Hal ini dikarenakan rongga – rongga pori pada agregat kasar batu pumice cat telah terisi dan terlindungi oleh lapisan cat, sehingga terjadi penurunan penyerapan air sebesar 3,9 %. Sehingga dapat disimpulkan terdapat pengaruh penambahan cat pada agregat kasar batu pumice terhadap penyerapan air.

4.7.2. Analisis Kekuatan Lentur Balok

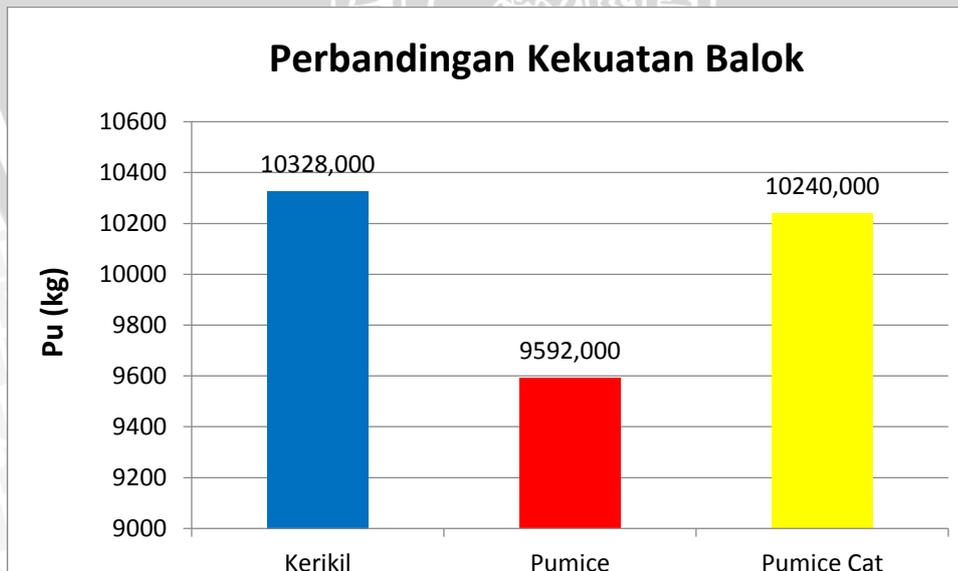
Tabel 4.19 Analisis Kekuatan Lentur Balok

Benda Uji	Berat Volume (kg/m ³)	Perbandingan Selisih Berat Volume (%)	Pu (kg)	Mu Tumpuan (kgm)	Mu lapangan (kgm)	Perbandingan Selisih Kuat Lentur (%)
Kerikil	2388,774	0	10328	484,125	403,438	0
Pumice	2020,029	-18,254	9592	449,625	374,688	-7,67
Pumice Cat	2010,547	-18,723	10240	480	400	-0,91

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Berat Volume Rata – Rata Benda Uji



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Kekuatan Balok Uji

Pada **Tabel 4.19** dijelaskan bahwa balok beton bertulang beragregat kasar kerikil sebagai balok kontrol memiliki berat volume sebesar 2388,774 kg/m³ dan

mampu menahan beban maksimum sebesar 10328 kg, dengan momen pada bagian tumpuan sebesar 484,125 kg/m dan momen pada bagian lapangan sebesar 403,438 kg/m. Pada balok beton bertulang dengan agregat kasar batu *pumice* biasa memiliki berat volume sebesar 2020,029 kg/m³ dan mampu menahan beban sebesar 9592 kg dengan momen pada bagian tumpuan sebesar 449,625 kg/m dan momen pada bagian lapangan sebesar 374,688 kg/m, dengan persentase pengurangan pada berat volume terhadap balok kontrol sebesar 18,254% dan persentase pengurangan kekuatan lentur sebesar 7,67%. Terjadinya pengurangan berat volume dan kekuatan tersebut terjadi karena batu *pumice* merupakan batuan vulkanik yang memiliki rongga sehingga lebih ringan dan kekuatannya lebih rendah dibandingkan dengan batu kerikil.

Sedangkan pada balok beton bertulang dengan agregat kasar batu *pumice* dengan lapisan cat memiliki berat volume sebesar 2010,547 kg/m³ dan mampu menahan beban maksimum sebesar 10240 kg dengan momen pada bagian tumpuan sebesar 480 kg/m dan momen pada bagian lapangan sebesar 400 kg/m, dengan persentase pengurangan berat volume terhadap balok kontrol sebesar 18,723% dan persentase pengurangan kekuatan lentur sebesar 0,91%. Dengan demikian dapat dilihat bahwa pengaruh penambahan lapisan cat pada agregat kasar batu *pumice* yaitu dapat meningkatkan kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebesar 6,76% jika dibandingkan dengan beton bertulang dengan agregat kasar batu *pumice* biasa.

Maka dapat disimpulkan seperti pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19** bahwa dengan membandingkan balok beton bertulang dengan agregat kasar batu *pumice* biasa dengan *pumice* cat, dengan berat volume yang tidak jauh berbeda namun balok dengan agregat *pumice* cat mampu menahan beban lebih besar. Hal tersebut membuktikan bahwa dengan penambahan lapisan cat pada agregat kasar batu *pumice* tidak terlalu mempengaruhi terhadap perubahan berat volume. Namun penambahan lapisan cat dapat meningkatkan kekuatan lentur dari balok beton bertulang dengan agregat batu *pumice* yaitu terjadi peningkatan sebesar 6,76%.

BAB V

PENUTUP

12.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

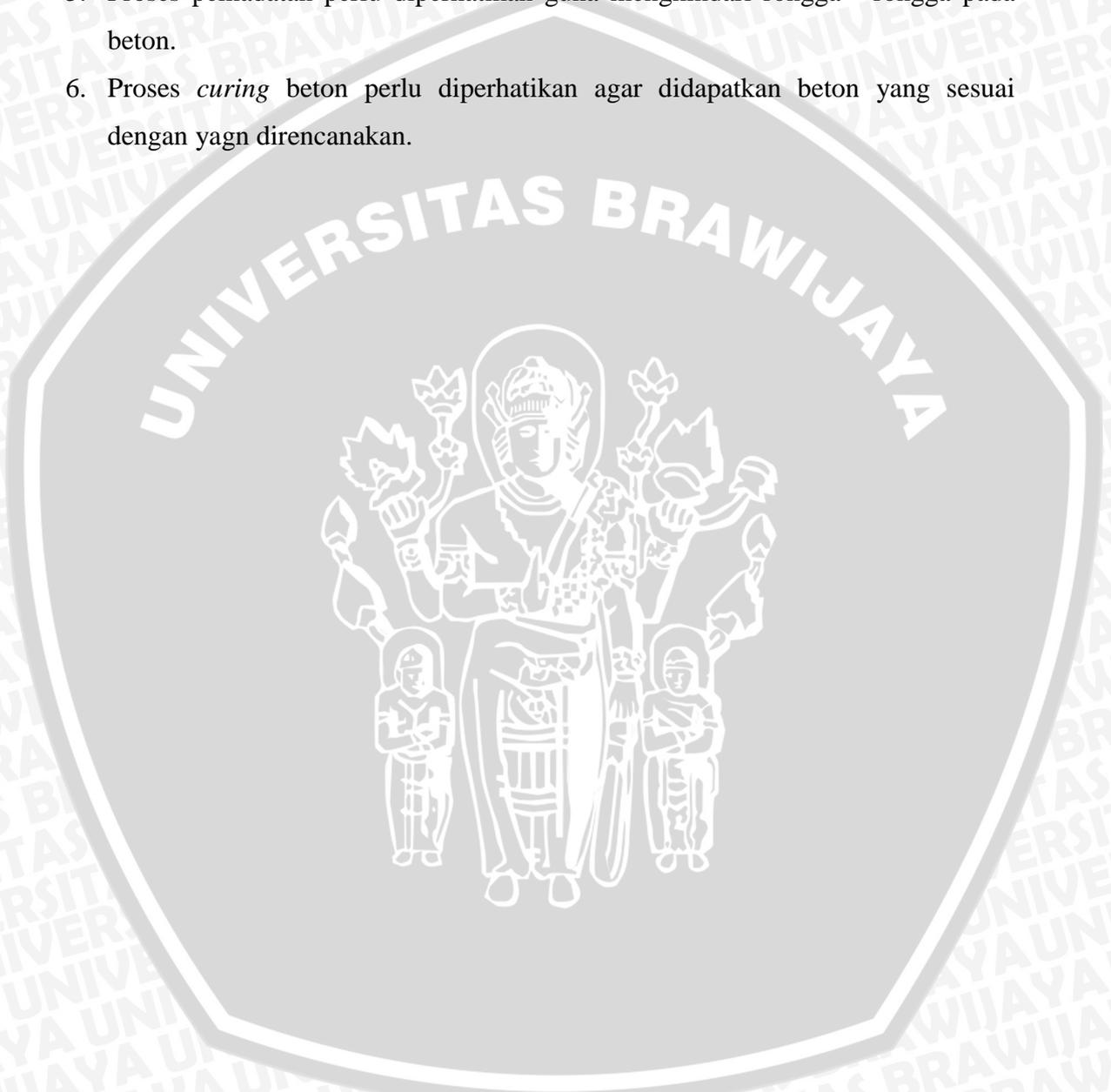
1. Dengan penambahan lapisan cat pada agregat kasar batu *pumice* terjadi penurunan penyerapan air pada agregat kasar batu *pumice* sebesar 3,9%.
2. Dengan penambahan lapisan cat terjadi penurunan berat balok. Balok dengan menggunakan agregat kasar *pumice* yang dicat memiliki rata – rata berat sebesar 42,12 kg sedangkan balok dengan agregat kasar *pumice* biasa sebesar 42,28 kg.
3. Dengan penambahan lapisan cat pada agregat kasar batu *pumice* terjadi peningkatan kekuatan lentur pada balok beton bertulang dengan agregat kasar batu *pumice* tiga tumpuan sebesar 6,76 %.
4. Dengan membandingkan balok beton normal dengan batu *pumice* yang *dicat*, terjadi penurunan berat volume sebesar 18,254%. yaitu dari sebesar 2388,774 kg/m³ menjadi sebesar 2010,547 kg/m³. Sedangkan kekuatan lentur balok beragregat kasar *pumice* yang dicat mendekati kekuatan lentur balok normal, hanya memiliki perbedaan sebesar 0,91%.

12.2. Saran

Dalam penelitian ini peneliti menyadari masih banyak kekurangan. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya, peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh tebal lapisan cat, jenis cat, serta metode pelaksanaan pengecatan yang baik untuk mendapatkan hasil yang lebih sempurna.
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik perlu dilakukan pengujian agregat terlebih dahulu, untuk mengetahui apakah agregat tersebut sudah memenuhi syarat yang ada di ASTM.

3. Untuk penelitian selanjutnya perlu diperhatikan komposisi campuran untuk beton ringan dan beton normal, untuk mengetahui apakah sudah sesuai dengan ketentuan SNI.
4. Perlu diperhatikan proses pencampuran semen, air, pasir, dan kerikil kedalam molen sehingga mendapatkan hasil yang lebih baik
5. Proses pemadatan perlu diperhatikan guna menghindari rongga - rongga pada beton.
6. Proses *curing* beton perlu diperhatikan agar didapatkan beton yang sesuai dengan yang direncanakan.



DAFTAR PUSTAKA

- Bideci, Alper ., Haydar Gultekin, Ali., Yildirim, Hasan., Oymael, Sabit., Salli Bideci, Ozlem. 2014. Polymer coated pumice and their properties, *Science Direct*
- Candra Rahmadyanto dan Wuryati Samekto. 2001, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kanisius
- Carrier, 1995; P.J. Moss, 1970 dalam *Pumice Aggregates for Structural Lightweight and Internally Cured Concretes*
- Dipohusodo, Istimawan. 1998, *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Ditjen Cipta Karya. 1971. *Peraturan Beton Indonesia Tahun 1971*. Jakarta: DitjenCiptaKarya
- G. Nawy, Edward. 1999. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Eresco.
- Honing, J. 1984, *Konstruksi Beton*. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Nurlina, S. 2008. *Struktur Beton*. Malang : Srikandi.
- Penuntun Praktikum Laboratorium Struktur dan Bahan*. Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang : Srikandi
- Phil M. Ferguson. 1986, *Dasar-dasar Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga
- SNI 03-2834-2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Jakarta: Badan Standadisasi Nasional BSN.
- SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Bandung : Badan Standardisasi Nasional BSN
- Yoso Wigroho, Haryanto. 1999. *Analisis Struktur Statik Tidak Tertentu*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya Yogyakarta

LAMPIRAN 1

Pemeriksaan & Analisis Bahan Campuran



PEMERIKSAAN DAN ANALISIA BAHAN CAMPURAN

I. Pemeriksaan Agregat Halus

A. Gradasi Agregat Halus

Tujuan :

- Menentukan gradasi agregat halus
- Menentukan modulus kehalusan agregat halus

Bahan :

- Pasir seberat 1 kg

Peralatan :

- Timbangan dengan ketelitian 0,2% dari benda uji
- Satu set ayakan dengan diameter berurutan sebagai berikut : 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (no.4); 2,36 mm (no.8); 1,18 (no.16); 0,6 mm (no.30); 0,3 mm (no.50); 0,15 mm (no.100); 0,075 mm (no. 200).
- Talam, ember dan kuas

Pelaksanaan :

- Siapkan bahan pasir seberat 1 kg.
- Benda uji diisikan pada seri ayakan yang telah disusun sedemikian rupa sehingga ayakan yang berukuran lebih besar berada diatas dan diayak dengan gerakan yang konstan selama kurang lebih 5 menit.
- Bahan yang tertinggal di atas masing-masing ayakan ditimbang.

Data dan hasil perhitungan analisa ayakan untuk agregat halus :

Tabel L1.1 Data Hasil Analisa Ayakan Agregat Halus

Lubang Saringan		Pasir				
		Tertinggal		%Kumulatif		ASTM C-33
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos	
3"	76,2	0	0	0	100	
2.5"	63,5	0	0	0	100	
2"	50,8	0	0	0	100	
1.5"	38,1	0	0	0	100	
1"	25,4	0	0	0	100	
3/4"	19,1	0	0	0	100	
1/2"	12,7	0	0	0	100	
3/8"	9,5	0	0	0	100	100
4	4,76	23	2,30	0	97,69	95--100
8	2,38	24	2,40	2,40	95,28	80-100
16	1,19	256,3	25,74	28,15	69,54	50-85
20	0,600	231,2	23,22	51,38	46,31	25-60
50	0,300	318,4	31,98	83,36	14,33	10-30
100	0,150	108,6	10,91	94,26	3,43	2-10
200	0,075	26,2	2,63	96,90	0,79	
Pan		7,9	0,79	97,69	0	
Jumlah		995,60	98	259,56		

Sumber : Hasil Penelitian

Catatan : Standar ASTM C33-90. Modulus kehalusan agregat halus: 2,3 – 3,1

Modulus kehalusan pasir

$$FM_s = \frac{\sum(\% \text{ kumulatif tertinggal ayakan no.3/8" sampai no.100})}{100}$$

$$= \frac{2,40+28,15+51,38+83,36+94,26}{100}$$

$$= \frac{259,55}{100}$$

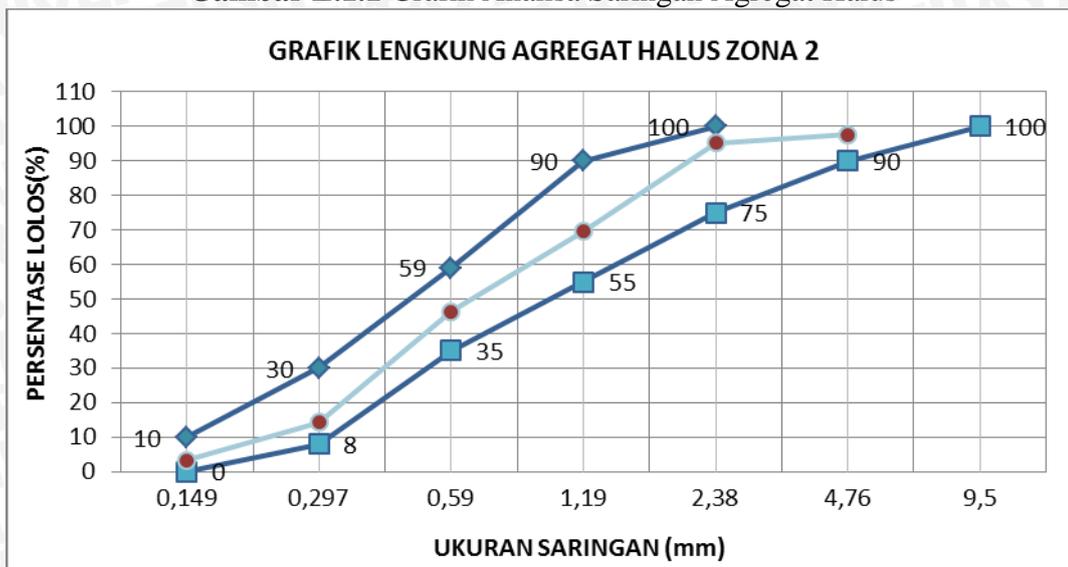
$$= 2,5955$$

Berarti agregat halus memenuhi standar ASTM C33-90

- Sisa diatas ayakan 4 mm = 2,3 % \geq 2 %
- Sisa diatas ayakan 1 mm = 28,15 % \geq 10 %
- Sisa diatas ayakan 0, 25 mm = 83,36 % \geq berkisar antara (80 – 95) %

Berdasarkan grafik zona gradasi butiran dapat disimpulkan bahwa agregat halus (pasir) yang digunakan termasuk dalam zona 2 karena berada dalam batas daerah batas zona 2, seperti pada grafik berikut:

Gambar L.1.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus



Sumber : Hasil Penelitian



B. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Tujuan :

- Menentukan besarnya berat jenis (Bulk Specific Gravity) agregat halus
- Mengetahuui besarnya penyerapan air agregat halus

Bahan :

- Timbangan
- Picnometer kapasitas 500 ml
- Kerucut terpancung diameter atas (40±3)mm, diameter bawah (90±3)mm dan tinggi (75±3)mm dibuat dari logam tebal ≥0,8 mm.
- Batang penumbuk dengan bidang penumbuk rata, berat (340) gr dan diameter (25) mm
- Saringan no. 4 (4,75) mm
- Oven

Berikut ini data dan hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus :

Tabel L1.2 Data Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

NOMOR CONTOH			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	(gr)	500
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	484,4
Berat benda uji dalam air	B	(gr)	677,4
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt	(gr)	989,8

NOMOR CONTOH			B
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$Bk/(B+500-Bt)$		2,58
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$500/(B+500-Bt)$		2,67
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	$Bk/(B+Bk-Bt)$		2,82
Penyerapan (%) (Absorption)	$(500-Bk)/Bk \times 100\%$		3,220

Sumber : Hasil Penelitian

C. Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

Tujuan :

- Menentukan besarnya berat isi agregat halus

Bahan :

- Timbangan
- Tongkat tumbuk baja
- Kotak Takar dan ember

Berat isi agregat halus adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air. Nilai berat isi didapat dengan mengambil nilai rata-rata dari pemeriksaan berat isi dengan cara *rodded* dan *shoveled*.

