

**PENGARUH PENAMBAHAN CAT PADA AGREGAT KASAR
BATU PUMICE TERHADAP KEKAKUAN BALOK BETON
BERTULANG DUA TUMPUAN**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ARI TRI KURNIAWAN

NIM. 115060100111032

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2015

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN CAT PADA AGREGAT KASAR
BATU PUMICE TERHADAP KEKAKUAN BALOK BETON BERTULANG
DUA TUMPUAN**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



ARI TRI KURNIAWAN

NIM. 115060100111032

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 25 Januari 2015

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS

NIP. 19511211 198103 2 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST, MT

NIP. 201102840705 1 001

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 Cat Pada Agregat Kasar Batu Pumice Terhadap Kekakuan Balok Beton Bertulang Dua Tumpuan

Nama Mahasiswa : Ari Tri Kurniawan

NIM : 115060100111032

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI :

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

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST. MT

Tanggal Ujian : 21 Desember 2015

SK Penguji : 1115/ UN 10.6/SK/2015

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,

Ari Tri Kurniawan

NIM. 115060100111032



RIWAYAT HIDUP

Ari Tri Kurniawan lahir di Malang 25 November 1992 anak ke-3 dari ayah Mulyono dan Ibu Choirun Nisa'. Menjalani pendidikan di Sekolah Dasar di SDN Kauman III Malang lulus tahun 2005. Setelah itu SMP (Sekolah Menengah Pertama) di SMPN 6 Malang lulus tahun 2008. Melanjutkan pendidikan ke SMAN 2 di Kota Malang Provinsi Jawa Timur lulus tahun 2011.

Pada Masa sekolah di SMAN 2 Malang, pernah menjadi Sekretaris Ekstrakurikuler Musik pada saat duduk di kelas XI minat dalam bidang IPA, serta berpartisipasi dalam kegiatan sekolah antara lain ekstrakurikuler futsal, olimpiade kimia,dll.

Kemudian, melanjutkan sekolah di Perguruan Tinggi di Universitas Brawijaya Malang, lulus Program Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2015. Pada saat sedang menjalani kehidupan kampus, ikut berpartisipasi sebagai asisten Tugas Besar Sistem Bangunan Irigasi untuk tahun akademik 2013 / 2014 dan tahun akademik 2014/2015.

Dan sering mengurus Kelas (sebagai Ketua Koordinasi) dalam beberapa perkuliahan yaitu Fisika, Teknologi Bahan 1, Kimia Teknik, Analisa Struktur I, dll. Dalam bidang non-akademik berperan sebagai Himpunan Periode 2012/2013 sebagai anggota Departemen Minat dan Bakat, sebagai Ketua Divisi Marketing pada periode 2013/2014, sebagai Wakil Ketua Departemen Kewirausahaan pada periode Himpunan 2014/2015 serta ikut aktif dalam kegiatan –kegiatan Himpunan sebagai panitia dalam acara-acara yang dibuat oleh Himpunan maupun BEM Fakultas Teknik.

Malang, Januari 2016

Penulis

LEMBAR PERUNTUKAN

Pertama-tama saya menghaturkan syukur kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmatnya, saya dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik. Kepada Bapak, Ibu, Kakak yang memberi dukungan moral dan material dalam proses penyelesaian Skripsi. Tidak lupa ucapan terima kasih buat Rainhart Markus Lumban Gaol, Bagus Arista Putra, Ahmad Fauzi yang telah memberikan ide skripsi kepada saya, dan oleh karenanya saya dapat mendapat gelar Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Ucapan limpah terima kasih saya sampaikan kepada Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan izin untuk melaksanakan penelitian skripsi ini. Kepada Ibu Sri Murni Dewi dan Pak Ming Narto Wijaya yang telah memberikan waktu, ide, masukan dalam skripsi ini sehingga menjadikannya lebih baik. Kepada Staff Administrasi Ruang Baca Perpustakaan Teknik Sipil Bu Dwi yang membantu dalam teknik penulisan Skripsi sehingga terlihat baik secara ilmiah.

Skripsi ini saya persembahkan buat pengalaman saja untuk adik-adik Teknik Sipil yang sedang menjalani masa perkuliahan, ataupun orang-orang yang merasa membutuhkannya. Semoga hasil penelitian yang saya kerjakan berguna untuk anda.

Akhir kata, saya mengucapkan permintaan maaf yang sebesar-besarnya atas kesalahan yang saya lakukan dalam proses penyelesaian skripsi ini serta sekali lagi terima kasih yang sebanyak-banyaknya. Sekian dan terima kasih atas perhatiannya.

Malang, Januari 2016

Ari Tri Kurniawan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, atas rahmat, hidayah serta pertolongan Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, dengan judul : **“Pengaruh Penambahan Cat Pada Agregat Kasar Batu Pumiceterhadap Kekakuan Balok Beton Bertulang Dua Tumpuan”**, sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini
4. Bapak Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST. MT. M.sc., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini
5. Kedua orang tua tercinta, Choirun Nisa’ dan Mulyono, yang telah memberikan dukungan moril dan materil yang tidak ternilai dari awal perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan selama masa perkuliahan
7. Pak Sugeng, Pak Hadi dan Mas Dino selaku pihak Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan yang telah membantu selama kegiatan penelitaian di laboratarium
8. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil yang telah membantu dan mendukung selama masa perkuliahan
9. Himpunan Mahasiswa Sipil yang telah mendukung dan memberikan pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan
10. Keluarga PiKas telah mendukung dan memberikan pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan
11. Saudara serta sahabatku Extream, Zolascito, Tewur Team, Karang Taruna Jong Handwood, YVCI Chapter Malang, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, November 2015

Penulis

RINGKASAN

Ari Tri Kurniawan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2015, *Pengaruh Penambahan Cat Pada Agregat Kasar Batu Pumice terhadap Kekakuan Balok Beton Bertulang Dua Tumpuan*, Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS dan Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, ST. MT. M.sc.

Beton adalah suatu bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan lebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan yang dipilih. Sifat-sifat fisik dan mekanik agregat mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras mengingat prosentase dari agregat yang cukup besar. Sehingga dilakukan penelitian untuk memperoleh beton yang mempunyai berat sendiri yang ringan terhadap kuat menahan tekan serta mempunyai kekakuan yang aman. Salah satunya yaitu penggunaan batu apung (*pumice*) untuk menggantikan batu pecah diharapkan bisa digunakan sebagai agregat ringan dalam campuran beton, hal ini dimungkinkan karena hampir 20% strukturnya adalah rongga sehingga lebih ringan dari batu pecah. Termasuk penggunaan cat sebagai bahan pelapis permukaan batu apung (*pumice*) untuk mengurangi penyerapan air pada agregat tersebut.

Pada penelitian ini objek yang diamati yaitu: 1.) balok beton bertulang agregat kasar normal, 2.) balok beton bertulang agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat, 3.) balok beton bertulang agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat. Masing - masing balok uji menggunakan 3 benda uji. Dimensi balok 120x15x10 cm. Pembeban statik vertikal dilakukan pada seperempat dan tigaperempat bentang setelah balok beton berumur 28 hari.