Berikut ini data dan hasil perhitungan berat isi agregat halus :

Tabel L.1.3 Pemeriksaan berat isi agregat halus

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)	(cc)	1912,0	1912,0
	CARA		RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1050	1050
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4600	4350
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3550	3300
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	2693,5	2530,3
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	2611,9	

Sumber : Hasil Penelitian

Dari pengujian berat isi agregat halus didapat nilai berat isi untuk berat isi padat sebesar 2693,5 gr/cc dan berat isi lepas 2530,3 gr/cc. Sehingga didapatkan nilai berat isi pasir rata-rata adalah 2611,9 gr/cc.

D. Kadar Air Agregat Halus

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dan berat kering yang dinyatakan dalam persentase. Kadar air menentukan mutu beton yang dihasilkan. Selain itu juga berfungsi untuk menentukan besarnya kandungan air, pasir, dan kerikil untuk mix design.

Berdasarkan SNI-15-1990-30 Bab 4 Pengerjaan Perencanaan Campuran Beton, disebutkan bahwa:

- Kadar air harus memenuhi harga $\leq 6,5$

Tujuan :

- Menentukan persentase kadar air yang dikandung oleh agregat halus

Bahan :

- Pasir alam

Alat :

- Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat benda uji
- Oven pengatur suhu kepastian 100 – 110°C
- Talam

Pelaksanaan:

- Bahan ditimbang seberat x gram pada 2 talam
- Dimasukan dalam oven dengan suhu 110°C sampai beratnya tetap.
- Setelah dikeluarkan dari oven, dinginkan
- Timbang kembali pasir

Berikut ini data dan hasil perhitungan berat isi agregat halus :

Tabel L.1.4 Pemeriksaan Kadar air Agregat Halus

Nomor Contoh		1	
Nomor Talam		A	B
1	Berat Talam + Contoh basah (gr)	29,8	38
2	Berat Talam + Contoh kering (gr)	29,6	37,8
3	Berat Air = (1)-(2) (gr)	0,2	0,2
4	Berat Talam (gr)	4,8	4,2
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4) (gr)	24,8	33,6
6	Kadar Air = (3)/(5) (%)	0,81	0,6
7	Kadar Air rata-rata (%)	0,701	

Sumber : Hasil Penelitian

II. Pemeriksaan Agregat Kasar

A. Gradasi Agregat Kasar

Tujuan :

- Menentukan gradasi agregat kasar
- Menentukan modulus kehalusan agregat kasar

Bahan :

- Batu pecah seberat 10 kg

Peralatan :

- Timbangan dengan ketelitian 10 gr
- Satu set ayakan dengan diameter berturut – turut 38,1 mm; 19mm; 9,5 mm; 4,75 mm (no 4); 2,36 mm (no8); 1,18 mm (no 16); 0,6 m (no 30); 0,15 mm (no 100)
- Drying oven
- Talam, ember dan kuas

Pelaksanaan:

- Batu pecah yang sudah kering ditimbang seberat 10 kg
- Benda uji dimasukan kedalam seri ayakan yang telah disusun sedemikian sehingga ayakan yang berukuran lebi h besar berada diatas dan diayak dengan gerakan yang konstan selama kurang lebih 3 menit
- Bahan yang tertinggal di atas masing-masing ayakan ditimbang dengan ketelitian 10 gram

Data dan hasil perhitungan analisa ayakan agregat kasar :

Tabel L.1.5 Gradasi Aegat Kasar Batu Kerikil

Lubang Saringan		Agregat Kasar				ASTM C-33
no	mm	Tertinggal		%Kumulatif		No 4 - No 3/4
		gram	%	Tertinggal	Lolos	
3"	76,2	-	-	-	100	
2.5"	63,5	-	-	-	100	
2"	50,8	-	-	-	100	
1.5"	38,1	-	0	0	100	
1"	25,4	148,4	1,50	1,50	98,50	100
0.75"	19,1	2550	25,82	27,32	72,68	90-100
0.5"	12,7	2700	27,34	54,66	45,34	-
0.375"	9,5	2050	20,75	75,41	24,59	20-55
4	4,76	2060	20,86	96,27	3,734	0-10
8	2,38	-	-	100	-	0-5
16	1,19	-	-	100	-	
20	0,85	-	-	100	-	
50	0,297	-	-	100	-	
100	0,149	-	-	100	-	
200	0,075	-	-	100	-	
Pan		368,8	3,733852	100	-	
Σ =		9877,2	100,0			

Sumber : Hasil Penelitian

Catatan : Standar ASTM C33-90. Modulus kehalusan agregat kasar: 7,49-9,55

Modulus kehalusan kerikil

$$\begin{aligned}
 FM_g &= \frac{\Sigma(\% \text{ kumulatif tertinggal ayakan } 3''+1,5''+3/4''+3/8'' \text{ sampai no.100})+600}{100} \\
 &= \frac{27,32+75,41+96,27+600}{100} \\
 &= \frac{799}{100} \\
 &= 7,99
 \end{aligned}$$

Berarti agregat kasar memenuhi standart ASTM C33-90

Pembahasan :

- Sisa pada ayakan 38,1 mm = 0 %
- Sisa pada ayakan 19,1 mm = 27,32 %
- Sisa pada ayakan 9,5 mm = 75,41 %

Cek spesifikasi :

- Sisa diatas ayakan 31,5 mm = 0 %, maka ok
- Sisa diatas ayakan 4 mm = 96 %, berkisar antara (90 % – 98 %) berat, maka ok
- Selisih dua ayakan berurutan antara 19 mm dan 9,5 mm = (75,41 – 54,66) = 20,75 %, Berkisar antara (10% - 60 %), maka ok

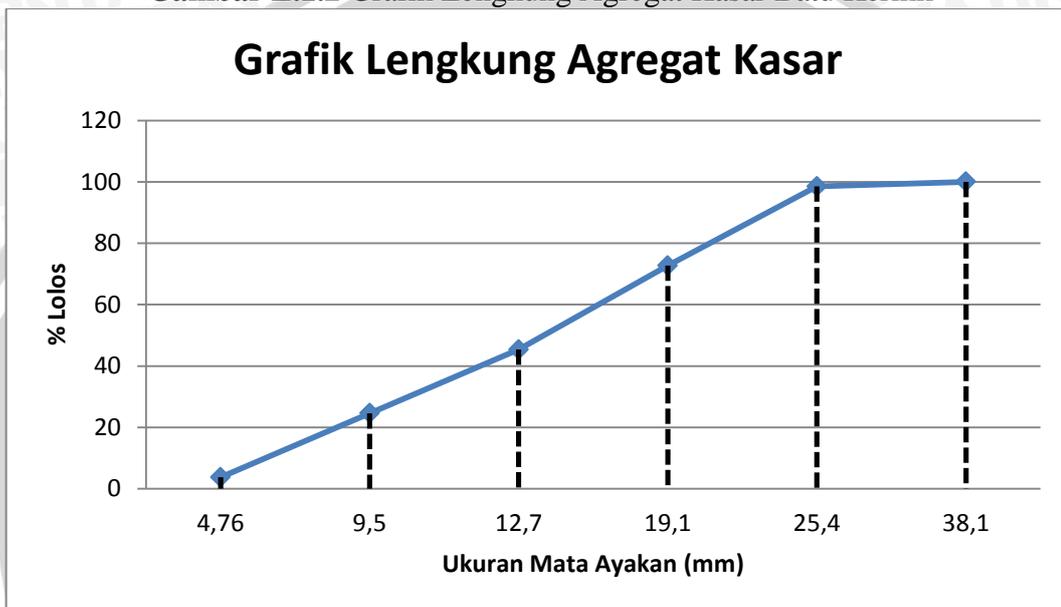
- Selisih dua ayakan berurutan antara 9,5 mm dan 4,75 mm = $(96,27 - 75,41) = 20,86 \%$, Berkisar antara (10% - 60 %), maka ok

Berarti kerikil memenuhi PBI 1971 pasal 3.4 ayat 6.

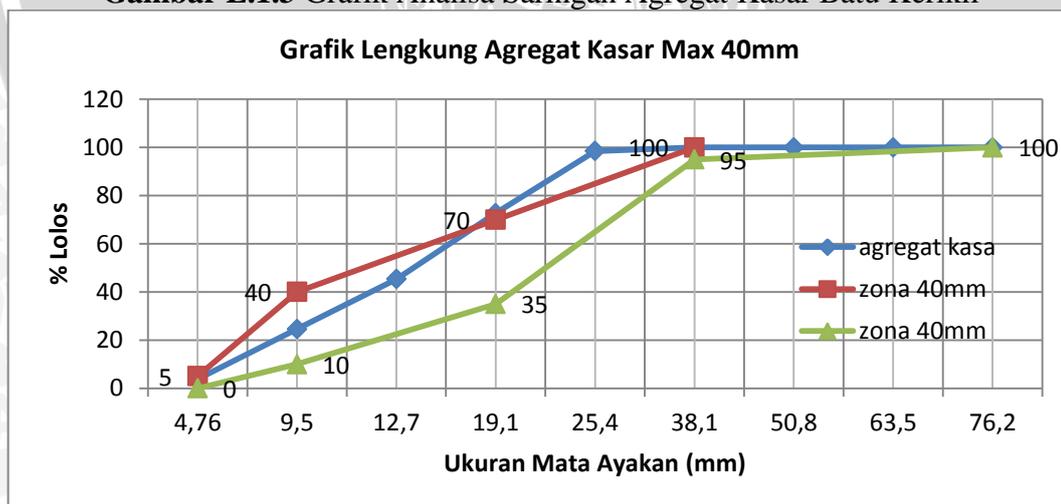
- Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm atau no. 200) dalam berat maksimum ASTM C33-90 = $(368,8/10000) * 100\% = 3,688 \% > 1 \%$ (tidak ok)

Hasil perhitungan tersebut diplotkan pada grafik agregat kasar sebagai berikut :

Gambar L.1.2 Grafik Lengkung Agregat Kasar Batu Kerikil



Gambar L.1.3 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar Batu Kerikil



Tabel L.1.6 Gradasi Agegat Kasar Batu Pumice



Lubang Saringan		Agregat Kasar				ASTM C-33 No 4 - No 3/4
		Tertinggal		%Kumulatif		
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos	
3"	76,2	-	-	-	100	
2.5"	63,5	-	-	-	100	
2"	50,8	-	-	-	100	
1.5"	38,1	0	0	0	100	
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00	100
0.75"	19,1	1880	18,80	18,80	81,20	90-100
0.5"	12,7	5160	51,60	70,40	29,60	-
0.375"	9,5	2760	27,60	98,00	2,00	20-55
4	4,76	200	2,00	100,00	0	0-10
8	2,38	-	-	100	-	0-5
16	1,19	-	-	100	-	
20	0,85	-	-	100	-	
50	0,297	-	-	100	-	
100	0,149	-	-	100	-	
200	0,075	-	-	100	-	
Pan		0	0	100	-	
Σ =		10000	100,0			

Sumber : Hasil Penelitian

Catatan : Standar ASTM C33-90. Modulus kehalusan agregat kasar: 7,49-9,55

$$FM_p = \frac{\Sigma(\% \text{ kumulatif tertinggal ayakan } 3''+1,5''+3/4''+3/8'' \text{ sampai no.100})+600}{100}$$

$$= \frac{816,8}{100}$$

$$= 8,168$$

Berarti agregat kasar memenuhi standart ASTM C33-90

Pembahasan :

- Sisa pada ayakan 38,1 mm = 0 %
- Sisa pada ayakan 19,1 mm = 18,8 %
- Sisa pada ayakan 9,5 mm = 98 %

Cek spesifikasi :

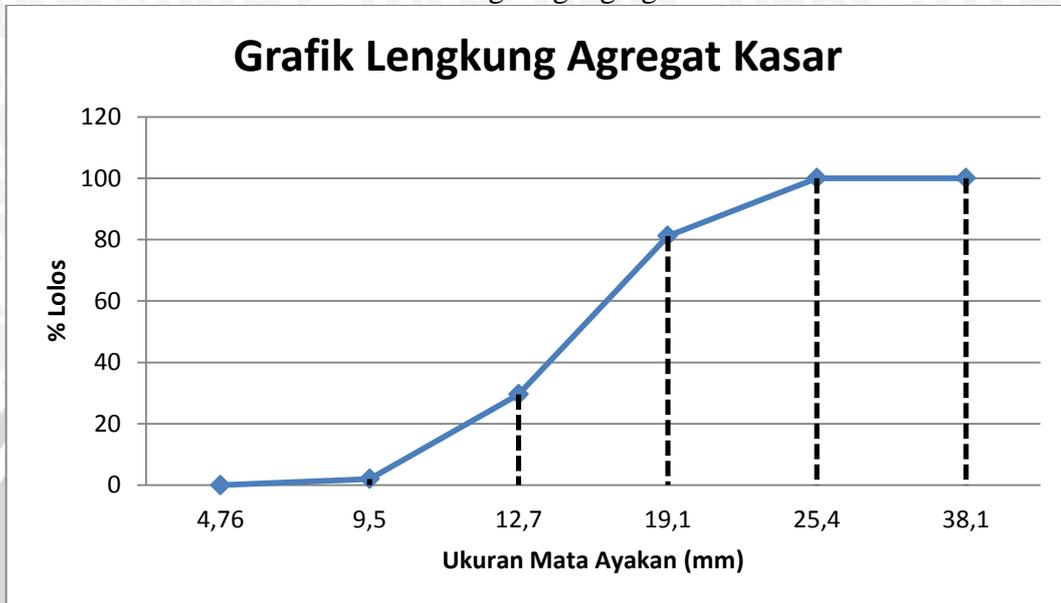
- Sisa diatas ayakan 31,5 mm = 0 %, maka ok
- Sisa diatas ayakan 4 mm = 100 %, berkisar antara (90 % – 98 %) berat, (tidak ok)
- Selisih dua ayakan berurutan antara 19 mm dan 9,5 mm = (98 – 70,40) = 27,60 %, Berkisar antara (10% - 60 %), maka ok
- Selisih dua ayakan berurutan antara 9,5 mm dan 4,75 mm = (100 – 98) = 2 %, Berkisar antara (10% - 60 %), (tidak ok)

Berarti pada umumnya batu *pumice* memenuhi PBI 1971 pasal 3.4 ayat 6.

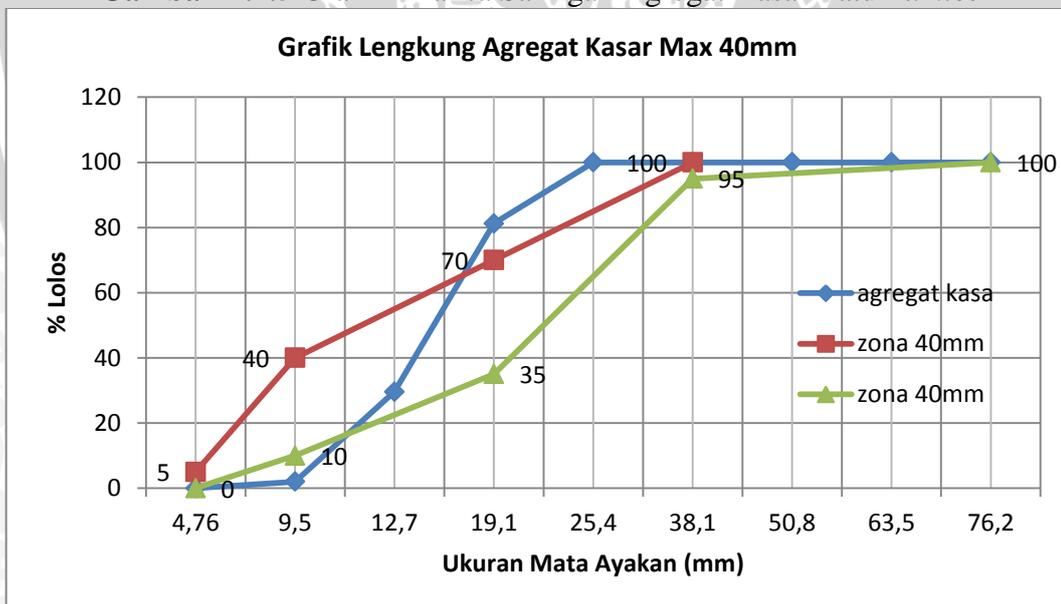
- Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm atau no. 200) dalam berat maksimum ASTM C33-90
 $= (0/10000) * 100\% = 0\% > 1\%$ (ok)

Hasil perhitungan tersebut diplotkan pada grafik agregat kasar sebagai berikut :

Gambar L.1.4 Grafik Lengkung Agregat Kasar Batu *Pumice*



Gambar L.1.5 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar Batu *Pumice*



B. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Tujuan :

- Menentukan besarnya berat jenis (Bulk Specific Gravity) agregat kasar
- Mengetahui besarnya penyerapan air agregat kasar

Bahan :

- Kerikil
- *Pumice* dan *Pumice cat*

Alat:

- Timbangan
- Keranjang kawat dan ember
- Oven

Pelaksanaan:

- Ambil sampel seberat 1000 gram agregat kasar dan keringkan
- Rendam agregat kasar dalam air selama 24 jam
- Masukkan agregat kasar dalam keranjang kawat dan timbang beratnya di dalam air

Berikut ini data dan hasil perhitungan berat isi agregat halus :

Tabel L.1.7 Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

	Pumice tanpa cat	Pumice dengan cat	Kerikil
Benda Uji Kering Udara (Bk) (gram)	1000	1000	1000
Benda Uji Jenuh Kering Permukaan (Bj) (gram)	1140	1101	1032
Benda uji Jenuh Kering permukaan dalam air (Ba) (gram)	525	485	635
Berat Jenis Curah :			
$\frac{Bk}{(Bj - Ba)}$	1,62601626	1,623376623	2,518891688
Berat Jenis Jenuh kering permukaan			
$\frac{Bj}{(Bj - Ba)}$	1,853658537	1,787337662	2,599496222
Berat Jenis semu :			
$\frac{Bk}{(Bk - Ba)}$	2,105263158	1,941747573	2,739726027
Penyerapan air			
$\frac{Bj - Bk}{Bk}$	14,0%	10,1%	3,2%

C. Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar

Tujuan :

- Menentukan besarnya berat satuan agregat kasar

Bahan :

- Kerikil

Alat :

- Timbangan
- Tongkat tusuk baja
- kotak takar dan ember

Pelaksanaan:

- Batu pecah SSD direndam selama 24 jam dan permukaannya dilap hingga kering
- Timbang kotak takar atau ember kosong dan ukur volumenya
- Isi ember dengan benda uji dalam tiga lapisan yang sama tebalnya, tiap lapisan ditusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat sepanjang ± 60 cm dan diameter ± 2 cm.

Cara ini disebut RODDING

- Ratakan permukaan bahan dengan mistar
- Menimbang kotak takar dengan isinya
- Kosongkan kotak takar dan isi dengan benda uji dengan tiga lapisan sama tebalnya, tiap lapisan digoyang hingga rata dan sama padatnya, Pada bagian atas permukaan tidak lebih dari ± 2 cm. Cara ini disebut SHOVELING
- Timbang kotak takar yang berisi benda uji

Berikut ini data dan hasil perhitungan berat isi agregat halus :

Tabel L.1.8 Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

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)	(cc)	1912,0	1912,0
	CARA		RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1050	1050
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4150	4050
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3100	3000
8	Berat isi agregat kasar = (7)/(4)	(gr/cc)	2696,6	2589,4
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	2643,0	

Sumber : Hasil Penelitian

D. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dan berat kering yang dinyatakan dalam persentase. Kadar air menentukan mutu beton yang dihasilkan. Selain itu juga berfungsi untuk menentukan besarnya kandungan air, pasir, dan kerikil untuk mix design.

Berdasarkan PBI 1971 Pengerjaan Perencanaan Campuran Beton, disebutkan bahwa:

“Kadar air agregat kasar harus memenuhi harga $\leq 5\%$ ”

Tujuan :

- Menentukan persentase kadar air yang dikandung oleh agregat kasar

Bahan :

- Kerikil

Alat :

- Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat benda uji
- Oven pengatur suhu kepastian 100 – 110° C
- Talam

Pelaksanaan:

- Bahan ditimbang seberat x gram pada 2 talam
- Dimasukan dalam oven dengan suhu 110° C sampai beratnya tetap.
- Setelah dikeluarkan dari oven, dinginkan
- Timbang kembali benda uji

Berikut ini data dan hasil perhitungan berat isi agregat halus :

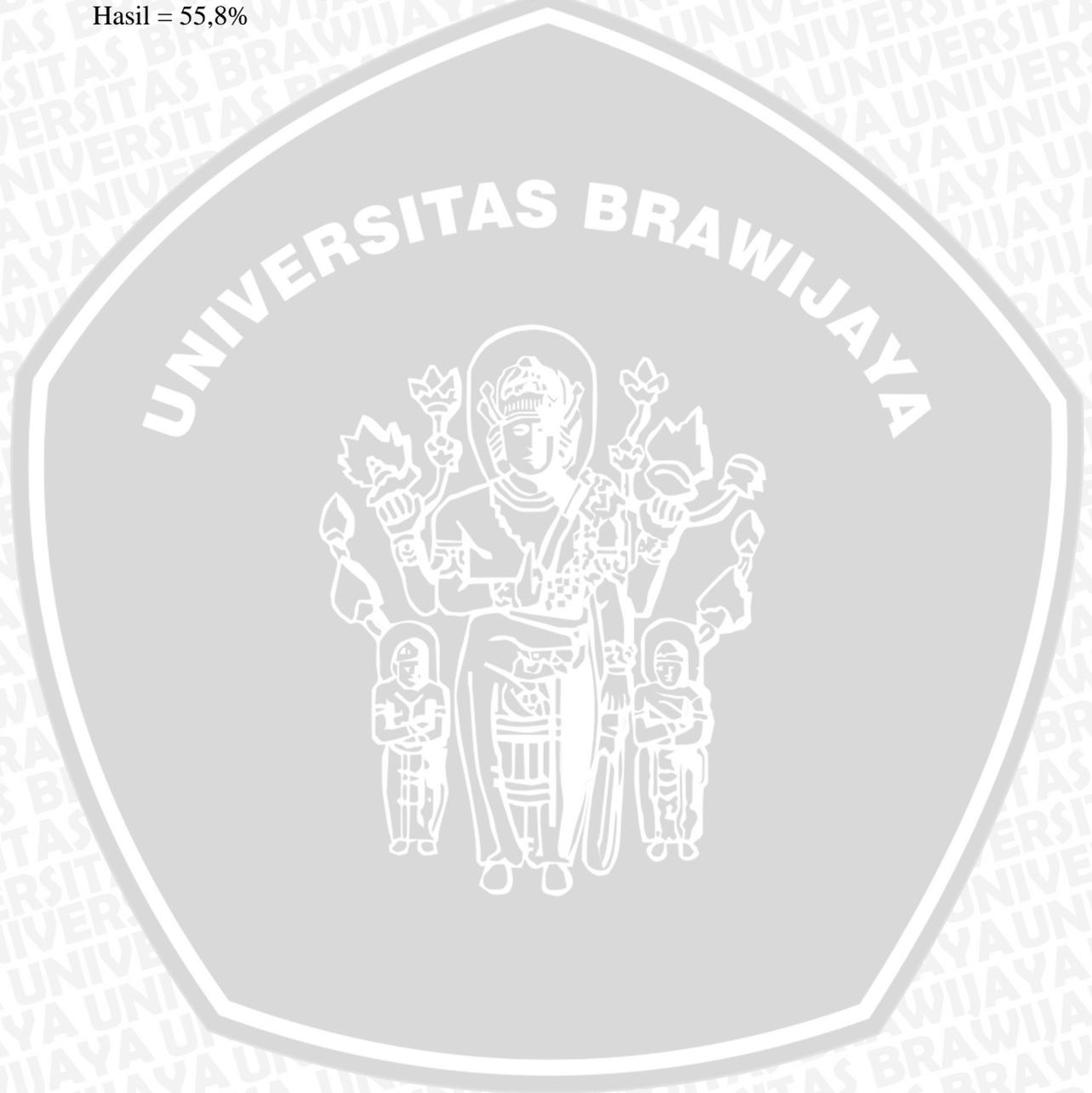
Tabel L.1.9 Hasil Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Nomor Contoh		1	
Nomor Talam		A	B
1	Berat Talam + Contoh basah (gr)	624	582,2
2	Berat Talam + Contoh kering (gr)	619,4	578,4
3	Berat Air = (1)-(2) (gr)	4,6	3,8
4	Berat Talam (gr)	54,4	53,6
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4) (gr)	565	524,8
6	Kadar Air = (3)/(5) (%)	0,81	0,7
7	Kadar Air rata-rata (%)	0,77	

Sumber : Hasil Penelitian

E. **Keausan Batu *Pumice***

- Berat batu pumice = 1484 gram
1299,9 gr berat batu pumice setelah di uji Los Angeles
Hasil = 26%
- Berat batu pumice di cat = 2974 gr
2789,9 gr berat batu pumice setelah di uji Los Angeles
Hasil = 55,8%



III. Mix Design

Perencanaan campuran (*mix design*) beton normal dapat dilakukan dengan langkah-langkah seperti pada tabel berikut :

Tabel L.1.10 Formulir perencanaan beton normal

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	20
2	Deviasi standar	Diketahui	12 Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64) 1,64*(2)	12 Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	32 Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0,54
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6
9	Slump	Ditetapkan	60-180 mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	40 mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	205 kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (8)	341,667
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275 kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona2
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	40%
18	Berat isi relatif agregat (SSD)	Diketahui	2,576
19	Berat isi beton	Grafik 16	2257
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1710,333
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)	684,133
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	1026,200

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Perhitungan kebutuhan untuk campuran uji tiap 1 m³ (teoritis):

- Semen = 341,667 kg
- Air = 205 kg
- Agregat halus = 684,133 kg
- Agregat kasar = 1026,200 kg

Perhitungan kebutuhan untuk campuran uji 0,054 m³ (teoritis):

- Semen = 0,054 x 341,667 = 18,45 kg
- Air = 0,054 x 205 = 11,07 kg
- Agregat halus = 0,054 x 684,133 = 36,94 kg
- Agregat kasar = 0,054 x 1026,200 = 55,15 kg

Perhitungan kebutuhan untuk campuran uji tiap 1 m³ (aktual):

- Air = $B - \left(\frac{C_k - C_a}{100} \times C \right) - \left(\frac{D_k - D_a}{100} \times D \right)$

$$= 205 - \left(\frac{(0,0701-3,22)}{100} \times 684 \right) - \left(\frac{(0,077-3,193)}{100} \times 1026,200 \right)$$

$$= 259,669 \text{ kg}$$

b. Agregat halus = $C + \left(\frac{(C_k - C_a)}{100} \times C \right)$

$$= 684,133 + \left(\frac{(0,00701-3,22)}{100} \times 684,133 \right)$$

$$= 662,152 \text{ kg}$$

c. Agregat kasar = $1026 + \left(\frac{(0,0077-3,193)}{100} \times 1026 \right)$

$$= 993,512 \text{ kg}$$

Dengan:

- B = Jumlah air (kg/m³)
- C = Jumlah agregat halus (kg/m³)
- D = Jumlah agregat kasar (kg/m³)
- C_a = Absorpsi air pada agregat halus (%)
- D_a = Absorpsi air pada agregat kasar (%)
- C_k = Kandungan air pada agregat halus (%)
- D_k = Kandungan air pada agregat kasar (%)

Kontrol campuran beton:

- a. Sebelum koreksi = 341,667 + 205 + 684,133 + 1026,200 = 2257 kg
- b. Setelah koreksi = 341,667 + 259,658 + 662,152 + 993,512 = 2257 kg

Dari perhitungan kebutuhan bahan campuran dalam pembuatan beton tersebut dapat disajikan seperti berikut :

Tabel L.1.11 Kebutuhan bahan pembutan beton

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/lt)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	341,667	205	684,133	1026,200
Tiap campuran uji 0,018 m3	6,15	3,69	12,314	18,47
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	341,667	259,669	662,152	993,512
Tiap campuran uji 0,018 m3	6,15	4,67	11,918	17,883

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Jadi dalam benda uji digunakan perbandingan campuran dalam satuan berat sebagai

berikut: Semen : Pasir : Agregat kasar : Air
1 : 2 : 3 : 0,6

LAMPIRAN 2

Perhitungan Teoritis



CONTOH PERHITUNGAN ANALISIS PENAMPANG (TEORITIS)

Diketahui:

Suatu balok tiga tumpuan dengan tumpuan sendi – sendi – rol memiliki data sebagai berikut :

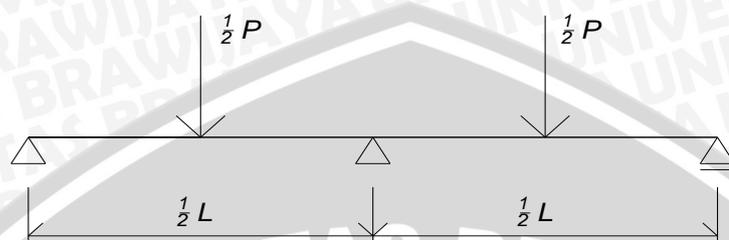


Diagram Lintang

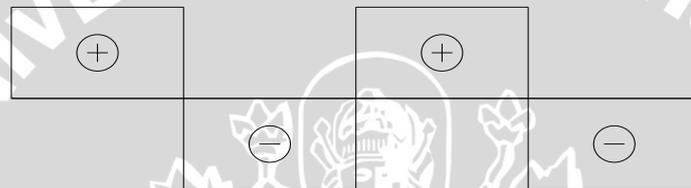
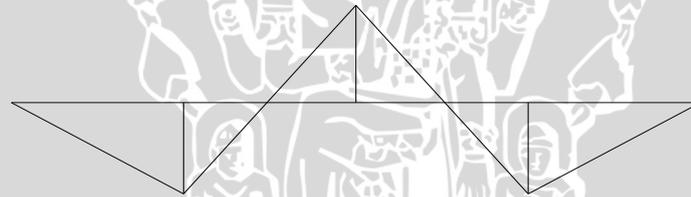


Diagram Momen



- Panjang bentang (L) = 1 m = 100 cm = 1000 mm
- Tinggi balok (h) = $(1/8)L = (1/8).100 = 12,5$ cm dipakai 15 cm = 150 mm
- Lebar balok (b) = $(2/3)h = (2/3).15 = 10$ cm = 100 mm
- $f'c = 20$ Mpa (200 kg/cm²)
- $f_y = 240$ Mpa (2400 kg/cm²)
- $d' = 2$ cm

Menentukan Rasio Penulangan :

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{240} = 0,00583$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0.75 \times \rho_b \\ &= 0.75 \times \left(0.85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \beta_1 \times \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0.75 \times \left(0.85 \times \frac{20}{240} \times 0.85 \times \frac{600}{600 + 240} \right) \\ &= 0,0322 \end{aligned}$$

Rasio penulangan yang digunakan dalam penulangan balok dicoba menggunakan $\rho_{min} = 0,00583$

$$A_s = \rho_{min} \cdot b \cdot d = 0,00583 \cdot 10 \cdot (15 - 2) = 0,758 \text{ cm}^2$$

Karena A_s dengan menggunakan $\rho_{min} = 0,758 \text{ cm}^2$ maka pada penelitian ini menggunakan tulangan $2-\text{Ø}8 = 1,01 \text{ cm}^2$. Direncanakan menggunakan tulangan rangkap.

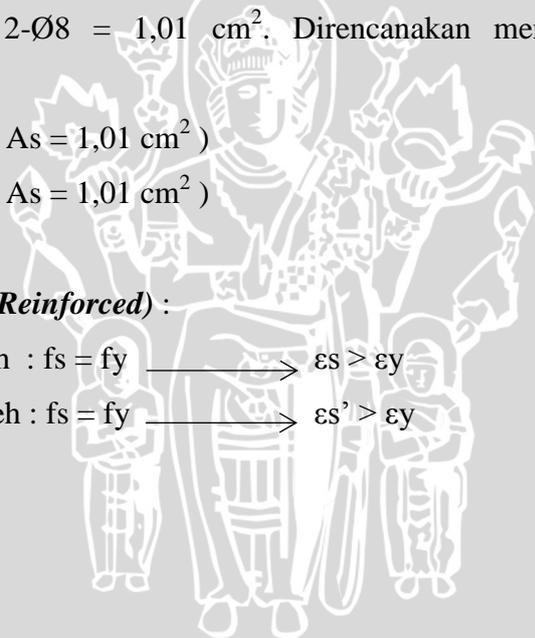
Tulangan atas : $2-\text{Ø}8$ ($A_s = 1,01 \text{ cm}^2$)

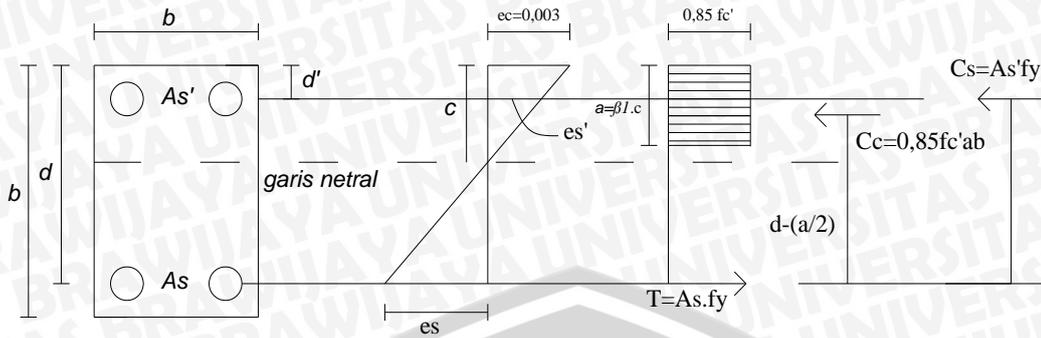
Tulangan bawah : $2-\text{Ø}8$ ($A_s = 1,01 \text{ cm}^2$)

Asumsi (keadaan *UnderReinforced*) :

Tulangan tarik sudah leleh : $f_s = f_y \longrightarrow \epsilon_s > \epsilon_y$

Tulangan tekan sudah leleh : $f_s = f_y \longrightarrow \epsilon_s' > \epsilon_y$





$$T = As \cdot fy \longrightarrow T = (1,01) \cdot (2400) = 2424 \text{ kg}$$

$$Cs = As' \cdot fs \longrightarrow Cs = (1,01) \cdot (2400) = 2424 \text{ kg}$$

$$Cc = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \longrightarrow Cc = 0,85 \cdot (200) \cdot 10 \cdot a = 1700 a$$

$$Cc + Cs = T$$

$$1700a = 2424$$

$$a = 1,426 \text{ cm}$$

$$a = \beta_1 \cdot c \longrightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1,426}{0,85} = 1,677 \text{ cm}^2$$

dimana :

c = jarak serat tekan terluar ke garis normal

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

Standar SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai β diambil 0,85 untuk $f'c < 30$ Mpa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 30 Mpa maka harus direduksi 0,005 untuk setiap kelebihan 7 Mpa di atas 30 Mpa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65

Kontrol :

dimana :

$$d = 13 \text{ cm}$$

$$d' = 2 \text{ cm}$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,003 \cdot \frac{1,677 - 2}{1,677} = 0,0005778$$

$$\epsilon_s = \epsilon_c \cdot \frac{d - c}{c} = 0,003 \cdot \frac{13 - 1,677}{1,677} = 0,020256$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{240}{200000} = 0,0012$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\epsilon_s' < \epsilon_y$$

Asumsi Salah

Maka :

$$f s' = \epsilon s' \cdot E_s = 0,003 \frac{c - d'}{c} E_s, \text{ atau}$$

$$f s' = \epsilon s' \cdot E_s = 0,003 \frac{a - 0,85d'}{a} E_s$$

dimana :

$$C_s = A_s' \cdot f s'$$

$$= A_s' \cdot 0,003 \frac{a - 0,85 \cdot d'}{a} \cdot E_s$$

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa} = 2.000.000 \text{ kg/cm}^2$$