Hasil penelitian didapatkan bahwa balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal dapat menahan beban 1620,677 kg, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat dapat menahan beban 1487,343 kg, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat dapat menahan beban 1525,677 kg. Lendutan pada balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal sebesar 17,315 mm, lendutan pada balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat sebesar 16,76 mm, lendutan pada balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat sebesar 23,123 mm. Balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal memiliki nilai berat volume sebesar 2519,444 kg/mm³, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat memiliki berat volume sebesar 2134 kg/mm³, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat memiliki berat volume sebesar 2080,556 kg/mm³. Balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal memiliki nilai kekakuan sebesar 213,9202 kg/mm, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat memiliki nilai kekakuan sebesar 187,287 kg/mm, balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat memiliki nilai kekakuan sebesar 179,406 kg/mm³. Dari hasil kekakuan yang diperoleh nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal dengan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat sebesar 14,22%, nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar normal dengan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat sebesar 19,238%, nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* tanpa pelapisan cat dengan balok beton bertulang menggunakan agregat kasar batu *pumice* dengan pelapisan cat sebesar 4,393%.

Kata kunci: balok beton, agregat kasar batu pumice berlapis cat, kekakuan, berat volume

SUMMARY

Ari Tri Kurniawan, Civil Engineering department, Faculty of Engineering University Brawijaya, November 2015, *Influence of coat addition on the Pumice Stone Aggregates Coated To The Stiffness of Rainforced Concrete Beam With Two Supports*, Academic Supervisor: Prof. Dr. Ir. Sri MurniDewi, MS and Dr. Eng. Ming NartoWijaya, ST. MT. M.sc.

Concrete is one of building material and construction which has first determined by it's characteristic and by carefully planning and observing. The physical and mechanic characters of aggregate are having huge influence in concrete block, remembering the aggregate percentage is adequate big. Thus, the reseach being done enhance hard lighter concrete againts rainforced rigidity. The use of pumice instead of the broken rocks exchange as the lighter aggregate in concrete mixture. This is possible, because almost 20% structure hard lighter hollow than broken rocks. Including the panted pumice to reduce water adsorbtion.

This research objectives are: 1.) the normal coarse aggregate of concrete beam, 2.) uncoated pumice of coarse aggregate of concrete beam, 3.) coated pumice of coarse aggregate of concrete beam. The block dimation is 120x15x10 cm. The vertical static rainforced doing in four and three quarter range after 28 days block ages.

The result showed that concrete beam used normal coarsse aggregate might stand againts 1620,677 kg, the concrete beam used coarse uncoated pumice stand againts 1487,343 kg, and coated pumice pf coarse beam againts 1525,677 kg. The deflection of concrete beam using normal coarse aggregate by means of 17,315 mm, while using uncoated had score of 16,76 mm, and using coarse aggregate coated pumice is 23,123 mm. The concrete beam used normal coarse aggrerate is having volume of 2519,444 kg/mm³, used coarse agrgregate of uncoated is 2134 kg/mm³ volume and with coated pumice is 2080,556kg/mm³. The concrete beam with normal coarse aggregate hand stiffness value of 213,9202 kg/mm³, with uncoated pumice had stiffness of 187,287 kg/mm³, and concrete beam with coated pumice had value 179,406 kg/mm³. Based on the stiffness value of concrete block using norma coarse aggregate againts uncoated had differences of 14,22 %, the difference value of normal coarse aggregate againts coated pumice is 19,238 %, the difference stiffness value of uncoated againts coated pumice coarse aggregate is 4,393 %.

Key Word : concrete beam, coarse aggregate of coating pumice, stiffness, heavy volume

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

RINGKASAN..... ii

SUMMARY iii

DAFTAR ISIiv

DAFTAR TABEL viii

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR LAMPIRAN..... xii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah 1

1.2 Perumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Maksud dan Tujuan 4

1.5 Manfaat Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton 5

 2.1.1 Deskripsi 5

 2.1.2 Klasifikasi dan Kegunaan 8

2.2 Beton Ringan 8

 2.2.1 Deskripsi 8

 2.2.2 Klasifikasi dan Kegunaan 9

2.3 Beton Ringan Beragregat Batu Apung (*Pumice*) 10

 2.3.1 Deskripsi 10

 2.3.2 Karakteristik dan Kegunaan 11

2.4 Beton Ringan dengan Bahan Tambahan Cat sebagai Pelapis Agregat Kasar 11

 2.4.1 Deskripsi 11



2.4.2 Bahan-bahan Penyusun Cat	12
2.4.3 Jenis-jenis Cat	16
2.4.4 Kualitas Cat	17
2.5 Tulangan Baja	22
2.5.1 Jenis dan Sifat Baja Tulangan	22
2.5.1.1 Tulangan polos	23
2.5.1.2 Tulangan Ulir	23
2.5.1.3 Sifat Mekanik Baja Tulangan	24
2.5.2 Hubungan Tegangan dan Regangan Baja	25
2.5.3 Jarak Tulangan dan Selimut Beton untuk Beton Bertulang	26
2.6 Balok	26
2.7 Kekakuan	27
2.8 Lendutan	28
2.9 Menghitung P Teoritis	31
2.10 Hipotesis	34

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.2 Peralatan dan Bahan	35
3.2.1 Peralatan	35
3.2.2 Bahan	36
3.3 Analisa dan Bahan yang digunakan	36
3.3.1 Semen	36
3.3.2 Air	36
3.3.3 Agregat Kasar (Batu Apung/ <i>Pumice</i>)	36
3.3.4 Agregat Halus	37
3.3.5 Cat polimer (Cat Kayu)	37
3.3.6 Baja Tulangan	37
3.4 Variabel Penelitian	37
3.5 Rancangan Penelitian	37



3.6	Prosedur Penelitian	38
3.7	Cara Penelitian dan Pengujian	39
3.8	Langkah-langkah Penelitian	41
3.9	Metode Pengumpulan Data.....	42
3.10	Analisis Data.....	42

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengujian Agregat Halus	43
4.1.1	Pemeriksaan gradasi agregat halus	43
4.1.2	Pemeriksaan kadar air agregat halus.....	44
4.1.3	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus.....	45
4.1.4	Pemeriksaan berat isi agregat halus	45
4.2	Pemeriksaan Agregat Kasar	46
4.2.1	Pemeriksaan gardasi agregat kasar	46
4.2.2	Pemeriksaan kadar air agregat kasar.....	48
4.2.3	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.....	48
4.2.4	Pemeriksaan berat isi agregat kasar	49
4.3	Pengujian Batu Pumice Sebagai Pengganti Agregat Kasar	50
4.3.1	Pemeriksaan gardasi batu pumice.....	50
4.3.2	Pemeriksaan keausan batu pumice	51
4.4	<i>Mix Design</i>	52
4.5	Pengujian Beton Segar	54
4.6	Pengujian Beton Keras.....	55
4.7	Analisa Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis	55
4.7.1	Pemodelan Struktur.....	55
4.7.2	Kapasitas Lentur	56
4.8	Berat Volume Balok Beton.....	62
4.8.1	Hasil Pengukuran Balok Beton.....	62
4.8.2	Analisa Berat Volume Balok Beton.....	63
4.9	Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal	65



4.9.1 Hasil Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal	65
4.10 Analisa Kekakuan Balok	77
4.10.1 Perhitungan Kekakuan Secara Teoritis	77
4.10.2 Perhitungan Kekakuan Secara Eksperimen	81

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	86
5.2 Saran	86

DAFTAR PUSTAKA	88
-----------------------------	-----------



DAFTAR TABEL

No.	Judul Halaman	
Tabel 2.1	Pengelompokan jenis cat.....	16
Tabel 2.2	Kualitas cat berdasarkan bahan penyusun.....	17
Tabel 2.3	Dimensi nominal tulangan polos.....	23
Tabel 2.4	Dimensi efektif tulangan ulir	24
Tabel 2.5	Sifat mekanik baja tulangan	25
Tabel 3.1	Rancangan model penelitian	38
Tabel 4.1	Pemeriksaan gradasi agregat halus.....	43
Tabel 4.2	Pemeriksaan kadar air agregat halus	44
Tabel 4.3	Pemeriksaan berat isi agregat halus	46
Tabel 4.4	Pemeriksaan gradasi agregat kasar.....	46
Tabel 4.5	Pemeriksaan kadar air agregat kasar	48
Tabel 4.6	Pemeriksaan berat isi agregat kasar	49
Tabel 4.7	Pemeriksaan Gradasi Batu Pumice	50
Tabel 4.8	Pengujian Agregat Kasar Batu Pumice	51
Tabel 4.9	Formulir perencanaan beton normal	52
Tabel 4.10	Kebutuhan bahan pembutan beton	54
Tabel 4.11	Pengujian Slump	54
Tabel 4.12	Pengujian Kuat Tekan Beton	55
Tabel 4.13	Hasil Pengukuran Balok Beton	63
Tabel 4.14	Analisa Berat Volume Balok Beton Normal.....	64
Tabel 4.15	Analisa Berat Volume Balok Beton Batu Pumice	64
Tabel 4.16	Analisa Berat Volume Balok Beton Batu Pumice Cat.....	64
Tabel 4.17	Perbandingan antara Beban Maksimum teoritis dengan Hasil Eksperimen	65
Tabel 4.18	Perbandingan antara Lendutan Maksimum teoritis dengan Hasil Eksperimen	70
Tabel 4.19	Perbandingan antara Kekakuan teoritis dengan Hasil Eksperimen.....	84

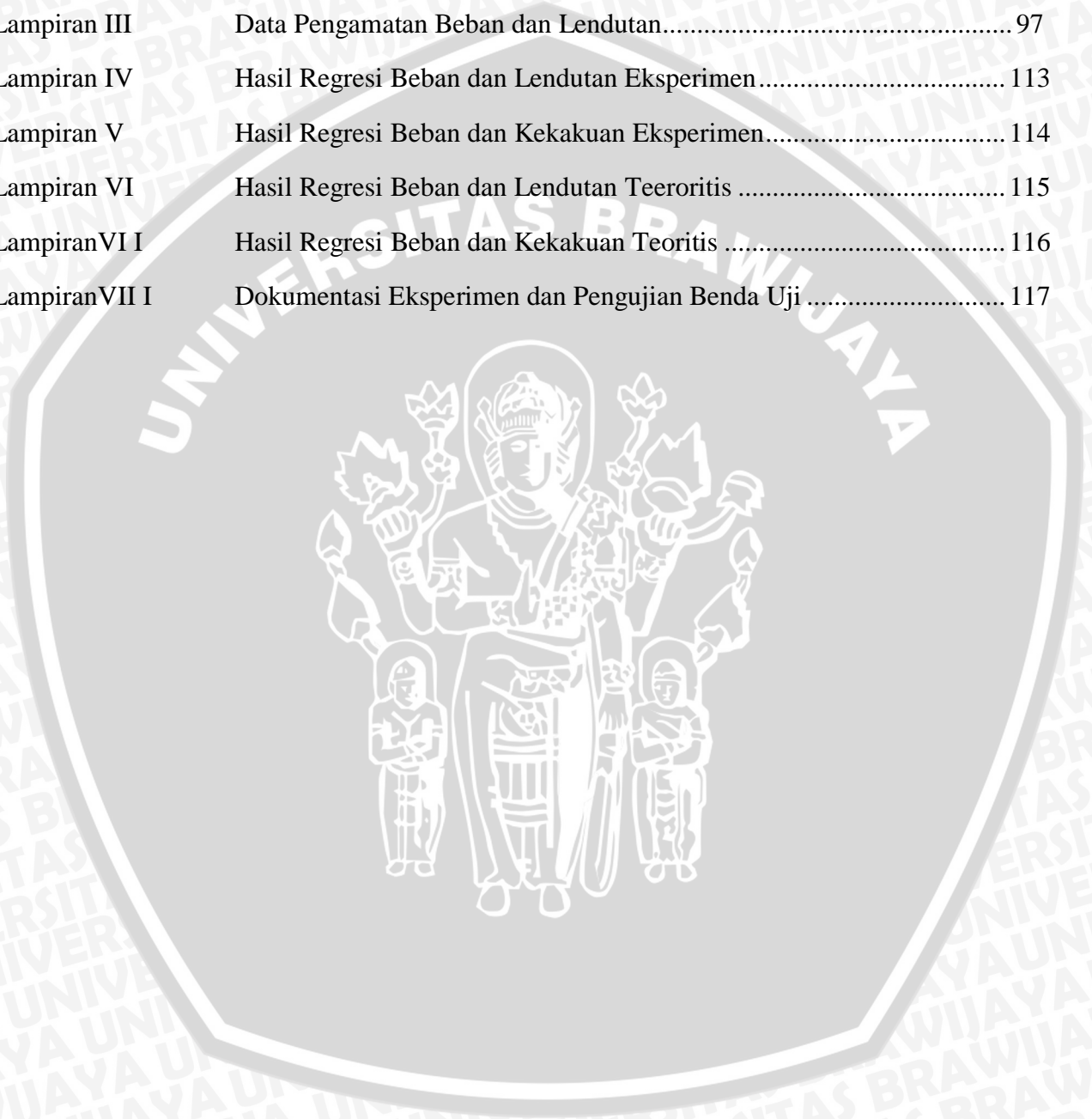
DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Bentuk tulangan ulir	23
Gambar 2.2	Hubungan tegangan-regangan baja	25
Gambar 2.3	Sistem rangka beton bertulang struktural tipikal	27
Gambar 2.5	Hubungan beban-lendutan struktur beton (Nawy, 1990)	28
Gambar 2.6	Defleksi pada beban Eksentris Terpusat	29
Gambar 2.7	Defleksi pada beban Eksentris Merata	30
Gambar 2.8	Penampang beton bertulangan rangkap	31
Gambar 3.1	Rancangan model balok penelitian	39
Gambar 3.2	Potongan model balok penelitian	40
Gambar 3.3	Pembebanan model balok penelitian	40
Gambar 4.1	Lengkung ayakan agregat halus	44
Gambar 4.2	Lengkung ayakan agregat kasar	47
Gambar 4.3	Lengkung Ayakan Batu pumice	51
Gambar 4.4	Pemodelan Pembebanan Struktur	55
Gambar 4.5	Detail Penulangan Gelagar	56
Gambar 4.6	Detail Penulangan Penampang	56
Gambar 4.7	Pembebanan Gelagar Model	60
Gambar 4.8	Perbandingan antara Beban Maksimum teoritis dengan Hasil Eksperimen	66
Gambar 4.9	Pembebanan Gelagar Model	67
Gambar 4.10	Bidang Momen Gelagar Model	67
Gambar 4.11	Bidang Pembebanan Conjugate Beam	68
Gambar 4.12	Bidang Pembebanan Conjugate Beam	69
Gambar 4.13	Perbandingan antara Lendutan Maksimum teoritis dengan Hasil Eksperimen	71
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji Beton Normal	71