(Modulus Elastisitas Baja = 2×10^5 Mpa)

$$C_c + C_s = T$$

$$1700a + (1,01) \cdot 0,003 \left(\frac{a - 0,85 \cdot 2}{a} \right) (2000000) = 2424$$

$$1700 \cdot a^2 + 6060 \cdot a - 10302 = 2424 \cdot a$$

$$1700 \cdot a^2 + 3636 \cdot a - 10302 = 0$$

$$a^2 + 2,139 a - 6,06 = 0$$

$$a = 1,6145 \text{ cm}$$

$$C_s = A_s' \cdot 0,003 \frac{a - 0,85 \cdot d'}{a} \cdot E_s$$

$$= (1,01) \cdot 0,003 \cdot \frac{1,6145 - 0,85 \cdot 2}{1,6145} \cdot 2000000$$

$$= 320,92 \text{ kg}$$

$$f s' = \frac{C_s}{A_s'} = \frac{320,92}{1,01} = 317,742$$

$$C_c = 0,85 \cdot (200) \cdot (10) \cdot (1,6145)$$

$$= 2744,65 \text{ kg}$$

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

$$= 2744,65 \cdot \left(13 - \frac{1,6145}{2} \right) + 320,92 \cdot (13 - 2)$$

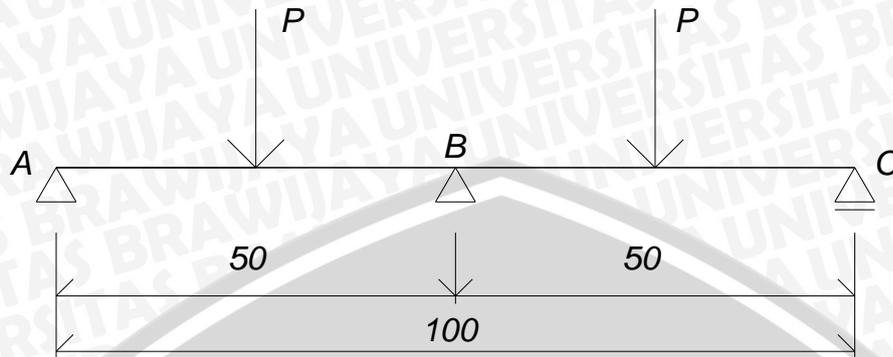
$$= 33464,831 + 3530,12$$

$$= 36994,951 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

$$M_u = 0,8 \cdot 36994,951 = 31445,71 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Analisis Struktur Tidak Tertentu (Slope Deflection) :



Menghitung Momen Primer :

$$M^o_{AB} = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P0,25(0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P.kg.m$$

$$M^o_{BA} = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P0,25(0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P.kg.m$$

$$M^o_{BC} = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P0,25(0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P.kg.m$$

$$M^o_{CB} = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P0,25(0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P.kg.m$$

Persamaan Slope Deflection : (EI = 0,5)

$$M_{AB} = M^o_{AB} + 2\left(\frac{EI}{0,5}\right)(2\theta_A + \theta_B) = -0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B$$

$$M_{BA} = M^o_{BA} + 2\left(\frac{EI}{0,5}\right)(2\theta_B + \theta_A) = 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A$$

$$M_{BC} = M^o_{BC} + 2\left(\frac{EI}{0,5}\right)(2\theta_B + \theta_C) = -0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C$$

$$M_{CB} = M^o_{CB} + 2\left(\frac{EI}{0,5}\right)(2\theta_C + \theta_B) = 0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B$$

Syarat Keseimbangan :

(Titik B)

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

$$0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$2\theta_A + 8\theta_B + 2\theta_C = 0 \dots\dots\dots (1)$$



(Titik A)

$$M_{AB} = 0$$

$$-0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B = 0$$

$$4\theta_A = 0,0625.P - 2\theta_B$$

$$\theta_A = 0,015625.P - 0,5\theta_B \dots \dots \dots (2)$$

(Titik C)

$$M_{CB} = 0$$

$$0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B = 0$$

$$4\theta_C = -0,0625.P - 2\theta_B$$

$$\theta_C = -0,015625.P - 0,5\theta_B \dots \dots \dots (3)$$

Substitusi persamaan (2) dan (3) pada persamaan (1)

$$2\theta_A + 8\theta_b + 2\theta_c = 0$$

$$2(0,015625.P - 0,5\theta_B) + 8\theta_b + 2(-0,015625.P - 0,5\theta_B) = 0$$

$$-1\theta_B + 0,03125.P + 8\theta_B - 0,03125.P - 1\theta_B = 0$$

$$6\theta_B = 0$$

$$\theta_B = 0$$

$$\theta_A = 0,015625.P - 0,5\theta_B$$

$$= 0,015625.P - 0,5(0) = 0,015625.P$$

$$\theta_C = -0,015625.P - 0,5\theta_B$$

$$= -0,015625.P - 0,5(0) = -0,015625.P$$

Kontrol :

$$\Sigma M_A = 0$$

$$M_{AB} = -0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B$$

$$= -0,0625.P + 4(0,015625.P) + 2(0)$$

$$= 0 P \text{ kgm}(OK)$$

$$\Sigma M_C = 0$$

$$M_{CB} = 0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B$$

$$= 0,0625.P + 4(-0,015625.P) + 2(0)$$

$$= 0 P \text{ kgm}(OK)$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

$$0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$0,0625.P + 4(0) + 2(0,015625.P) - 0,0625.P + 4(0) + 2(-0,015625.P) = 0$$

$$0 = 0 P \text{ kgm (OK)}$$

Momen Max Lapangan

*Batang A-B



$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A(0,5) - P(0,25) + 0,09375P = 0$$

$$0,5R_A - 0,25P + 0,09375P = 0$$

$$R_A = \frac{0,15625P}{0,5} = 0,3125 P \text{ kg}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_B(0,5) + P(0,25) + 0,09375P = 0$$

$$-0,5R_B + 0,25P + 0,09375P = 0$$

$$R_B = \frac{0,34375P}{0,5} = 0,6875 P \text{ kg}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$R_A + R_B = P$$

$$0,3125P + 0,6875P = P$$

$$P = P \text{ (OK)}$$

Interval :

$$(0 < x < 0,25)$$

$$M_x = R_A(x)$$

$$\begin{aligned}
 x = 0 & \quad M_x = 0 \text{ Pkgm} \\
 x = 0,1 & \quad M_x = 0,03125 \text{ Pkgm} \\
 x = 0,2 & \quad M_x = 0,0625 \text{ Pkgm} \\
 x = 0,25 & \quad M_x = 0,078125 \text{ Pkgm}
 \end{aligned}$$

Beban maksimum (Pu)

$$Mul = 0,078125 \text{ Pkgm}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{Mul}{0,078125} \\
 &= \frac{314,457}{0,078125} = 4025,05 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$Pu = 4025,05 \times 2 = \mathbf{8050,1 \text{ kg}}$$

$$R_A = 0,3125 P = 0,3125(4025,05) = 1257,828 \text{ kg}$$

Momen Maksimum Tumpuan (Mut)

$$Mut = 0,09375 P = 0,09375(4025,05) = \mathbf{377,348 \text{ kgm}}$$

Momen Maksimum lapangan (Mul)

$$Mul = \mathbf{314,457 \text{ kgm}}$$

Interval :

$$(0 < x < 0,25)$$

$$M_x = R_A (x)$$

$$\begin{aligned}
 x = 0 & \quad M_x = 0 \text{ kgm} \\
 x = 0,1 & \quad M_x = 125,783 \text{ kgm} \\
 x = 0,2 & \quad M_x = 251,565 \text{ kgm} \\
 x = 0,25 & \quad M_x = 314,457 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$(0,25 < x < 0,5)$$

$$M_x = R_A (x) - 4025,05(x - 0,25)$$

$$\begin{aligned}
 x = 0,25 & \quad M_x = 314,457 \text{ kgm} \\
 x = 0,3 & \quad M_x = 176,096 \text{ kgm} \\
 x = 0,4 & \quad M_x = -100,626 \text{ kgm} \\
 x = 0,5 & \quad M_x = -377,348 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Gambar Bidang Momen dan Lintang

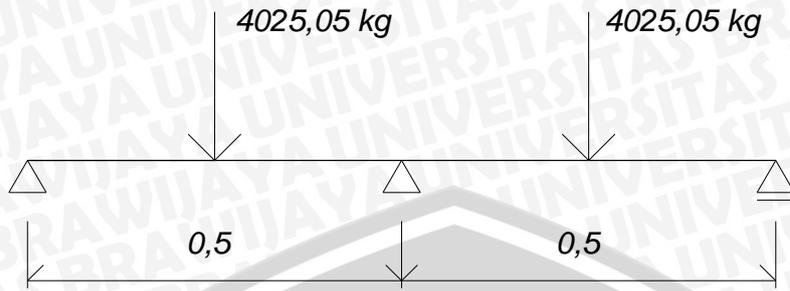


Diagram Lintang

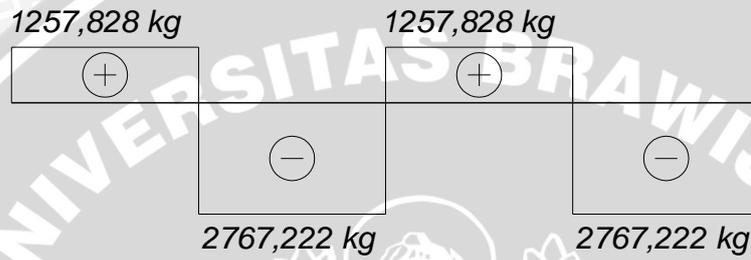
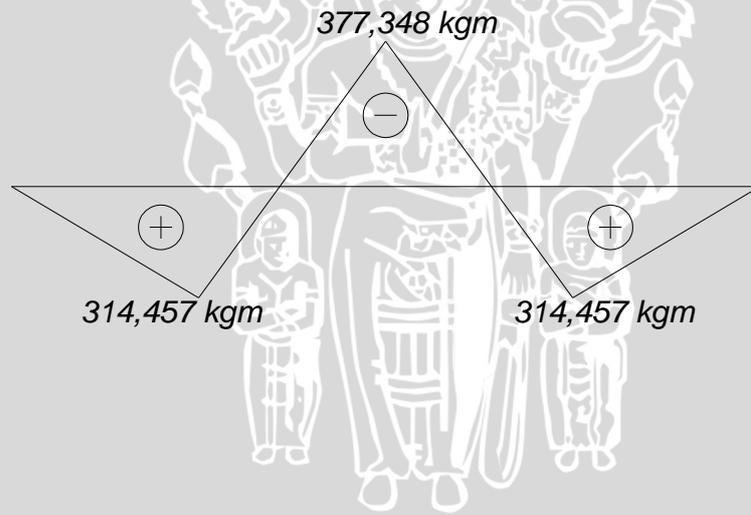


Diagram Momen



Kebutuhan Sengkang

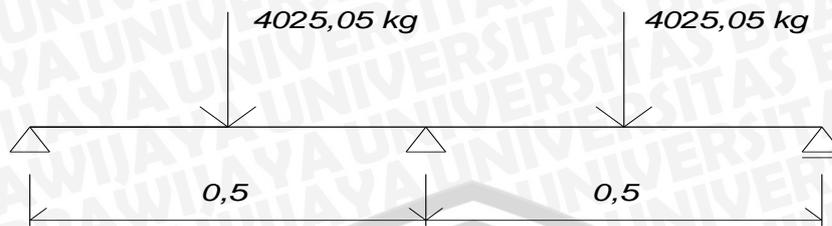
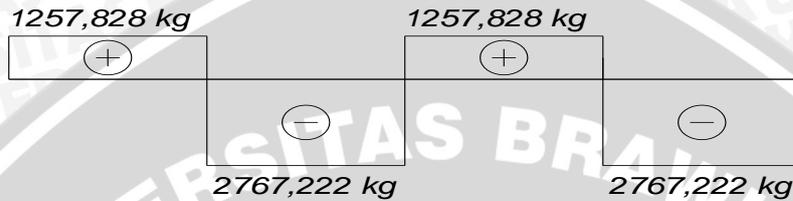


Diagram Lintang



$$P_{u \max} = P$$

$$= 4025,05 \text{ kg}$$

$$V_c = (1/6) \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \cdot 10^{-1}$$

$$= (1/6) \sqrt{20} \cdot 100 \cdot 130 \cdot 10^{-1}$$

$$= 968,963 \text{ kg}$$

Kontrol kebutuhan sengkang:

$$V_u > 0,6 \cdot V_c \dots\dots \text{(diperlukan sengkang)}$$

$$4025,05 > 0,6 \cdot 968,963$$

$$4025,05 > 581,377 \dots\dots \text{maka diperlukan sengkang}$$

$$V_s = V_{u \max} - V_c$$

$$= 4025,05 - 968,963$$

$$= 3056,087 \text{ kg}$$

Direncanakan tulangan sengkang $\emptyset 8$

$$A_v = 0,5 \text{ cm}^2$$

Digunakan sengkang 3 kaki ($3A_v$)

$$3A_v = 1,5 \text{ cm}^2$$

Mencari jarak spasi maksimum (s)

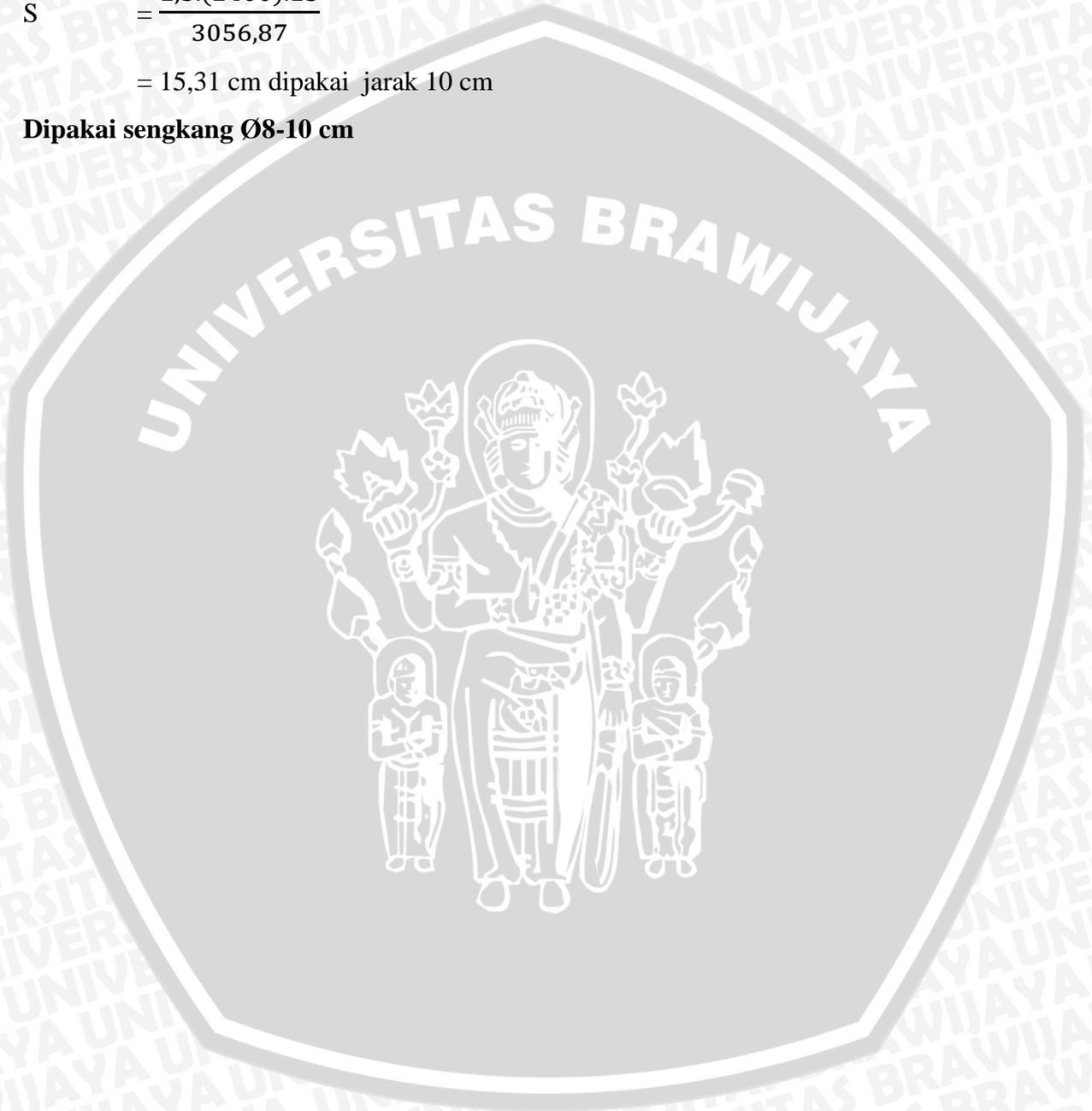
$$V_s = \frac{3 \cdot Av \cdot f \cdot y \cdot d}{s}$$

$$S = \frac{3 \cdot Av \cdot f \cdot y \cdot d}{V_s}$$

$$S = \frac{1,5 \cdot (2400) \cdot 13}{3056,87}$$

$$= 15,31 \text{ cm dipakai jarak } 10 \text{ cm}$$

Dipakai sengkang Ø8-10 cm



Agregat Kasar Batu Pecah (Kerikil)

$$As = 1,01 \text{ cm}^2 = 101 \text{ mm}^2$$

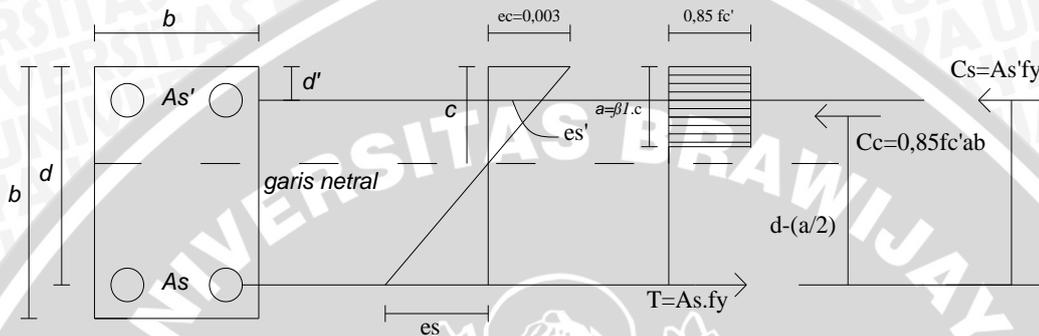
$$As' = 1,01 \text{ cm}^2 = 101 \text{ mm}^2$$

$$fc' = 13,83 \text{ Mpa} = 138,3 \text{ kg/cm}^2$$

Asumsi (keadaan UnderReinforced) :

$$\text{Tulangan tarik sudah leleh : } fs = fy \longrightarrow \epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\text{Tulangan tekan sudah leleh : } fs = fy \longrightarrow \epsilon_s' > \epsilon_y$$



$$T = As \cdot fy \longrightarrow T = (1,01) \cdot (2400) = 2424 \text{ kg}$$

$$Cs = As' \cdot fs \longrightarrow Cs = (1,01) \cdot (2400) = 2424 \text{ kg}$$

$$Cc = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \longrightarrow Cc = 0,85 \cdot (138,3) \cdot 10 \cdot a = 1175,55 a$$

$$Cc + Cs = T$$

$$1175,55 a = 2424$$

$$a = 2,06 \text{ cm}$$

$$a = \beta_1 \cdot c \longrightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,06}{0,85} = 2,425 \text{ cm}^2$$

dimana :

c = jarak serat tekan terluar ke garis normal

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

Standar SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai β diambil 0,85 untuk $fc' < 30$ Mpa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 30 Mpa maka harus direduksi 0,005 untuk setiap kelebihan 7 Mpa di atas 30 Mpa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65