Gambar 4.15	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Beton Normal.....	72
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji Beton Pumice.....	73
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Beton Pumice.....	73
Gambar 4.18	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji Beton Pumice Cat.....	74
Gambar 4.19	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Beton Pumice Cat.....	75
Gambar 4.20	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1.....	76
Gambar 4.21	Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2.....	76
Gambar 4.22	Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Balok	
	Beton Normal.....	82
Gambar 4.23	Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Balok	
	Beton Pumice.....	82
Gambar 4.24	Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Balok	
	Beton Pumice Cat.....	83
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan Regresi Hubungan Beban dan Lendutan dari Ketiga Jenis Benda Uji.....	83

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran I	Pemeriksaan dan Analisa Campuran.....	89
Lampiran II	Berat Benda Uji Balok dan Silinder.....	96
Lampiran III	Data Pengamatan Beban dan Lendutan.....	97
Lampiran IV	Hasil Regresi Beban dan Lendutan Eksperimen.....	113
Lampiran V	Hasil Regresi Beban dan Kekakuan Eksperimen.....	114
Lampiran VI	Hasil Regresi Beban dan Lendutan Teoritis	115
LampiranVI I	Hasil Regresi Beban dan Kekakuan Teoritis	116
LampiranVII I	Dokumentasi Eksperimen dan Pengujian Benda Uji	117



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan jaman, pembangunan disegala bidang senantiasa digalakkan untuk memenuhi segala kebutuhan manusia, termasuk pembangunan infrastruktur berupa bangunan dengan segala macam pemanfaatannya. Komponen utama pembentuk bangunan banyak digunakan oleh manusia adalah beton. Hal ini disebabkan karena beton memiliki kelebihan antara lain mudah dibentuk sesuai dengan bekistingnya, bahan baku penyusunnya mudah didapat, perawatan yang mudah serta yang paling penting memiliki kuat tekan yang tinggi.

Beton adalah suatu bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan lebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan yang dipilih. Bahan-bahan itu adalah ikatan keras yang ditimbulkan oleh reaksi kimia antara semen dan air, serta agregat dimana semen yang mengeras itu beradhesi dengan baik maupun kurang baik. Agregat boleh berupa kerikil, batu pecah, sisa-sisa bahan mentah tambang, agregat ringan buatan atau bahan sejenis lainnya.

Sifat-sifat fisik dan mekanik agregat mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras mengingat prosentase dari agregat yang cukup besar. Variasi komposisi agregat pada suatu campuran beton menyebabkan sifat-sifat fisik dan mekanik dari beton juga akan bervariasi, terutama kuat tekan dan kuat isi beton.

Walaupun beton menahan tekan namun beton mempunyai berat sendiri yang besar karena prosentase agregat kasar yang dominan pada campuran beton. Sehingga dilakukan penelitian untuk memperoleh beton yang mempunyai berat sendiri yang ringan terhadap kuat menahan tekan serta mempunyai kekakuan yang aman. Salah satunya yaitu dengan menggunakan agregat ringan dan menambahkan bahan campuran pada beton.

Berangkat dari permasalahan tersebut, hadirilah konsep beton ringan yang menggunakan alternative agregat yang lebih ringan dari beton normal. Penggunaan batu apung (*pumice*) untuk menggantikan batu pecah diharapkan bisa digunakan sebagai agregat ringan dalam campuran beton, hal ini dimungkinkan karena hampir 20% strukturnya adalah rongga sehingga lebih ringan dari batu pecah. Beton ringan sendiri memiliki berat isi sekitar 1900 kg/m^3 (SNI 03-2847-2002). Namun penggunaan batu apung (*pumice*) sebagai agregat kasar dalam campuran beton perlu diteliti agar dapat diketahui kekuatan yang dihasilkan. Termasuk penggunaan cat sebagai bahan pelapis permukaan batu apung (*pumice*) untuk mengurangi penyerapan air pada agregat tersebut.

Dengan berkurangnya berat isi beton, diharapkan pula dapat mengurangi dimensi elemen stuktur yang berdampak terhadap penurunan biaya secara keseluruhan bangunan. Bangunan tentu saja tidak bisa hanya murah namun kekuatan pada stuktur harus lebih diutamakan. Perencanaan suatu konstruksi suatu bangunan yang menggunakan beton harus memperhitungkan terhadap ragam keruntuhan yang mungkin terjadi akibat beban-beban yang bekerja pada stuktur suatu bangunan. Keruntuhan yang terjadi pada stuktur beton pada prinsipnya terdiri dari keruntuhan lentur dan keruntuhan geser.

Jika stuktur balok beton dibebani oleh gaya luar akan timbul momen yang menghasilkan tegangan lentur. Tegangan lentur akan mengakibatkan lendutan (*deformasi*). Jika deformasi yang terjadi terlalu besar mempunyai potensi yang membahayakan karena dapat mengakibatkan kegagalan struktural. Kegagalan ini pada dasarnya dapat diketahui karena adanya tanda-tanda retak pada beton tersebut. Kejadian tersebut sangat tidak diijinkan terjadi pada suatu stuktur beton bertulang.

Oleh karena itu dikembangkan cara untuk menghasilkan beton yang lebih kuat menahan tegangan lentur sehingga lendutan (*deformasi*) yang terjadi lebih kecil termasuk pada beton ringan, salah satunya adalah dengan memberikan pelapisan pada permukaan batu apung (*pumice*) dengan cat polimer.

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka akan diteliti pengaruh penambahan cat polimer pada agregat kasar terhadap kekakuan balok sederhana dua tumpuan.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan cat water proof pada beton beragregat kasar batu *pumice*
2. Berapakah beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang beragregat kasar *batu pumice*
3. Berapakah lendutan maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulang beragregat kasar *batu pumice*
4. Berapakah kekakuan yang dihasilkan oleh balok beton bertulang beragregat kasar *batu pumice*
5. Berapakah perbedaan yang antara perhitungan toritis dengan hasil eksperimen

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terfokus pada tujuan yang ingin dicapai, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya dilakukan dilaboratorium
2. Semen yang digunakan adalah semen Gresik Tipe 1 dan tidak dilakukan pengujian khusus
3. Cat yang digunakan adalah cat polimer (cat water proof) yang digunakan di pasaran serta tidak dilakukan pengujian khusus
4. Agregat kasar yang digunakan adalah batu apung (*pumice*) dari Kabupaten Kediri
5. Agregat halus yang digunakan adalah pasir alami yang didapat dipasaran
6. Air yang digunakan tidak dilakukan pengujian khusus dan berasal dari air bersih PDAM Kota Malang yang tersedia dilaboratorium.
7. Tulangan tarik menggunakan baja polos dengan diameter 8 mm
8. Tulangan geser untuk sengkang menggunakan baja polos dengan diameter 6mm
9. Jumlah benda uji untuk tiap variasi campuran masing masing 3 buah

10. Penambahan cat polimer dilakukan terhadap 3 benda uji
11. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk balok dengan ukuran 100mm x 150mm x 1200mm
12. Balok diberi beban terpusat yang simetris dengan penambahan secara bertahap menggunakan pompa hidrolik dan *Load Cell*
13. Pengukuran lendutan menggunakan *LVDT*
14. Pelaksanaan pencampuran beton menggunakan molen

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah penggunaan batu apung (*pumice*) yang dilapisi cat polimer diharapkan dapat menjadi agregat alternatif pada beton ringan dimana dapat mengurangi berat isi dari beton dan mempunyai kuat tekan yang cukup untuk beton struktural.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok beton bertulang beragregat kasar batu pumice. Mengetahui lendutan maksimum yang mampu ditahan oleh balok beton bertulang beragregat kasar batu pumice. Mengetahui pengaruh pumice yang dicat terhadap berat balok. Mengetahui pengaruh pumice yang dicat terhadap kekakuan terhadap balok, mengetahui perbedaan antara perhitungan teoritis dan perbedaan yang terjadi pada eksperimen.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengembangkan inovasi dalam pembuatan beton ringan bertulang. Memanfaatkan batu pumice sebagai agregat kasar beton bertulang. Serta dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

2.1.1 Deskripsi

Beton didapat dari pencampuran bahan bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar, disebut sebagai bahan penyusun kasar campuran, merupakan komponen utama beton. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, diantaranya ialah nilai: banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperature, dan kondisi perawatan pengerasannya. (Istimawan Dipohusodo, 1993).

Beton adalah salah satu bahan yang sering digunakan dalam struktur, yang bahan utamanya adalah semen, air, agregat halus, dan agregat kasar dengan perbandingan tertentu, kadang-kadang ditambahkan bahan campuran lain (bahan additive) (Siti Nurlina, 2008).

Beton adalah 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).

Beton bertulang adalah merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan, yaitu beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tariknya rendah, dengan batangan-batangan baja yang ditanamkan di dalam beton agar dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Baja tulangan mempunyai kekuatan tarik dan kekuatan tekan yang sama tingginya, sehingga sering dipakai baja tulangan selain untuk menahan kekuatan tarik juga menahan kekuatan tekan bersama-sama dengan beton. (Siti Nurlina, 2008).

Beton dapat dikelompokkan berdasarkan kekuatan tekan karakteristik dimana kekuatan beton sangat bergantung pada bahan penyusun beton sendiri. Faktor air semen, gradasi butiran agregat, serta pelaksanaan dilapangan juga sangat menentukan mutu dan kekuatan beton. Beton terdiri dari 3 unsur penyusun utama yaitu semen, agregat dan air. Jika semen bercampur dengan air akan membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai pengikat agregat halus dan kasar. Rongga antara bahan-bahan kasar akan diisi oleh batuan yang lebih halus. Pada saat mengeras akan membentuk suatu bahan yang padat, keras dan tahan lama(Siti Nurlina, 2008).

Bahan-bahan penyusun beton adalah(Siti Nurlina, 2008):

a. Semen Portland

Semen adalah bahan jadi yang mengeras dengan adanya air (semen hidrolis) yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat(Siti Nurlina, 2008).

Semen yang biasa dipakai untuk beton dinamakan semen Portland (PC), karena setelah mengeras mirip batu portland yang ada di Inggris(Siti Nurlina, 2008).

Komponen utama semen Portland (Siti Nurlina, 2008):

- Batu kapur yang mengandung CaO (kapur, lime)
- Lempung yang mengandung komponen SiO_2 (silica), Al_2O_3 (oksida alumina), Fe_2O_3 (oksida besi).

Jenis-jenis Portland semen menurut ASTM (American Society for Testing and Materials) adalah sebagai berikut (Siti Nurlina, 2008):

1. Semen type I : Untuk konstruksi biasa, dimana tidak diperlukan sifat khusus.
2. Semen type II : Untuk konstruksi biasa, dimana diinginkan perlawanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
3. Semen type III : Untuk konstruksi dimana diinginkan cepat mengeras dan kekuatan awal tinggi.
4. Semen type IV : Untuk konstruksi dimana diinginkan panas hidrasi rendah.
5. Semen type V : Untuk konstruksi dimana diinginkan daya tahan yang tinggi terhadap sulfat.

Pada reaksi antara semen dan air, kita bedakan menjadi 2 periode yang berlainan, yaitu :

- Periode pengikatan, yaitu peralihan dari keadaan plastis kedalam keadaan keras.
- Periode pengerasan, yaitu penambahan kekuatan setelah pengikatan selesai.

Yang penting adalah awal pengikatan, yaitu saat mulainya semen menjadi kaku, yang tidak boleh terjadi kurang dari satu jam (Siti Nurlina, 2008).

Semen yang dipakai untuk campuran beton harus dalam kondisi baik, yaitu tidak menggumpal. (Siti Nurlina, 2008).

b. Agregat

Agregat merupakan material berbutir, misalnya pasir, kerikil, batu pecah dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolis (SNI 03-2847-2002).

Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau pasir dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5 mm (SNI 03-2847-2002).

Agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm (SNI 03-2847-2002).

Agregat ringan merupakan agregat yang dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat isi sebesar 1100 kg/m³ atau kurang (SNI 03-2847-2002).

Pada umumnya penggunaan bahan agregat dalam adukan beton mencapai jumlah $\pm 70\% - 75\%$ dari seluruh masa padat beton. Untuk mencapai kuat beton baik perlu diperhatikan kepadatan dan kekerasan massanya, karena umumnya semakin padat dan keras massa agregat akan makin tinggi kekuatan dan *durability*-nya (daya tahan terhadap penurunan mutu akibat pengaruh cuaca (Istimawan Dipohusodo, 1993).

c. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton (Siti Nurlina, 2008).

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka yang menentukan adalah perbandingan antara air dan semen. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai.. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya(Siti Nurlina, 2008).

Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, bahan-bahan organis atau bahan lain yang dapat merusak beton atau tulangnya. (Siti Nurlina, 2008).

2.1.2 Klasifikasi dan Kegunaan

Berdasarkan beratnya (*unit Weight*) beton dibedakan menjadi beberapa yaitu:

- Beton normal, yaitu beton yang mempunyai berat satuan 2200 kg/m^3 sampai 2500 kg/m^3 dan dibuat menggunakan agregat aam yang dipecah atau tanpa dipecah(SNI 03-2847-2002).
- Beton ringan, yaitu beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m^3 (SNI 03-2847-2002).
- Beton berat, yaitu beton dengan agregat batu berat yang mempunyai berat volume beton antara 2800 kg/m^3 - 3800 kg/m^3 (SK_SNI 1991 : 2)

Sedangkan untuk kegunaan dari beton sangat bervariasi antara lain untuk bangunan-bangunan struktural seperti gedung, jembatan bendungan, perkerasan jalan kaku, bantalan kereta api dan lain sebagainya.