Kontrol :

dimana :

$$d = 13 \text{ cm}$$

$$d' = 2 \text{ cm}$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,003 \frac{2,425 - 2}{2,425} = 0,0005207$$

$$\epsilon_s = \epsilon_c \cdot \frac{d - c}{c} = 0,003 \frac{13 - 2,425}{2,425} = 0,001307$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{240}{200000} = 0,0012$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\epsilon_s' < \epsilon_y$$

Asumsi Salah

Maka :

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \frac{c - d'}{c} E_s, \text{ atau}$$

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \frac{a - 0,85d'}{a} E_s$$

dimana :

$$C_s = A_s' \cdot f_s'$$

$$= A_s' \cdot 0,003 \frac{a - 0,85 \cdot d'}{a} \cdot E_s$$

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa} = 2.000.000 \text{ kg/cm}^2$$

(Modulus Elastisitas Baja = 2×10^5 Mpa)

$$C_c + C_s = T$$

$$1175,55 a + (1,01) \cdot 0,003 \left(\frac{a - 0,85 \cdot 2}{a} \right) (2000000) = 2424$$

$$1175,55 \cdot a^2 + 6060 \cdot a - 10302 = 2424 \cdot a$$

$$1175,55 \cdot a^2 + 3636 \cdot a - 10302 = 0$$

$$a^2 + 2,414 a - 6,840 = 0$$

$$a = 1,79345 \text{ cm}$$

$$C_s = A_s' \cdot 0,003 \frac{a - 0,85 \cdot d'}{a} \cdot E_s$$

$$= (1,01) \cdot 0,003 \cdot \frac{1,79345 - 0,85 \cdot 2}{1,79345} \cdot 2000000$$

$$= 315,764 \text{ kg}$$

$$f_s' = \frac{C_s}{A_s'} = \frac{315,764}{1,01} = 312,066$$

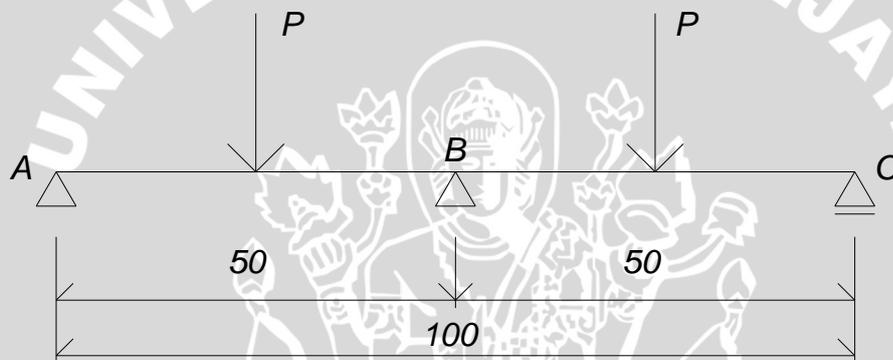
$$C_c = 0,85 \cdot (138,3) \cdot (10) \cdot (1,79345) \\ = 2108,291 \text{ kg}$$

$$M_n = C_c \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s \cdot (d - d') \\ = 2108,291 \cdot \left(13 - \frac{1,79345}{2}\right) + 315,764 \cdot (13 - 2) \\ = 25517,215 + 3473,404 \\ = 28990,620 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

$$M_u = 0,85 \cdot 28990,620 = 24642,027 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Analisis Struktur Tidak Tertentu (Slope Deflection) :



Menghitung Momen Primer :

$$M_{AB}^o = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA}^o = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC}^o = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{CB}^o = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

Persamaan Slope Deflection : (EI = 0,5)

$$M_{AB} = M^o_{AB} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_A + \theta_B) = -0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B$$

$$M_{BA} = M^o_{BA} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_B + \theta_A) = 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A$$

$$M_{BC} = M^o_{BC} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_B + \theta_C) = -0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C$$

$$M_{CB} = M^o_{CB} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_C + \theta_B) = 0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B$$

Syarat Keseimbangan :

(Titik B)

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

$$0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$2\theta_A + 8\theta_B + 2\theta_C = 0 \dots\dots\dots (1)$$

(Titik A)

$$M_{AB} = 0$$

$$-0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B = 0$$

$$4\theta_A = 0,0625.P - 2\theta_B$$

$$\theta_A = 0,015625.P - 0,5\theta_B \dots\dots\dots (2)$$

(Titik C)

$$M_{CB} = 0$$

$$0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B = 0$$

$$4\theta_C = -0,0625.P - 2\theta_B$$

$$\theta_C = -0,015625.P - 0,5\theta_B \dots\dots\dots (3)$$

Substitusi persamaan (2) dan (3) pada persamaan (1)

$$2\theta_A + 8\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$2(0,015625.P - 0,5\theta_B) + 8\theta_B + 2(-0,015625.P - 0,5\theta_B) = 0$$

$$-1\theta_B + 0,03125.P + 8\theta_B - 0,03125.P - 1\theta_B = 0$$

$$6\theta_B = 0$$

$$\theta_B = 0$$

$$\theta_A = 0,015625.P - 0,5\theta_B$$

$$= 0,015625.P - 0,5(0) = 0,015625.P$$



$$\begin{aligned}\theta_C &= -0,015625.P - 0,5 \theta_B \\ &= -0,015625.P - 0,5 (0) = -0,015625.P\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\Sigma M_A = 0$$

$$\begin{aligned}M_{AB} &= -0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B \\ &= -0,0625.P + 4(0,015625.P) + 2(0) \\ &= 0 P \text{ kgm}(OK)\end{aligned}$$

$$\Sigma M_C = 0$$

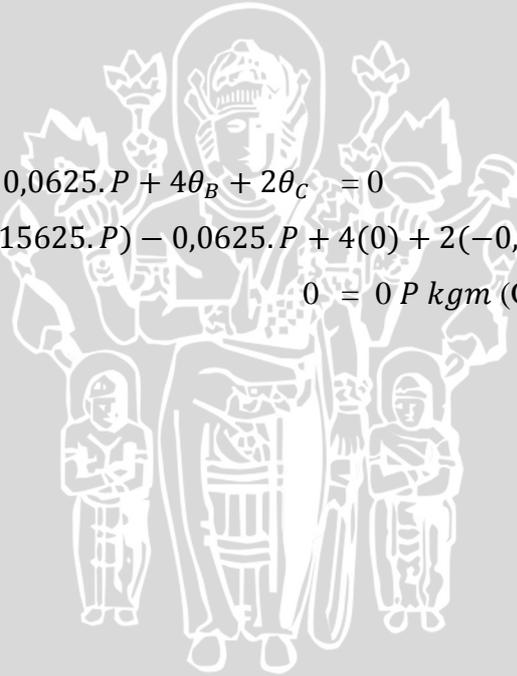
$$\begin{aligned}M_{CB} &= 0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B \\ &= 0,0625.P + 4(-0,015625.P) + 2(0) \\ &= 0 P \text{ kgm}(OK)\end{aligned}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

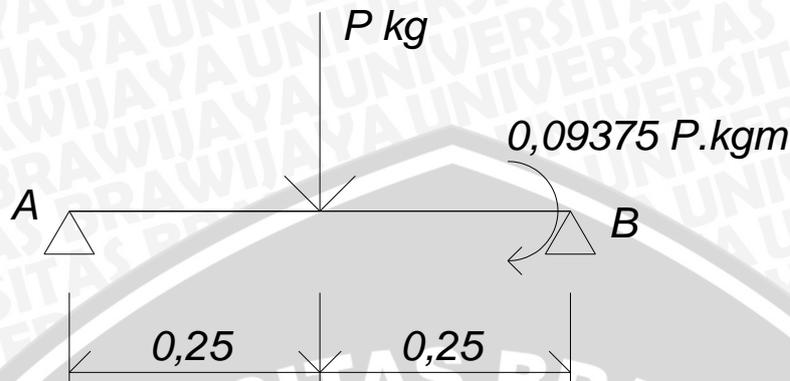
$$0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$\begin{aligned}0,0625.P + 4(0) + 2(0,015625.P) - 0,0625.P + 4(0) + 2(-0,015625.P) &= 0 \\ 0 &= 0 P \text{ kgm} (OK)\end{aligned}$$



Momen Max Lapangan

*Batang A-B



$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A(0,5) - P(0,25) + 0,09375P = 0$$

$$0,5R_A - 0,25P + 0,09375P = 0$$

$$R_A = \frac{0,15625P}{0,5} = 0,3125 Pkg$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_B(0,5) + P(0,25) + 0,09375P = 0$$

$$-0,5R_B + 0,25P + 0,09375P = 0$$

$$R_B = \frac{0,34375P}{0,5} = 0,6875 Pkg$$

$$\Sigma V = 0$$

$$R_A + R_B = P$$

$$0,3125P + 0,6875P = P$$

$$P = P \text{ (OK)}$$

Interval :

$$(0 < x < 0,25)$$

$$M_x = R_A(x)$$

$$x = 0 \quad M_x = 0 Pkgm$$

$$x = 0,1 \quad M_x = 0,03125 Pkgm$$

$$x = 0,2 \quad M_x = 0,0625 Pkgm$$

$$x = 0,25 \quad M_x = 0,078125 Pkgm$$

Beban maksimum (Pu)

$$Mul = 0,078125 \text{ Pkgm}$$

$$P = \frac{Mul}{0,078125}$$
$$= \frac{246,42}{0,078125} = 3154,179 \text{ kg}$$

$$Pu = 3154,179 \times 2 = \mathbf{6308,358 \text{ kg}}$$

$$R_A = 0,3125 P = 0,3125(3154,179) = 985,681 \text{ kg}$$

Momen Maksimum Tumpuan (Mut)

$$Mut = 0,09375 P = 0,09375(3154,179) = \mathbf{295,704 \text{ kgm}}$$

Momen Maksimum lapangan (Mul)

$$Mul = \mathbf{246,42 \text{ kgm}}$$

Interval :

$$(0 < x < 0,25)$$

$$M_x = R_A(x)$$

$$x = 0 \quad M_x = 0 \text{ kgm}$$

$$x = 0,1 \quad M_x = 98,568 \text{ kgm}$$

$$x = 0,2 \quad M_x = 197,136 \text{ kgm}$$

$$x = 0,25 \quad M_x = 246,42 \text{ kgm}$$

$$(0,25 < x < 0,5)$$

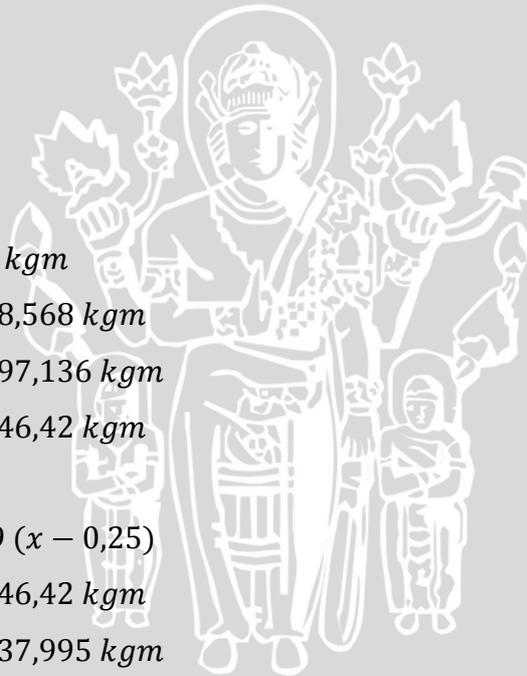
$$M_x = R_A(x) - 3154,179(x - 0,25)$$

$$x = 0,25 \quad M_x = 246,42 \text{ kgm}$$

$$x = 0,3 \quad M_x = 137,995 \text{ kgm}$$

$$x = 0,4 \quad M_x = -78,858 \text{ kgm}$$

$$x = 0,5 \quad M_x = -295,704 \text{ kgm}$$



Gambar Bidang Momen dan Lintang

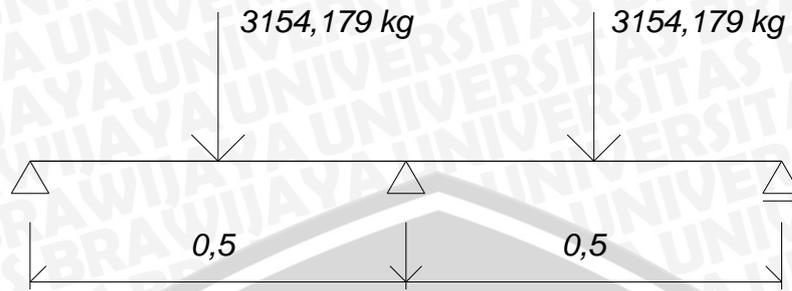


Diagram Lintang

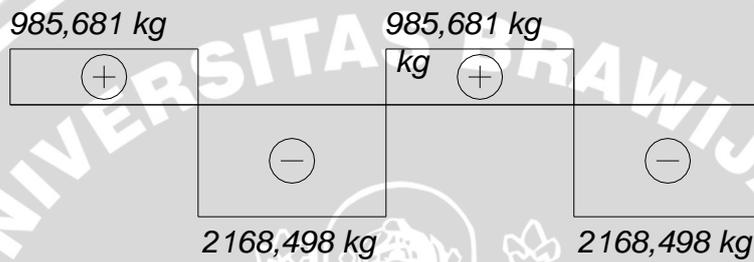
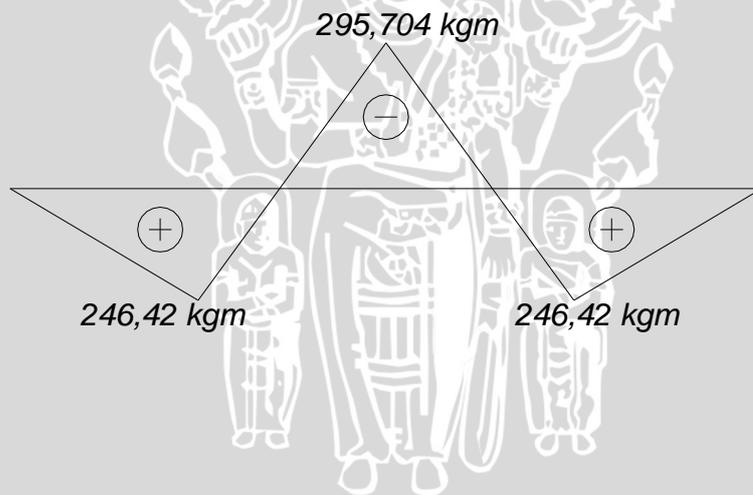


Diagram Momen



Agregat Kasar Batu Pumice

$$A_s = 1,01 \text{ cm}^2 = 101 \text{ mm}^2$$

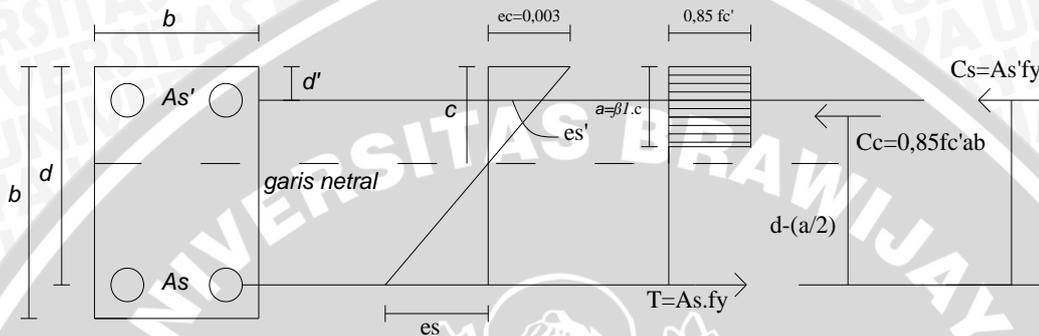
$$A_s' = 1,01 \text{ cm}^2 = 101 \text{ mm}^2$$

$$f_c' = 14,232 \text{ Mpa} = 142,32 \text{ kg/cm}^2$$

Asumsi (keadaan UnderReinforced) :

$$\text{Tulangan tarik sudah leleh : } f_s = f_y \longrightarrow \epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\text{Tulangan tekan sudah leleh : } f_s = f_y \longrightarrow \epsilon_s' > \epsilon_y$$



$$T = A_s \cdot f_y \longrightarrow T = (1,01) \cdot (2400) = 2424 \text{ kg}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s \longrightarrow C_s = (1,01) \cdot (2400) = 2424 \text{ kg}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot c \cdot a \cdot b \longrightarrow C_c = 0,85 \cdot (142,32) \cdot 10 \cdot a = 1209,72 a$$

$$C_c + C_s = T$$

$$1209,72a = 2424$$

$$a = 2,004 \text{ cm}$$

$$a = \beta_1 \cdot c \longrightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,004}{0,85} = 2,357 \text{ cm}^2$$

dimana :

c = jarak serat tekan terluar ke garis normal

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

Standar SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai β diambil 0,85 untuk $f_c' < 30$ Mpa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 30 Mpa maka harus direduksi 0,005 untuk setiap kelebihan 7 Mpa di atas 30 Mpa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65

Kontrol :

dimana :

$$d = 13 \text{ cm}$$

$$d' = 2 \text{ cm}$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,003 \cdot \frac{2,357 - 2}{2,357} = 0,0001908$$

$$\epsilon_s = \epsilon_c \cdot \frac{d - c}{c} = 0,003 \cdot \frac{13 - 2,357}{2,357} = 0,0017602$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{240}{200000} = 0,0012$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\epsilon_s' < \epsilon_y$$

Asumsi Salah

Maka :

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \cdot \frac{c - d'}{c} E_s, \text{ atau}$$

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \cdot \frac{a - 0,85d'}{a} E_s$$

dimana :

$$C_s = A_s' \cdot f_s'$$

$$= A_s' \cdot 0,003 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot d'}{a} \cdot E_s$$

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa} = 2.000.000 \text{ kg/cm}^2$$

(Modulus Elastisitas Baja = 2×10^5 Mpa)

$$C_c + C_s = T$$

$$1209,72a + (1,01) \cdot 0,003 \left(\frac{a - 0,85 \cdot 2}{a} \right) (2000000) = 2424$$

$$1209,72 \cdot a^2 + 6060 \cdot a - 10302 = 2424 \cdot a$$

$$1209,72 \cdot a^2 + 3636 \cdot a - 10302 = 0$$

$$a^2 + 3,0056 a - 8,516 = 0$$

$$a = 1,77962 \text{ cm}$$

$$C_s = A_s' \cdot 0,003 \cdot \frac{a - 0,85 \cdot d'}{a} \cdot E_s$$

$$= (1,01) \cdot 0,003 \cdot \frac{1,77962 - 0,85 \cdot 2}{1,77962} \cdot 2000000$$

$$= 271,1435 \text{ kg}$$

$$f_s' = \frac{C_s}{A_s'} = \frac{271,145}{1,01} = 268,46$$

$$C_c = 0,85 \cdot (142,32) \cdot (10) \cdot (1,77962)$$

$$= 2152,849 \text{ kg}$$

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

$$= 2152,849 \cdot \left(13 - \frac{1,77962}{2}\right) + 271,1435 \cdot (13 - 2)$$