2.2 Beton Ringan

2.2.1 Deskripsi

Beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m^3 . Sedangkan agregat ringan adalah agregat yang dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat isi sebesar 1100 kg/m^3 atau kurang. Berdasarkan definisi diatas beton ringan adalah beton ringan struktural dengan semua agregat halus diganti dengan pasir. Definisi ini bisa tidak sesuai dengan penggunaannya oleh beberapa penyedia material atau kontraktor bilamana sebagian besar, meskipun tidak semua butiran halus diganti dengan pasir. Untuk penerapan yang tepat dari ketentuan tata

cara ini, batasan penggantian harus dinyatakan dengan interpolasi bilamana digunakan penggantian pasir sebagian (SNI 03-2847-2002).

Berat jenis beton dengan agregat ringan sangat bervariasi, tergantung pemilihan agregatnya, apakah pasir alam atau agregat pecah yang ringan halus yang dipergunakan. Berat jenis sebesar 1850 kg/m^3 dapat dianggap sebagai batasan atas dari beton ringan yang sebenarnya, meskipun nilai ini kadang-kadang melebihi (Murdock dan Brook, 1999:395).

Beton ringan dibagi menjadi dua, yaitu (SNI 03-2847-2002)

- Beton ringan berpasir adalah beton ringan yang semua agregat halusanya merupakan pasir berat normal
- Beton ringan total adalah beton ringan yang agregat halusanya bukan merupakan pasir alami.

2.2.2 Klasifikasi dan Kegunaan

Beton ringan dengan agregat ringan diklasifikasikan menjadi tiga macam (ACI *Manual of Concrete Practice*, part 1, 1993:213R-87):

- a. Beton struktural adalah beton ringan struktural yang dipakai untuk elemen struktur bangunan dan mempunyai berat isi kering pada umur 28 hari sebesar $1440\text{-}1850 \text{ kg/m}^3$ dan kekuatan tekannya lebih dari 17,24 Mpa. Kekuatan tekan ini bisa mencapai 34,47 Mpa.
- b. Beton dengan kekuatan moderat adalah beton ringan yang menggabungkan sifat non struktural sebagai penyekat panas dengan peningkatan pada kekuatannya serta digunakan untuk beton penambal, beton jenis ini mempunyai berat isi kering pada umur 28 hari sebesar $800\text{-}1440 \text{ kg/m}^3$ dan kekuatan tekan sebesar 6,89-17,24 Mpa.
- c. Beton densitas rendah adalah beton ringan non struktural yang dipakai untuk isolasi atau penyekat panas dengan berat isi kering pada umur 28 hari tidak lebih dari 800 kg/m^3 dan kekuatan tekan antara 0,69-6,89 Mpa.

2.3 Beton Ringan Beragregat Batu Apung (*Pumice*)

2.3.1 Deskripsi

Dalam penelitian ini digunakan batu apung (*Pumice*) sebagai agregat kasar. Sedangkan untuk agregat halus menggunakan pasir alami. Oleh karena menggunakan pasir alami sebagai agregat halus maka disebut beton ringan berpasir (SNI 03-2847-2002).

Batu pumice adalah jenis batuan yang berwarna terang. Mengandung buih yang terbuat dari gelembung berdinding gelas, dan biasanya disebut sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batuan ini terbentuk dari magma asam oleh aksi letusan gunung api yang mengeluarkan materialnya ke udara, kemudian mengalami transportasi secara horizontal dan terakumulasi sebagai batuan piroklastik (Bideci, Alper ., Haydar Gultekin, Ali., Yildirim, Hasan., Oymael, Sabit., Salli Bideci, Ozlem, 2014).

Sifat kimia dan fisika batu apung (*pumice*) antara lain (Pusat Penelitian & Pengembangan Teknologi Mineral Dan Batubara, 2005):

- a. Mengandung oksida SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , TiO_2 , SO_3 , dan Cl
- b. pH 5
- c. bobot ruah $480\text{-}960 \text{ kg/m}^3$
- d. hilang pijar (*loss of ignition*) 6%
- e. hantaran suara (*sound transmission*) rendah
- f. berat jenis $0,8 \text{ gr/cm}^3$
- g. peresapan air (*water absorption*) 16,67%
- h. konduktivitas panas (*thermal conductivity*) rendah
- i. katahanan terhadap api sampai 6 jam
- j. rasio kuat tekan terhadap beban tinggi

Batuan ini jauh lebih getas atau *brittle* bila dibandingkan dengan batuan yang lainnya, porositas (rongga) yang dominan mengakibatkan batuan ini sangat ringan, permukaanya tajam dan cepet kering (Pusat Penelitian & Pengembangan Teknologi Mineral Dan Batubara, 2005).

2.3.2 Karakteristik dan Kegunaan

Batu apung termasuk batuan acid yang tempat terbentuknya diatas permukaan tanah. Terbentuknya batu apung ini adalah akibat pengkristalan dan pendinginan yang sangat cepat. Hal tersebut mengakibatkan permukaan (*intervace*) batu ini halus, selain permukaan yang halus batu ini memiliki gelembung udara yang terperangkap pada waktu proses pendinginan mengakibatkan adanya rongga rongga dalam batuan. Batu apung memiliki warna sebagian besar abu-abu terang hingga putih, memiliki ukuran yang asangat bervariasi antara diameter 0,5 cm hingga sekitar 20 cm, komposisi penyusun kimia pada batu ini didominasi ($\pm 75\%$) *silicon calcium*, dan *magnesium*, memiliki berat jenis 500kg/m³ hingga 800 kg/m³ sehingga dapat mengapung pada permukaan air karena berat jenis air 1000kg/m³. (Pusat Penelitian & Pengembangan Teknologi Mineral Dan Batubara, 2005)

Pemanfaatan batu ini sangatlah terbatas, hanya sebatas untuk keperluan konvensional yaitu digunakan sebagai bahan bangunan dan bahan urugan pada bangunan dipedesaan. Karena memiliki kekerasan yang rendah biasanya batu ini digunakan sebagai bahan baku patung karena kemudahan dalam di bentuk (dipahat). Karena penggunaan yang sangat terbatas dan keberadaan batu apung (*pumice*) yang sangat melimpah sehingga harga untuk batu apung (*pumice*) lebih rendah dibandingkan dengan agregat ringan buatan.

2.4 Beton Ringan dengan Bahan Tambahan Cat sebagai Pelapis Agregat Kasar

2.4.1 Deskripsi

Pada penelitian ini juga digunakan cat sebagai bahan pelapis agregat kasar untuk kekuatan dari agregat kasar dan penutup dari rongga-rongga agregat kasar sehingga dapat mengurangi dari berat beton ringan (ICI PAINT, 2013).

Cat adalah suatu cairan yang dipakai untuk melapisi permukaan suatu bahan dengan tujuan untuk memperindah (*decorative*), memperkuat (*rainforcing*) atau melindungi (*protective*) bahan tersebut. Pelekatan cat kepermukaan dapat dilakukan dengan banyak cara: diusapkan (*wiping*), dilumurkan, dikuas, disemprotkan (*spray*), dicelupkan (*dipping*) (ICI PAINT, 2013).

repository.ub.ac.id

Dalam pembuatan cat ini menggunakan bahan kimia yang berikatan yaitu kimia organik dan kimia polimer. Proses pemanfaatan kimia antar permukaan, kimia koloid, elektrokimia, dan petrokimia (ICI PAINT, 2013).

- Kimia polimer

Rancangan polimer yaitu untuk cat berupa komposit dengan persyaratan tinggi, untuk mencapai tinggi, untuk mencapai berbagai fungsi, sebagai aplikasi utama dari kimia polimer. polimer untuk cat yang berupa resin sintetis untuk menggabungkan beberapa monomer yang dapat mencapai karakteristik. Ada beberapa jenis resin seperti resin linier termoplastik, resin thermosetting yang dapat ditaut silang, resin tak jenuh, dan masih banyak lagi jenis yang lain (ICI PAINT, 2013).

- Kimia antar permukaan

Untuk mencapai mutu mendasar sebagai cat, yang sangat penting adalah berbagai faktor yang terkait dengan kimia antara cat dan substrat, kadar basah (wettability) cat, adhesi dan absorpsi, serta reologi (ICI PAINT, 2013).

- Petro kimia

Kurang lebih 75% dari bahan utama cat seperti resin, aditif dan pelarut bergantung pada produk minyak bumi, sehingga petrokimia dan kimia organik sangat terkait erat dengan cat (ICI PAINT, 2013).

- Kimia koloid

Cat didefinisikan sebagai tebarankoloid dari pigmen dalam sarana (resin dan pelarut). Dengan demikian properti cat sangat tergantung pada ukuran partikel dan permukaan pigmen (ICI PAINT, 2013).

- Teknologi Penebaran Pigment

Tebaran pigment adalah proses untuk membasahi dan melepas partikel utama pigment dan menebarkannya ke dalam sarana secara merata (ICI PAINT, 2013).

2.4.2 Bahan-bahan Penyusun Cat

a. Resin atau binder

Resin merupakan komponen yang sangat penting untuk pembuatan cat. Resin berfungsi untuk merekatkan komponen-komponen yang perlu kita lindungi dan melekatkan seluruh bahan pada permukaan suatu bahan (membentuk film). Resin berasal dari polymer dimana pada temperatur ruang (atau temperatur aplikasi) bentuknya cair, bersifat lengket dan kental. Ada pula jenis-jenis resin yaitu Natural Oil, Alkyd, Nitro

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Cellulose, Polyester, Melamine, Acrylic, Epoxy, Polyurethane, Silicone, Fluorocarbon, Vinyl, Cellulosic, dll (ICI PAINT, 2013).

Ada banyak sekali jenis resin maupun type dan keturunannya, ada pula yang menggabungkan resin yang satu dengan yang lain juga dapat menambah perbendaharaan jenis resin baru. Jadi, daya tahan, kekuatan dan karakteristik dipengaruhi melalui jenis resin yang akan di pakai (ICI PAINT, 2013).

Adapun resin yang dapat mempengaruhi pertimbangan antara lain :

- Pemakaian, jika akan menggunakan dengan kuas maka harus dipakai resin yang alami encer dan lama keringnya. Resin yang cocok adalah alkyd dengan kadar oil yang cukup banyak (alkyd long oil). Resin ini dengan kekentalan yang tinggi dan cepat kering sangat tidak cocok dipakai dengan menggunakan kuas, akan menimbulkan permukaan yang tidak rata setelah cat dalam ke adaan kering. Maupun dengan resin yang encer dan lambat kering sangat tidak cocok untuk pemakaian dengan spray pada permukaan vertical (ICI PAINT, 2013).
- Kekuatan, jika dibutuhkan untuk menggunakan pada ketahanan pada sinar matahari, maka resin yang tepat adalah Acrylic atau Polyurethane, tetapi jika dibutuhkan cat dengan kekuatan tinggi terhadap kimia, gesekan dan benturan (ICI PAINT, 2013).

b. Pigment dan extender (filler)

Pigment dan dyestuff adalah bagian dari colorant. Jika extender bisa larut pada solvent, tetapi jika pigment tidak bisa. Pigment merupakan padatan halus (bubuk) yang ditambahkan ke dalam cat dengan beberapa fungsi berikut (ICI PAINT, 2013):

- Optis yaitu memberi karakter khas pada penampakan atau penampilan pada cat tersebut, seperti: warna, derajat kilap (gloss) maupun daya tutupnya (ICI PAINT, 2013).
- Protective yaitu memberikan nilai tambahan pada karakter kekuatan cat tersebut, seperti: kekuatan terhadap cuaca, korosi, panas atau api, dll (ICI PAINT, 2013).
- Reinforcing yaitu meningkatkan sifat, seperti meningkatkan kekerasan, kelenturan, daya tahan terhadap abrasi, dll (ICI PAINT, 2013).

Kekuatan, daya tahan dan sifat-sifat lain dapat diinginkan dari cat yang dapat dibentuk atau dapat diciptakan dengan menambah pigmentnya dan konsentrasi yang sesuai. Untuk bisa kita mempelajari sifat-sifat pigment itu kita harus sangat berhati-hati karena kalau ada kesalahandikitpun akan membuat sifat-sifatnya akan berbeda dengan yang sebenarnya. Sifat-sifat pigment yaitu (ICI PAINT, 2013):

- Warna
- Bentuk dan ukuran partikel
- Berat jenis, density atau specific gravity
- Oil absorption
- Hiding power (refractive index)
- Daya tahan terhadap panas dan asam basa
- PH
- Muatan Listrik
- Bleeding

c. Solvent

Ketika membicarakan solvent pasti tidak jauh pasti ada yang namanya thinner, karena keduanya sangat berkaitan satu sama lain. Thinner merupakan campuran beberapa solvent yang dipakai untuk melarutkan resin di dalam cat atau mengencerkan cat selama penggunaan masih berjalan (ICI PAINT, 2013).

Penggolongan solvent berdasarkan struktur kimianya yaitu :

- Hidrokarbon

Sesuai namanya hidrokarbon terdiri dari solvent-solvent dimana unsurnya hidrogen (H) dan carbon (C) itu diya struktur dasarnya. Pada golongan ini di bagi lagi menjadi dua yaitu : aliphatis, aromatis dan halogenated hidrokarbon. Pada golongan aliphatis dibagi lagi menjadi aliphatis jenuh (saturated) dan tidak jenuh (unsaturated). Dalam solvent-solvent ini berasal dari distilasi minyak bumi merupakan campuran dari beberapa golongan (bukan senyawa murni), sehingga titik didihnya range minimum sampai maksimum (ICI PAINT, 2013).

- Oksigenated solvent

Oksigenated solvent atau solvent dengan atom oksigen adalah solvent-solvent yang struktur kimianya mengandung atom oksigen. Termasuk dalam

kategori ini adalah golongan ester, ether, katone dan alkohol (ICI PAINT, 2013).

Faktor-faktor yang sangat penting dalam solvent dengan menjalankan fungsinya didalam cat adalah kemampuannya dalam melautkan resin, kemudian dalam larutan yang stabil dan homogen. Beberapa parameter dalam hubungan larutan solvent sebagai berikut (ICI PAINT, 2013) :

- Solubility Parameter solvent

Solvent hidrokarbon mempunyai hubungan yang proporsional dengan harga Kauri Butanol (KB), sehingga semakin besar harga KB-nya, semakin besar solubility parameternya atau dengan kata lain semakin besar pula daya larut solvent tersebut. Cara untuk menentukan daya larut solvent-solvent hidrokarbon adalah dengan cara Titik Anilin (TA), ketika semakin rendah TA, maka semakin besar daya larut solvent tersebut (ICI PAINT, 2013).