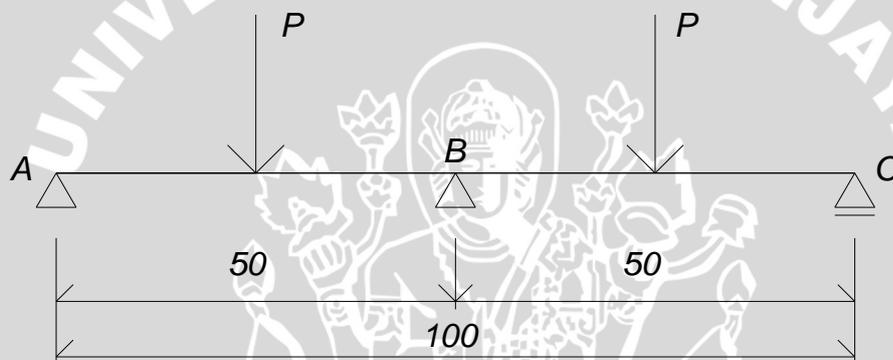
$$= 26071,407 + 2982,579$$

$$= 29053,987 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_u = \emptyset \cdot M_n$$

$$M_u = 0,85 \cdot 29053,987 = 24695,889 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Analisis Struktur Tidak Tertentu (Slope Deflection) :



Menghitung Momen Primer :

$$M_{AB}^o = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA}^o = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC}^o = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{CB}^o = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

Persamaan Slope Deflection : (EI = 0,5)

$$M_{AB} = M^o_{AB} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_A + \theta_B) = -0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B$$

$$M_{BA} = M^o_{BA} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_B + \theta_A) = 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A$$

$$M_{BC} = M^o_{BC} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_B + \theta_C) = -0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C$$

$$M_{CB} = M^o_{CB} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_C + \theta_B) = 0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B$$

Syarat Keseimbangan :

(Titik B)

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

$$0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$2\theta_A + 8\theta_B + 2\theta_C = 0 \dots\dots\dots (1)$$

(Titik A)

$$M_{AB} = 0$$

$$-0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B = 0$$

$$4\theta_A = 0,0625.P - 2\theta_B$$

$$\theta_A = 0,015625.P - 0,5\theta_B \dots\dots\dots (2)$$

(Titik C)

$$M_{CB} = 0$$

$$0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B = 0$$

$$4\theta_C = -0,0625.P - 2\theta_B$$

$$\theta_C = -0,015625.P - 0,5\theta_B \dots\dots\dots (3)$$

Substitusi persamaan (2) dan (3) pada persamaan (1)

$$2\theta_A + 8\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$2(0,015625.P - 0,5\theta_B) + 8\theta_B + 2(-0,015625.P - 0,5\theta_B) = 0$$

$$-1\theta_B + 0,03125.P + 8\theta_B - 0,03125.P - 1\theta_B = 0$$

$$6\theta_B = 0$$

$$\theta_B = 0$$

$$\theta_A = 0,015625.P - 0,5\theta_B$$

$$= 0,015625.P - 0,5(0) = 0,015625.P$$

$$\begin{aligned}\theta_C &= -0,015625.P - 0,5 \theta_B \\ &= -0,015625.P - 0,5 (0) = -0,015625.P\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\Sigma M_A = 0$$

$$\begin{aligned}M_{AB} &= -0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B \\ &= -0,0625.P + 4(0,015625.P) + 2(0) \\ &= 0 P \text{ kgm}(OK)\end{aligned}$$

$$\Sigma M_C = 0$$

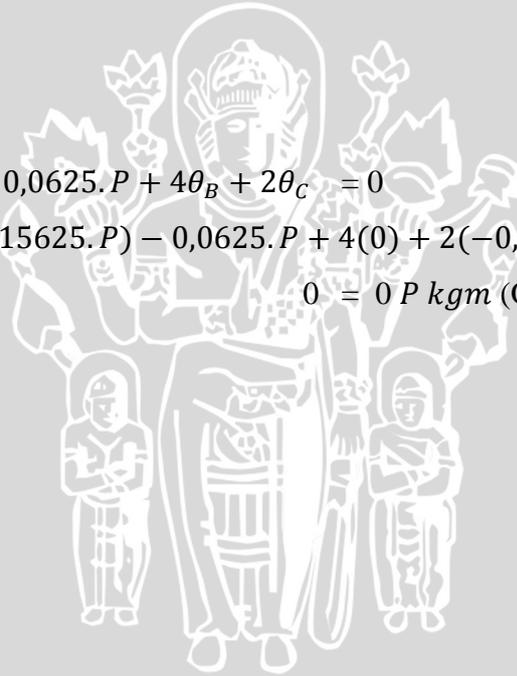
$$\begin{aligned}M_{CB} &= 0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B \\ &= 0,0625.P + 4(-0,015625.P) + 2(0) \\ &= 0 P \text{ kgm}(OK)\end{aligned}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

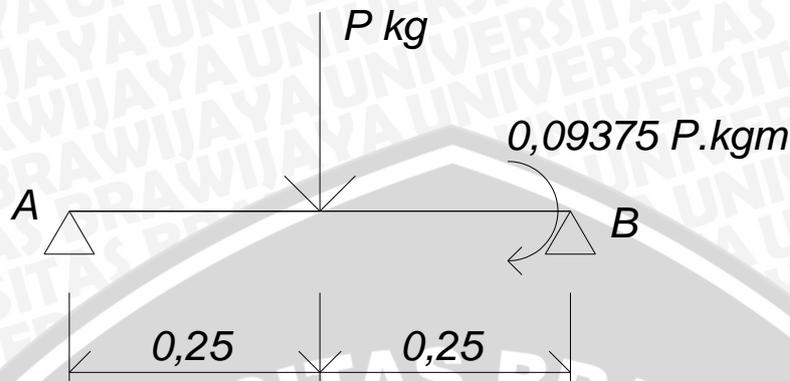
$$0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$\begin{aligned}0,0625.P + 4(0) + 2(0,015625.P) - 0,0625.P + 4(0) + 2(-0,015625.P) &= 0 \\ 0 &= 0 P \text{ kgm} (OK)\end{aligned}$$



Momen Max Lapangan

*Batang A-B



$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A(0,5) - P(0,25) + 0,09375P = 0$$

$$0,5R_A - 0,25P + 0,09375P = 0$$

$$R_A = \frac{0,15625P}{0,5} = 0,3125 Pkg$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_B(0,5) + P(0,25) + 0,09375P = 0$$

$$-0,5R_B + 0,25P + 0,09375P = 0$$

$$R_B = \frac{0,34375P}{0,5} = 0,6875 Pkg$$

$$\Sigma V = 0$$

$$R_A + R_B = P$$

$$0,3125P + 0,6875P = P$$

$$P = P \text{ (OK)}$$

Interval :

$$(0 < x < 0,25)$$

$$M_x = R_A(x)$$

$$x = 0 \quad M_x = 0 Pkgm$$

$$x = 0,1 \quad M_x = 0,03125 Pkgm$$

$$x = 0,2 \quad M_x = 0,0625 Pkgm$$

$$x = 0,25 \quad M_x = 0,078125 Pkgm$$

Beban maksimum (Pu)

$$Mul = 0,078125 \text{ Pkgm}$$

$$P = \frac{Mul}{0,078125} \\ = \frac{246,958}{0,078125} = 3161,073 \text{ kg}$$

$$Pu = 3161,073 \times 2 = \mathbf{6322,146 \text{ kg}}$$

$$R_A = 0,3125 P = 0,3125(3161,073) = 987,835 \text{ kg}$$

Momen Maksimum Tumpuan (Mut)

$$Mut = 0,09375 P = 0,09375(3161,073) = \mathbf{296,351 \text{ kgm}}$$

Momen Maksimum lapangan (Mul)

$$Mul = \mathbf{246,958 \text{ kgm}}$$

Interval :

$$(0 < x < 0,25)$$

$$M_x = R_A(x)$$

$$x = 0 \quad M_x = 0 \text{ kgm}$$

$$x = 0,1 \quad M_x = 98,783 \text{ kgm}$$

$$x = 0,2 \quad M_x = 197,567 \text{ kgm}$$

$$x = 0,25 \quad M_x = 246,958 \text{ kgm}$$

$$(0,25 < x < 0,5)$$

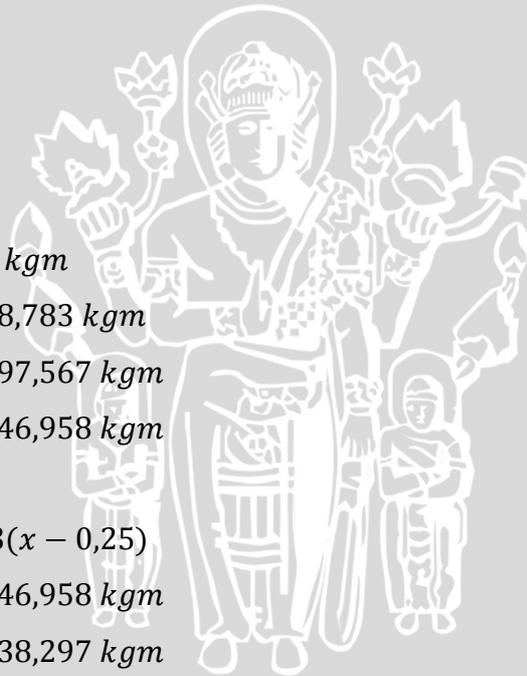
$$M_x = R_A(x) - 3161,073(x - 0,25)$$

$$x = 0,25 \quad M_x = 246,958 \text{ kgm}$$

$$x = 0,3 \quad M_x = 138,297 \text{ kgm}$$

$$x = 0,4 \quad M_x = -79,026 \text{ kgm}$$

$$x = 0,5 \quad M_x = -296,351 \text{ kgm}$$



Gambar Bidang Momen dan Lintang

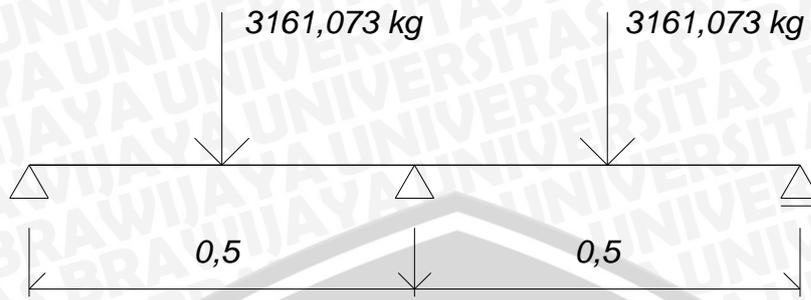


Diagram Lintang

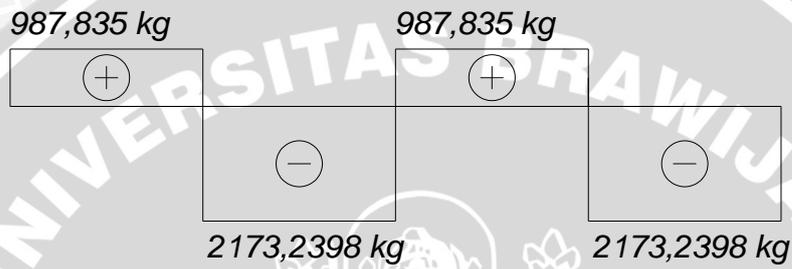
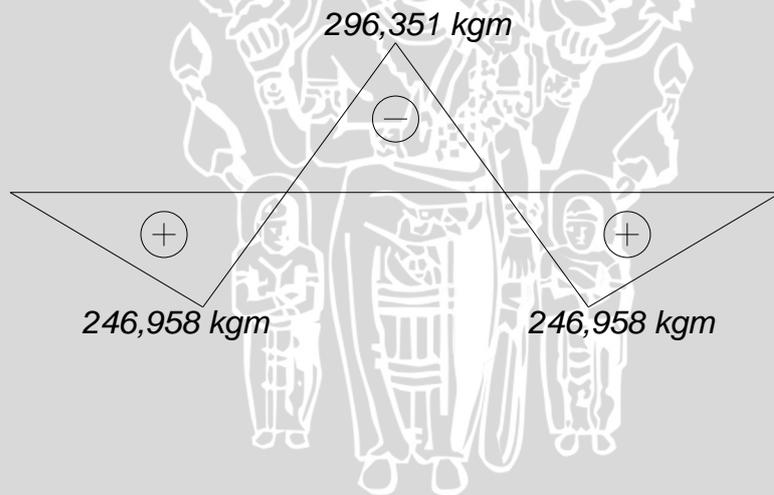


Diagram Momen



Agregat Kasar Batu Pumice Dicat

$$As = 1,01 \text{ cm}^2 = 101 \text{ mm}^2$$

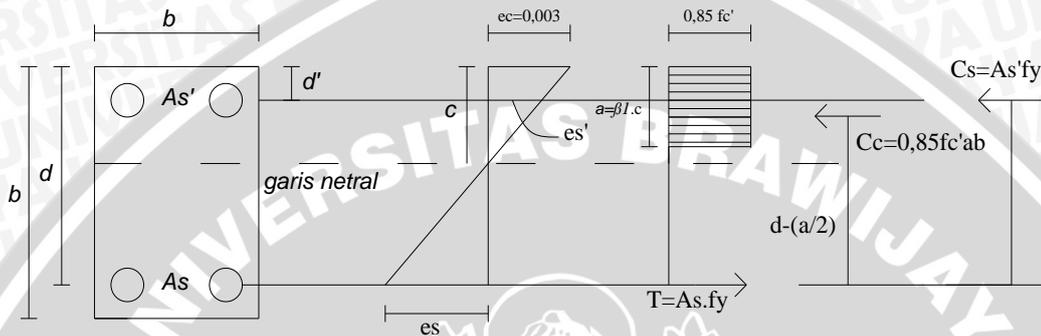
$$As' = 1,01 \text{ cm}^2 = 101 \text{ mm}^2$$

$$fc' = 14,133 \text{ Mpa} = 141,33 \text{ kg/cm}^2$$

Asumsi (keadaan UnderReinforced) :

$$\text{Tulangan tarik sudah leleh : } fs = fy \longrightarrow \epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\text{Tulangan tekan sudah leleh : } fs = fy \longrightarrow \epsilon_s' > \epsilon_y$$



$$T = As.fy \longrightarrow T = (1,01).(2400) = 2424 \text{ kg}$$

$$Cs = As'.fs \longrightarrow Cs = (1,01).(2400) = 2424 \text{ kg}$$

$$Cc = 0,85.f'c.a.b \longrightarrow Cc = 0,85.(141,33).10.a = 1201,305 a$$

$$Cc + Cs = T$$

$$1201,305a = 2424$$

$$a = 2,0178 \text{ cm}$$

$$a = \beta_1.c \longrightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,0178}{0,85} = 2,374 \text{ cm}^2$$

dimana :

c = jarak serat tekan terluar ke garis normal

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

Standar SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai β diambil 0,85 untuk $fc' < 30$ Mpa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 30 Mpa maka harus direduksi 0,005 untuk setiap kelebihan 7 Mpa di atas 30 Mpa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65

Kontrol :

dimana :

$$d = 13 \text{ cm}$$

$$d' = 2 \text{ cm}$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,003 \frac{2,374 - 2}{2,374} = 0,000473$$

$$\epsilon_s = \epsilon_c \cdot \frac{d - c}{c} = 0,003 \frac{13 - 2,374}{2,374} = 0,001343$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{240}{200000} = 0,0012$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\epsilon_s' < \epsilon_y$$

Asumsi Salah

Maka :

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \frac{c - d'}{c} E_s, \text{ atau}$$

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \frac{a - 0,85d'}{a} E_s$$

dimana :

$$C_s = A_s' \cdot f_s'$$

$$= A_s' \cdot 0,003 \frac{a - 0,85 \cdot d'}{a} \cdot E_s$$

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa} = 2.000.000 \text{ kg/cm}^2$$

(Modulus Elastisitas Baja = 2×10^5 Mpa)

$$C_c + C_s = T$$

$$1201,305a + (1,01) \cdot 0,003 \left(\frac{a - 0,85 \cdot 2}{a} \right) (2000000) = 2424$$

$$1201,305 \cdot a^2 + 6060 \cdot a - 10302 = 2424 \cdot a$$

$$1201,305 \cdot a^2 + 3636 \cdot a - 10302 = 0$$

$$a^2 + 3,0267 a - 8,576 = 0$$

$$a = 1,783 \text{ cm}$$

$$C_s = A_s' \cdot 0,003 \frac{a - 0,85 \cdot d'}{a} \cdot E_s$$

$$= (1,01) \cdot 0,003 \cdot \frac{1,783 - 0,85 \cdot 2}{1,783} \cdot 2000000$$

$$= 282,0976 \text{ kg}$$

$$f_s' = \frac{C_s}{A_s'} = \frac{282,0976}{1,01} = 279,304$$

$$C_c = 0,85 \cdot (143,33) \cdot (10) \cdot (1,783)$$

$$= 2141,927 \text{ kg}$$

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

$$= 2141,927 \cdot \left(13 - \frac{1,783}{2}\right) + 282,0976 \cdot (13 - 2)$$

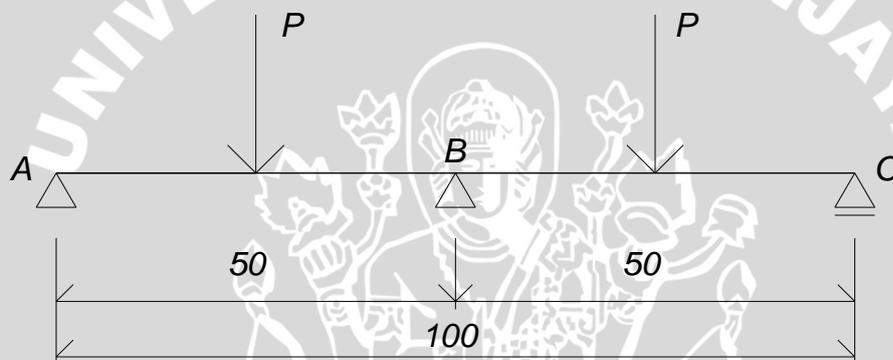
$$= 25935,521 + 3010,073$$

$$= 29038,594 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

$$M_u = 0,85 \cdot 29038,594 = 24682,805 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Analisis Struktur Tidak Tertentu (Slope Deflection) :



Menghitung Momen Primer :

$$M_{AB}^o = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA}^o = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC}^o = -\frac{Pab^2}{L^2} = -\frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = -0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{CB}^o = \frac{Pa^2b}{L^2} = \frac{P \cdot 0,25 \cdot (0,25)^2}{0,5^2} = 0,0625 P \cdot \text{kg} \cdot \text{m}$$

Persamaan Slope Deflection : (EI = 0,5)

$$M_{AB} = M^o_{AB} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_A + \theta_B) = -0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B$$

$$M_{BA} = M^o_{BA} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_B + \theta_A) = 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A$$

$$M_{BC} = M^o_{BC} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_B + \theta_C) = -0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C$$

$$M_{CB} = M^o_{CB} + 2 \left(\frac{EI}{0,5} \right) (2\theta_C + \theta_B) = 0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B$$

Syarat Keseimbangan :

(Titik B)

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

$$0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$2\theta_A + 8\theta_B + 2\theta_C = 0 \dots\dots\dots (1)$$

(Titik A)

$$M_{AB} = 0$$

$$-0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B = 0$$

$$4\theta_A = 0,0625.P - 2\theta_B$$

$$\theta_A = 0,015625.P - 0,5\theta_B \dots\dots\dots (2)$$

(Titik C)

$$M_{CB} = 0$$

$$0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B = 0$$

$$4\theta_C = -0,0625.P - 2\theta_B$$

$$\theta_C = -0,015625.P - 0,5\theta_B \dots\dots\dots (3)$$

Substitusi persamaan (2) dan (3) pada persamaan (1)

$$2\theta_A + 8\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$2(0,015625.P - 0,5\theta_B) + 8\theta_B + 2(-0,015625.P - 0,5\theta_B) = 0$$

$$-1\theta_B + 0,03125.P + 8\theta_B - 0,03125.P - 1\theta_B = 0$$

$$6\theta_B = 0$$

$$\theta_B = 0$$

$$\theta_A = 0,015625.P - 0,5\theta_B$$

$$= 0,015625.P - 0,5(0) = 0,015625.P$$

$$\begin{aligned}\theta_C &= -0,015625.P - 0,5 \theta_B \\ &= -0,015625.P - 0,5 (0) = -0,015625.P\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\Sigma M_A = 0$$

$$\begin{aligned}M_{AB} &= -0,0625.P + 4\theta_A + 2\theta_B \\ &= -0,0625.P + 4(0,015625.P) + 2(0) \\ &= 0 P \text{ kgm}(OK)\end{aligned}$$

$$\Sigma M_C = 0$$

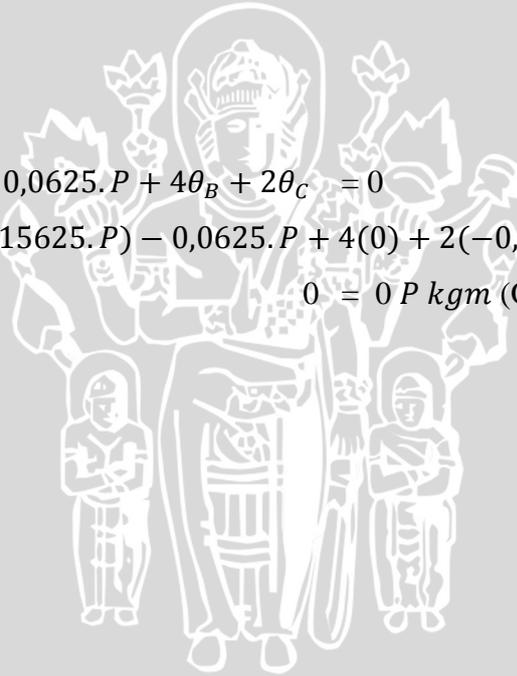
$$\begin{aligned}M_{CB} &= 0,0625.P + 4\theta_C + 2\theta_B \\ &= 0,0625.P + 4(-0,015625.P) + 2(0) \\ &= 0 P \text{ kgm}(OK)\end{aligned}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

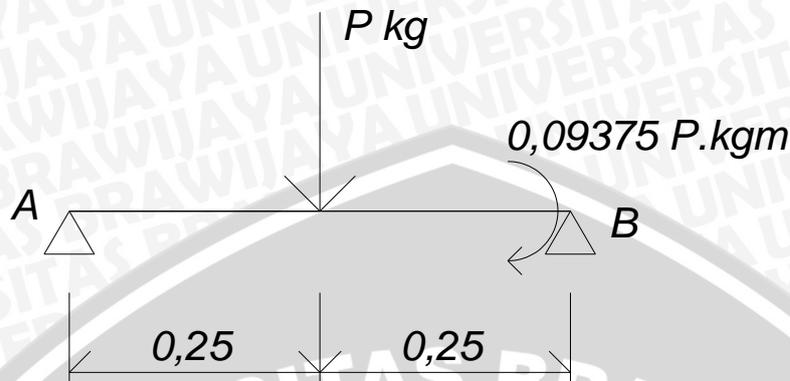
$$0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_A - 0,0625.P + 4\theta_B + 2\theta_C = 0$$

$$\begin{aligned}0,0625.P + 4(0) + 2(0,015625.P) - 0,0625.P + 4(0) + 2(-0,015625.P) &= 0 \\ 0 &= 0 P \text{ kgm} (OK)\end{aligned}$$



Momen Max Lapangan

*Batang A-B



$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A(0,5) - P(0,25) + 0,09375P = 0$$

$$0,5R_A - 0,25P + 0,09375P = 0$$

$$R_A = \frac{0,15625P}{0,5} = 0,3125 Pkg$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_B(0,5) + P(0,25) + 0,09375P = 0$$

$$-0,5R_B + 0,25P + 0,09375P = 0$$

$$R_B = \frac{0,34375P}{0,5} = 0,6875 Pkg$$

$$\Sigma V = 0$$

$$R_A + R_B = P$$

$$0,3125P + 0,6875P = P$$

$$P = P \text{ (OK)}$$

Interval :

$$(0 < x < 0,25)$$

$$M_x = R_A(x)$$

$$x = 0 \quad M_x = 0 Pkgm$$

$$x = 0,1 \quad M_x = 0,03125 Pkgm$$

$$x = 0,2 \quad M_x = 0,0625 Pkgm$$

$$x = 0,25 \quad M_x = 0,078125 Pkgm$$

Beban maksimum (Pu)

$$Mul = 0,078125 \text{ Pkgm}$$

$$P = \frac{Mul}{0,078125}$$
$$= \frac{246,828}{0,078125} = 3159,399 \text{ kg}$$

$$Pu = 3159,399 \times 2 = \mathbf{6318,798 \text{ kg}}$$

$$R_A = 0,3125 P = 0,3125(3159,399) = 987,312 \text{ kg}$$

Momen Maksimum Tumpuan (Mut)

$$Mut = 0,09375 P = 0,09375(3159,399) = \mathbf{296,194 \text{ kgm}}$$

Momen Maksimum lapangan (Mul)

$$Mul = \mathbf{246,828 \text{ kgm}}$$

Interval :

$$(0 < x < 0,25)$$

$$M_x = R_A(x)$$

$$x = 0 \quad M_x = 0 \text{ kgm}$$

$$x = 0,1 \quad M_x = 98,731 \text{ kgm}$$

$$x = 0,2 \quad M_x = 197,462 \text{ kgm}$$

$$x = 0,25 \quad M_x = 246,828 \text{ kgm}$$

$$(0,25 < x < 0,5)$$

$$M_x = R_A(x) - 4025,05(x - 0,25)$$

$$x = 0,25 \quad M_x = 246,828 \text{ kgm}$$

$$x = 0,3 \quad M_x = 138,224 \text{ kgm}$$

$$x = 0,4 \quad M_x = -78,985 \text{ kgm}$$

$$x = 0,5 \quad M_x = -296,194 \text{ kgm}$$



Gambar Bidang Momen dan Lintang

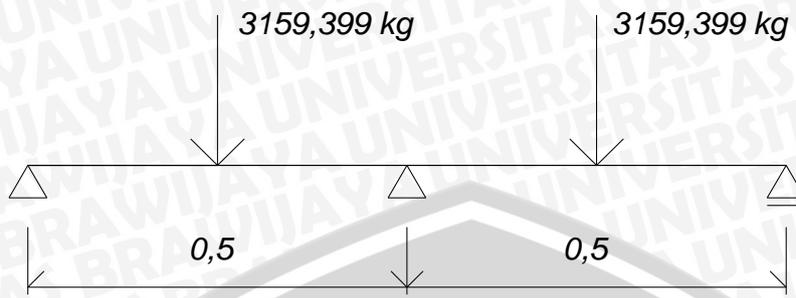


Diagram Lintang

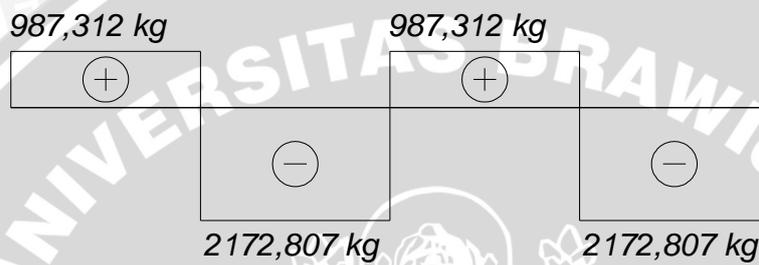
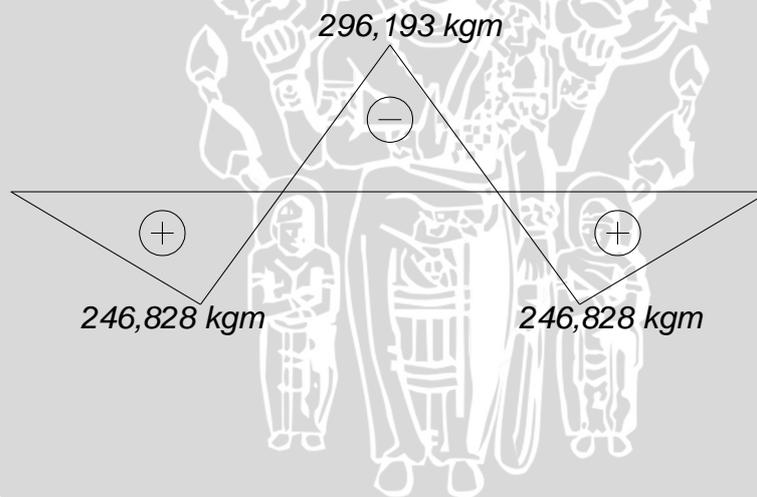
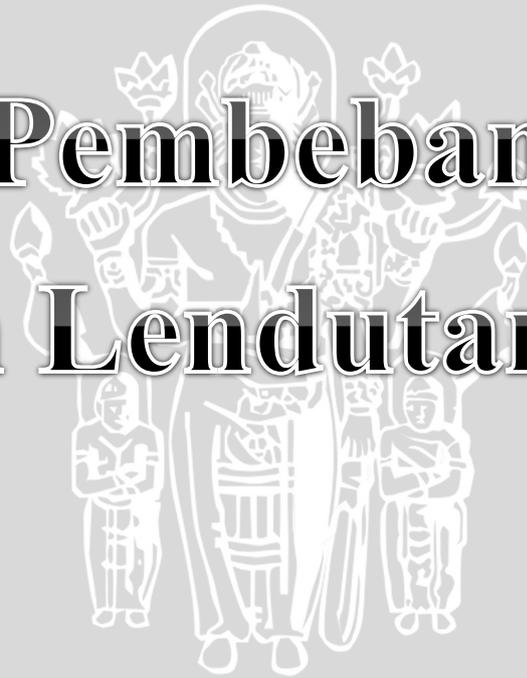


Diagram Momen



LAMPIRAN 3

Data Pembebanan dan Lendutan



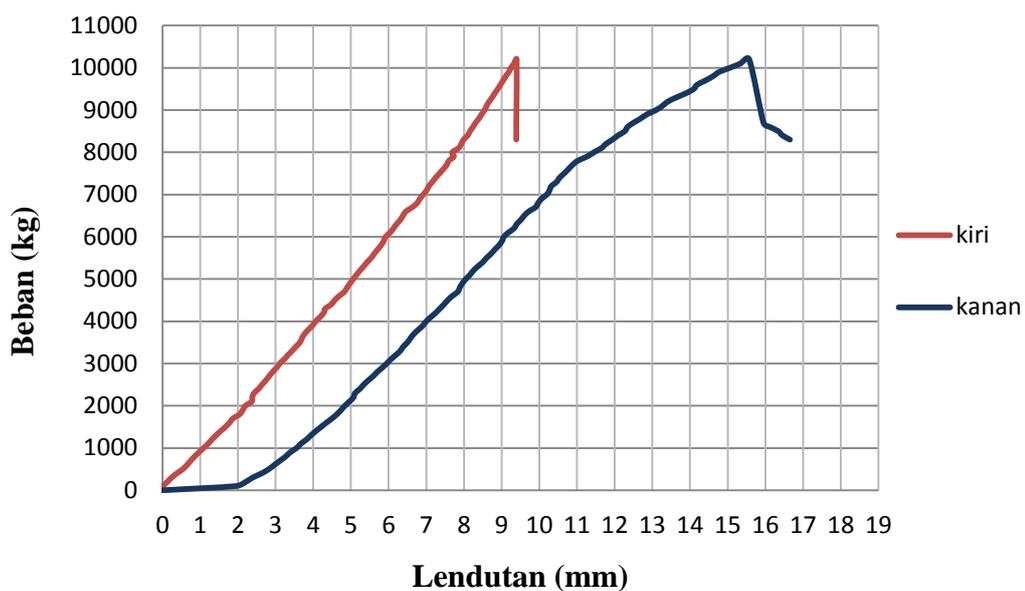
Lendutan Balok Uji Kerikil 1 3 Agustus 2015

Beban (kg)	Benda Uji		Keterangan
	Lendutan (mm)		
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	
0	0	0	
16	0,01	0,75	
116	0,02	1,95	
216	0,13	2,21	
316	0,24	2,39	
416	0,38	2,63	
516	0,54	2,82	
616	0,65	2,97	
716	0,75	3,12	
816	0,85	3,27	
916	0,97	3,39	
1016	1,09	3,56	
1116	1,21	3,67	
1216	1,31	3,82	
1316	1,42	3,94	
1416	1,54	4,07	
1516	1,67	4,21	
1616	1,78	4,35	
1716	1,87	4,5	
1816	2,05	4,63	
1916	2,13	4,74	
2016	2,2	4,84	
2116	2,37	4,96	
2216	2,38	5,07	
2316	2,43	5,11	
2416	2,55	5,24	
2516	2,64	5,34	
2616	2,74	5,46	
2716	2,83	5,59	
2816	2,92	5,7	
2916	3,03	5,83	
3016	3,11	5,95	
3116	3,23	6,06	
3216	3,33	6,19	
3316	3,44	6,31	
3416	3,54	6,39	

3516	3,65	6,5	
3616	3,7	6,58	
3716	3,77	6,67	
3816	3,87	6,79	
3916	3,98	6,91	
4016	4,07	7	
4116	4,18	7,12	
4216	4,28	7,25	
4316	4,32	7,36	
4416	4,48	7,47	
4516	4,57	7,57	
4616	4,69	7,69	
4716	4,83	7,84	
4816	4,9	7,89	
4916	4,98	7,96	
5016	5,06	8,05	
5116	5,15	8,16	
5216	5,24	8,25	
5316	5,34	8,37	
5416	5,43	8,5	
5516	5,54	8,6	
5616	5,62	8,72	
5716	5,71	8,82	
5816	5,8	8,93	
5916	5,87	9,01	
6016	5,92	9,06	
6116	6,04	9,18	
6216	6,13	9,33	
6316	6,21	9,4	
6416	6,31	9,51	
6516	6,38	9,6	
6616	6,46	9,72	
6716	6,63	9,9	
6816	6,76	9,97	
6916	6,83	10,06	
7016	6,92	10,2	
7116	7,01	10,27	
7216	7,07	10,32	
7316	7,16	10,46	
7416	7,25	10,54	
7516	7,35	10,66	

7616	7,45	10,77	
7716	7,54	10,88	
7816	7,6	11,02	
7916	7,73	11,27	
8016	7,69	11,45	
8116	7,86	11,65	
8216	7,93	11,77	
8316	7,99	11,94	
8416	8,1	12,09	
8516	8,16	12,27	
8616	8,24	12,34	
8716	8,31	12,5	
8816	8,4	12,69	
8916	8,47	12,86	
9016	8,55	13,1	
9116	8,6	13,27	
9216	8,67	13,41	
9316	8,75	13,64	
9416	8,82	13,9	
9516	8,9	14,1	
9616	8,97	14,19	
9716	9,04	14,41	
9816	9,11	14,61	
9916	9,19	14,77	
10016	9,25	15,06	
10116	9,33	15,34	
10216	9,4	15,57	
8716	9,39	15,95	
8616	9,39	16,12	
8516	9,39	16,34	
8416	9,39	16,45	
8316	9,39	16,65	

Grafik Beban dan Lendutan Balok Kerikil 1



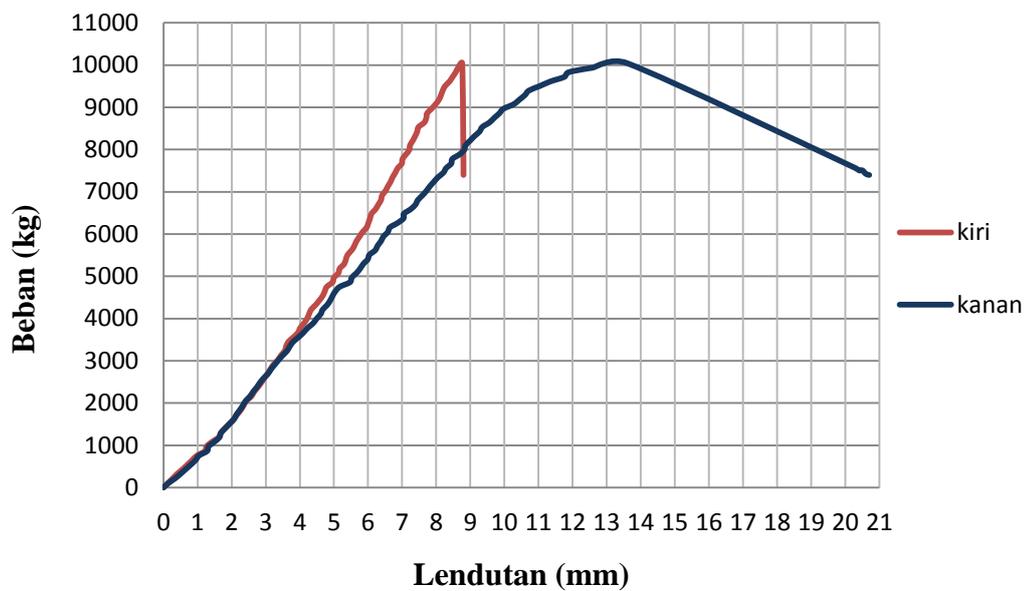
Lendutan Balok Uji Kerikil 2 3 Agustus 2015

Beban (kg)	Benda Uji		Keterangan
	Lendutan (mm)		
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	
0	0	0	
16	0,04	0,03	
124	0,13	0,15	
232	0,27	0,34	
340	0,4	0,5	
448	0,56	0,65	
556	0,7	0,8	
664	0,84	0,94	
772	0,98	1,04	
880	1,22	1,28	
988	1,26	1,32	
1096	1,42	1,49	
1204	1,62	1,64	
1312	1,68	1,69	
1420	1,81	1,81	
1528	1,94	1,94	
1636	2,06	2,07	
1744	2,16	2,14	
1852	2,27	2,24	
1960	2,35	2,33	
2068	2,43	2,41	
2176	2,58	2,54	
2284	2,66	2,63	
2392	2,77	2,74	
2500	2,87	2,83	
2608	2,96	2,94	
2716	3,06	3,07	
2824	3,14	3,16	
2932	3,23	3,27	
3040	3,36	3,38	
3148	3,45	3,5	
3256	3,56	3,63	
3364	3,6	3,71	
3472	3,67	3,81	
3580	3,82	3,97	
3688	3,95	4,11	

3796	4,01	4,23	
3904	4,12	4,39	
4012	4,21	4,49	
4120	4,27	4,61	
4228	4,33	4,67	
4336	4,46	4,8	
4444	4,57	4,89	
4552	4,67	4,96	
4660	4,73	5,04	
4768	4,79	5,17	
4876	4,96	5,47	
4984	5	5,52	
5092	5,13	5,66	
5200	5,17	5,77	
5308	5,3	5,86	
5416	5,35	5,99	
5524	5,4	6,04	
5632	5,52	6,21	
5740	5,6	6,28	
5848	5,66	6,38	
5956	5,75	6,45	
6064	5,84	6,58	
6172	5,96	6,64	
6280	6,01	6,87	
6388	6,06	7,04	
6496	6,1	7,05	
6604	6,22	7,25	
6712	6,3	7,39	
6820	6,38	7,46	
6928	6,41	7,59	
7036	6,51	7,71	
7144	6,58	7,81	
7252	6,66	7,93	
7360	6,72	8,05	
7468	6,8	8,21	
7576	6,87	8,29	
7684	6,99	8,44	
7792	7,01	8,47	
7900	7,11	8,68	
8008	7,21	8,82	
8116	7,23	8,86	

8224	7,31	8,99	
8332	7,38	9,12	
8440	7,44	9,27	
8548	7,48	9,35	
8656	7,65	9,56	
8764	7,71	9,7	
8872	7,73	9,85	
8980	7,86	9,97	
9088	7,98	10,27	
9196	8,08	10,44	
9304	8,14	10,6	
9412	8,19	10,72	
9520	8,26	11,04	
9628	8,39	11,35	
9736	8,48	11,76	
9844	8,57	11,88	
9952	8,64	12,58	
10060	8,76	13,6	
7576	8,8	20,3	
7522	8,8	20,4	
7522	8,8	20,5	
7441	8,8	20,6	
7414	8,8	20,7	

Grafik Beban dan Lendutan Balok Kerikil 2



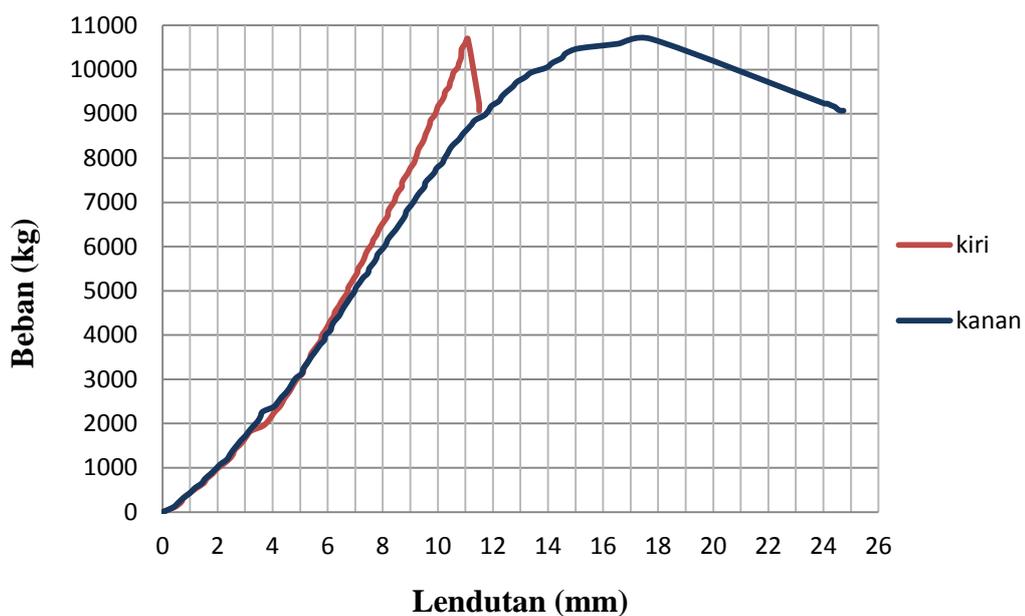
Lendutan Balok Uji Kerikil 3 3 Agustus 2015

Beban (kg)	Benda Uji		Keterangan
	Lendutan (mm)		
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	
0	0	0	
16	0,09	0,13	
124	0,43	0,39	
232	0,67	0,58	
340	0,77	0,77	
448	1	1	
556	1,23	1,17	
664	1,49	1,42	
772	1,61	1,55	
880	1,82	1,75	
988	1,97	1,93	
1096	2,2	2,1	
1204	2,41	2,34	
1312	2,55	2,45	
1420	2,62	2,57	
1528	2,8	2,71	
1636	2,95	2,85	
1744	3,07	3,02	
1852	3,22	3,15	
1960	3,64	3,3	
2068	3,83	3,46	
2176	3,96	3,56	
2284	4,08	3,64	
2392	4,25	4,03	
2500	4,36	4,19	
2608	4,45	4,32	
2716	4,59	4,49	
2824	4,69	4,62	
2932	4,79	4,72	
3040	4,91	4,84	
3148	5,09	5,06	
3256	5,13	5,11	
3364	5,22	5,24	
3472	5,35	5,34	
3580	5,39	5,47	
3688	5,51	5,6	
3796	5,64	5,72	

3904	5,76	5,88	
4012	5,79	5,92	
4120	5,91	6,1	
4228	6,01	6,15	
4336	6,1	6,25	
4444	6,22	6,41	
4552	6,27	6,5	
4660	6,4	6,6	
4768	6,49	6,72	
4876	6,61	6,83	
4984	6,72	6,96	
5092	6,75	7,03	
5200	6,86	7,16	
5308	6,96	7,28	
5416	7,07	7,46	
5524	7,11	7,51	
5632	7,23	7,65	
5740	7,32	7,76	
5848	7,38	7,82	
5956	7,47	7,98	
6064	7,6	8,11	
6172	7,66	8,18	
6280	7,78	8,31	
6388	7,85	8,46	
6496	7,95	8,58	
6604	8,07	8,7	
6712	8,18	8,81	
6820	8,2	8,86	
6928	8,3	9	
7036	8,42	9,13	
7144	8,47	9,23	
7252	8,56	9,36	
7360	8,69	9,51	
7468	8,7	9,55	
7576	8,8	9,71	
7684	8,92	9,87	
7792	9	9,96	
7900	9,13	10,16	
8008	9,19	10,24	
8116	9,25	10,35	
8224	9,3	10,44	

8332	9,41	10,58	
8440	9,5	10,77	
8548	9,55	10,89	
8656	9,63	11,05	
8764	9,7	11,21	
8872	9,74	11,35	
8980	9,88	11,68	
9088	9,95	11,84	
9196	10,01	11,95	
9304	10,14	12,22	
9412	10,23	12,33	
9520	10,27	12,51	
9628	10,41	12,72	
9736	10,45	12,87	
9844	10,52	13,17	
9952	10,57	13,4	
10060	10,72	13,94	
10168	10,77	14,16	
10276	10,84	14,5	
10384	10,85	14,65	
10492	10,87	15,09	
10600	10,99	16,54	
10708	11,09	17,75	
9250	11,5	24,03	
9250	11,5	24,13	
9223	11,5	24,23	
9196	11,5	24,33	
9169	11,5	24,43	
9099	11,5	24,53	
9088	11,5	24,63	
9088	11,5	24,73	

Grafik Beban dan Lendutan Balok Kerikil 3

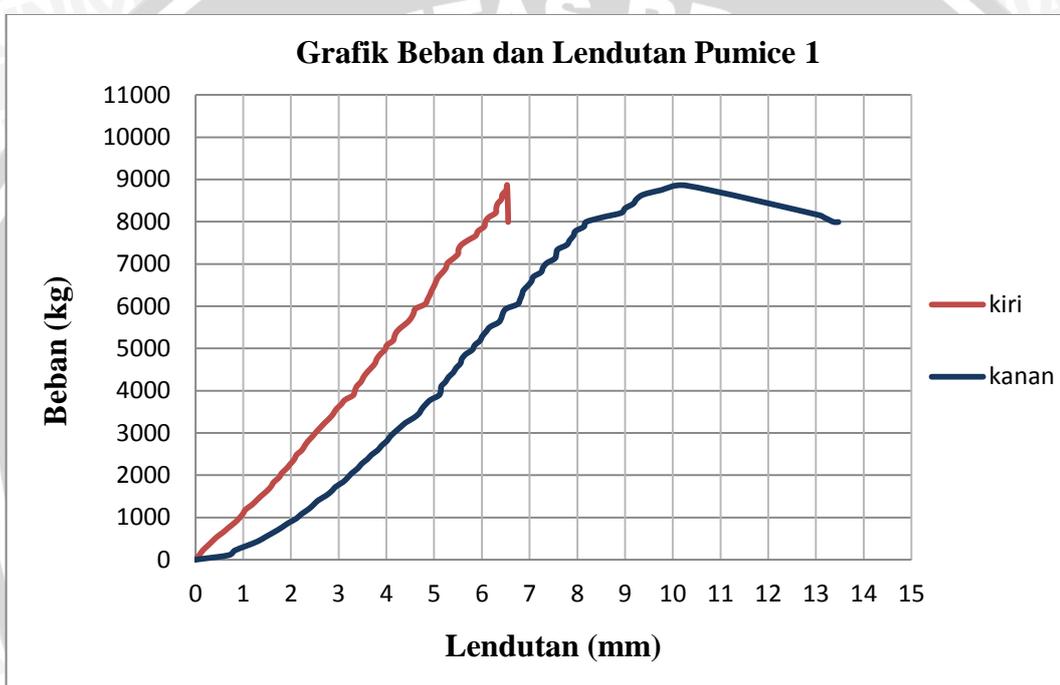


Lendutan Balok Uji Pumice 1
5 Agustus 2015

Beban (kg)	Benda Uji		Keterangan
	Lendutan (mm)		
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	
0	0	0	
16	0,01	0,12	
124	0,08	0,7	
232	0,15	0,82	
340	0,25	1,06	
448	0,35	1,3	
556	0,45	1,47	
664	0,58	1,64	
772	0,69	1,8	
880	0,81	1,94	
988	0,91	2,11	
1096	0,99	2,22	
1204	1,05	2,36	
1312	1,18	2,47	
1420	1,28	2,57	
1528	1,38	2,73	
1636	1,49	2,85	
1744	1,58	2,94	
1852	1,64	3,09	
1960	1,75	3,19	
2068	1,81	3,28	
2176	1,91	3,4	
2284	1,99	3,48	
2392	2,07	3,6	
2500	2,12	3,69	
2608	2,23	3,82	
2716	2,29	3,9	
2824	2,36	4,01	
2932	2,45	4,08	
3040	2,53	4,18	
3148	2,62	4,29	
3256	2,71	4,4	
3364	2,81	4,56	
3472	2,89	4,68	
3580	2,95	4,74	
3688	3,05	4,82	
3796	3,13	4,92	

3904	3,3	5,1	
4012	3,34	5,14	
4120	3,38	5,15	
4228	3,47	5,24	
4336	3,52	5,3	
4444	3,59	5,4	
4552	3,68	5,46	
4660	3,76	5,55	
4768	3,8	5,58	
4876	3,87	5,66	
4984	3,97	5,8	
5092	4,01	5,85	
5200	4,14	5,96	
5308	4,17	6,01	
5416	4,22	6,09	
5524	4,32	6,17	
5632	4,44	6,35	
5740	4,52	6,41	
5848	4,57	6,44	
5956	4,61	6,51	
6064	4,81	6,75	
6172	4,86	6,8	
6280	4,91	6,84	
6388	4,95	6,87	
6496	5	6,96	
6604	5,04	7,04	
6712	5,09	7,08	
6820	5,18	7,24	
6928	5,25	7,28	
7036	5,28	7,36	
7144	5,4	7,53	
7252	5,5	7,56	
7360	5,51	7,59	
7468	5,57	7,78	
7576	5,71	7,84	
7684	5,87	7,92	
7792	5,92	7,96	
7900	6,05	8,14	
8008	6,07	8,18	
8116	6,14	8,51	
8224	6,29	8,92	

8332	6,3	9	
8440	6,33	9,17	
8548	6,41	9,24	
8656	6,43	9,38	
8764	6,51	9,76	
8872	6,53	10,28	
8170	6,55	13,07	
8116	6,55	13,17	
8062	6,55	13,27	
8008	6,55	13,37	
8008	6,55	13,47	



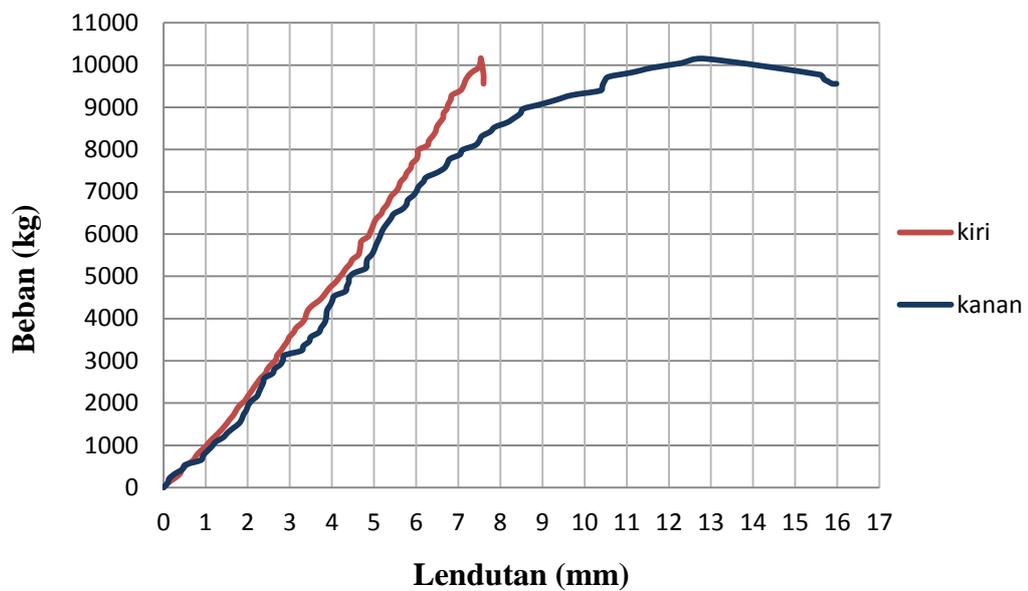
Lendutan Balok Uji Pumice 2
5 Agustus 2015

Benda Uji			
Beban (kg)	Lendutan (mm)		Keterangan
	$\Delta 1$	$\Delta 2$	
0	0	0	
16	0,02	0,01	
124	0,1	0,1	
232	0,26	0,14	
340	0,39	0,27	
448	0,44	0,45	
556	0,56	0,52	
664	0,71	0,89	
772	0,78	0,94	
880	0,88	1,04	
988	1	1,15	
1096	1,09	1,24	
1204	1,2	1,42	
1312	1,31	1,52	
1420	1,41	1,65	
1528	1,5	1,79	
1636	1,58	1,86	
1744	1,67	1,9	
1852	1,73	1,97	
1960	1,81	2,01	
2068	1,93	2,09	
2176	2	2,22	
2284	2,08	2,27	
2392	2,15	2,32	
2500	2,23	2,37	
2608	2,31	2,4	
2716	2,42	2,59	
2824	2,47	2,64	
2932	2,56	2,78	
3040	2,67	2,84	
3148	2,7	2,87	
3256	2,79	3,28	
3364	2,86	3,32	
3472	2,94	3,46	
3580	2,99	3,5	
3688	3,09	3,69	
3796	3,15	3,74	

3904	3,28	3,82	
4012	3,36	3,86	
4120	3,39	3,87	
4228	3,44	3,89	
4336	3,55	3,96	
4444	3,7	4,01	
4552	3,8	4,06	
4660	3,88	4,32	
4768	3,97	4,35	
4876	4,09	4,4	
4984	4,17	4,41	
5092	4,26	4,52	
5200	4,33	4,8	
5308	4,43	4,82	
5416	4,49	4,84	
5524	4,63	4,94	
5632	4,66	5	
5740	4,68	5,04	
5848	4,7	5,09	
5956	4,86	5,14	
6064	4,91	5,18	
6172	4,96	5,24	
6280	5	5,32	
6388	5,06	5,4	
6496	5,17	5,47	
6604	5,22	5,67	
6712	5,31	5,77	
6820	5,36	5,8	
6928	5,42	5,93	
7036	5,53	6,01	
7144	5,59	6,06	
7252	5,63	6,17	
7360	5,73	6,24	
7468	5,78	6,49	
7576	5,87	6,67	
7684	5,9	6,74	
7792	6,01	6,8	
7900	6,04	7,04	
8008	6,05	7,1	
8116	6,27	7,4	
8224	6,3	7,5	

8332	6,39	7,56	
8440	6,46	7,76	
8548	6,49	7,87	
8656	6,56	8,16	
8764	6,64	8,33	
8872	6,65	8,48	
8980	6,73	8,54	
9088	6,76	8,96	
9196	6,82	9,34	
9304	6,85	9,7	
9412	7,05	10,38	
9520	7,12	10,42	
9628	7,16	10,47	
9736	7,22	10,56	
9844	7,32	11,14	
9952	7,48	11,6	
10060	7,52	12,29	
10168	7,54	12,84	
9790	7,6	15,58	
9682	7,6	15,68	
9628	7,6	15,78	
9574	7,6	15,88	
9574	7,6	15,98	

Grafik Beban dan Lendutan Balok Pumice 2



LAMPIRAN 4

Gambar dan Foto Penelitian



Lampiran 4 (Gambar Dokumentasi)

A. Pengujian Gadasi Agregat :



B. Pengecatan Batu Pumice :





C. Pengujian Tekan Beton :





(Benda Uji dengan Agregat Kasar *Pumice*)