- Hidrogen bonding index

Hidrogen bonding index merupakan ukuran kekuatan ikatan antara atom-atom hidrogen (relatif positif) dan atom-atom negatif seperti oksigen dalam solvent tersebut. Solvent-solvent hidrokarbon mempunyai harga rendah dan jenis alkohol mempunyai harga yang tinggi, sedangkan lainnya berkisar di diantara dua jenis solvent tersebut (ICI PAINT, 2013).

- Dipole moment

Dipole moment adalah suatu solvent yang tergantung dengan nilai konstanta dielektriknya. Pada umumnya semakin polar suatu bahan yang dilarutkan akan semakin polar juga bahan pelarutnya (ICI PAINT, 2013).

d. Additive

Disamping ke tiga komponen sudah dibahas sebelumnya yaitu resin, pigment, dan solvent. Dalam komponen yang ke empat ini hanya ditambahkan dalam jumlah cat yang sedikit, tetapi memberi kontribusi yang sangat besar terhadap cat, sehingga cat bisa diproses, disimpan dan dipakai. Penambahan additive dalam cat tidak hanya begitu saja melainkan suatu proses panjang dari beberapa percobaan atau riset pada cat tersebut. Selama proses pembuatan, penyimpanan dan pemakaian dinilai kualitasnya secara menyeluruh, kemudian kelemahan dan masalah yang timbul dicoba untuk diatasi dengan variasi jenis dan takaran beberapa additive, hingga akhirnya muncul nama jenis dan takaran additive tertentu harus yang pas untuk campuran catnya (ICI PAINT, 2013).

2.4.3 Jenis-jenis Cat

Banyak sekali teori yang mengatakan bahwa jenis-jenis cat dapat dikelompokkan yaitu berdasarkan bahan baku utama, mekanisme pengeringan, letak dan dimana cat itu dipakai, kondisi cat, jenis dan keberadaan solvent, fungsi, metode pengecatan, jenis substratnya dan lain-lain (ICI PAINT, 2013):

Tabel 2.1 Pengelompokan jenis cat

Dasar Pengelompokan	Jenis dan Keteranganannya
Bahan Baku	Berdasarkan jenis resin yang dipakai: cat epoxy, polyurethane, acrylic, melamine, alkyd, nitro cellulose, polyester, vinyl, chlorinated rubber, dll
	Berdasarkan ada tidaknya pigment dalam cat tersebut, yaitu varnish atau lacquer (transparent, tidak mengandung pigment); duco atau enamel (berwarna dan menutup permukaan bahan, mengandung pigment).
Fungsi	Cat dempul (filler), anti karat (anti corrosion), anti jamur (anti fungus), tahan api, tahan panas (heat resistance), anti bocor (water proofing), decorative, protective, heavy duty, industrial dll.
Metode Pengecatan	Cat kuas, spray, celup, wiping, elektrostatis, roll, dll.
Letak Pemakaian	Cat Primer (sebagai dasar), undercoat, intermediate (ditengah-tengah), top coat/finishing (pada permukaan paling atas dari beberapa lapisan cat), interior (di dalam tidak terkena secara langsung sinar matahari) dan exterior (di luar), dll.
Jenis Substrat	Cat besi (metal protective), lantai (flooring systems), kayu (wood finishing), beton (concrete paint), kapal (marine paint), mobil (automotive paint, plastik, kulit, tembok, dll.
Kondisi dan Bentuk Campuran	Cat pasta, ready-mixed, emulsi, aerosol, dll.
Ada Tidaknya Solvent	Water base, cat solvent base, tanpa solvent, powder, dll.
Mekanisme Pengeringan	Cat kering udara (varnish dan syntetic enamel), cat

	stoving (panggang), cat UV curing, cat penguapan solvent (lacquer dan duco), dll.
--	---

2.4.4 Kualitas Cat

Untuk bisa mendapatkan kualitas yang bagus para industri terus membuat produknya harus bertahan atau disenangi oleh pelanggan. Adapun perusahaan yang menyimpan bahan mentahnya, maupun bahan jadi. Di zaman sekarang ini banyak sekali bahan pembuatan cat yang dari bahannya, yang sudah jadi maupun yang belum jadi tetapi harus ditambah dengan sedikit larutan agar gampang diaduk dan di tempelkan pada tembok. Ada juga pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan kualitas yang bermutu berdasarkan resin, pigment, extender, solvent, dan additive yang disimpan di dalam gudang sesuai dengan spesifikasinya, untuk bisa membuat para pembuat gampang yang akan mau di ambil yang mana (ICI PAINT, 2013).

Proses pembuatan cat menghasilkan cat dan film dengan kualitas yang diharapkan (ICI PAINT, 2013):

Tabel 2.2 Kualitas cat berdasarkan bahan penyusun

Kategori Bahan	Jenis Bahan	Pengujian	Keterangan
Bahan Baku	RESIN	Penampilan	Membandingkan penampilan, seperti : permukaan, bahan asing, endapan, kejernihan, gumpalan dan warna sample resin dengan standard yang ada. Untuk warna resin dinyatakan dengan bilangan Gardner, yaitu menyamakan warna sample dengan skala warna Gardner. Warna jernih (1) hingga warna merah pekat (18)
		Kekentalan (detik atau mPas)	Mengukur waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan seluruh cairan keluar dari sebuah flow cup standard. Nilai kekentalan dibuat atas dasar waktu yang dibutuhkan dari mulai mengalir sampai putusnya aliran tersebut. Cara ini efektif jika cairannya adalah jenis newtonian dan mempunyai range kekentalan dibawah 200 detik. Untuk cairan yang sangat kental maka digunakan

			<p>cara Gardner, yaitu membandingkan kecepatan naiknya gelembung udara yang berisi cairan sample dengan cairan standard dalam tabung dengan ukuran tertentu dari yang paling encer (A) hingga yang paling kental (Z6).</p> <p>Atau bisa dilakukan dengan alat Brokfield dengan range pengukuran kekentalan antara 10 hingga 8.106 mPas</p>
		Berat Jenis (gram/cm ³)	Membandingkan berat sample terhadap volumenya dengan menggunakan gallon cup pada temperatur tertentu.
		Kadar Padatan (%)	membandingkan berat sample sesudah dikeringkan (110oC selama 1 jam) dengan sebelum dikeringkan. Biasa disebut dengan NV(non volatile matter) dengan basis v/v atau w/w> basis v/v (volume/volume) lebih sering dipakai.
		Bilangan Asam	mengetahui senyawa asam yang terkandung dalam resin
			Membandingkan penampilan, seperti: bahan asing, gumpalan dan warna sample dengan standard yang ada.
	PIGMENT DAN EXTENDER	Penampilan	<p>Untuk membandingkan warna pigment, sample harus didispersikan atau digrinding dalam resin tertentu kemudian ditarik pada kertas runkut dengan ketebalan 60 micron dan dibandingkan dengan warna standard</p> <p>Untuk dyestuff perlu dilarutkan pada pelarut tertentu hingga membentuk larutan dengan konsentrasi 3 (DZ) atau 10% (PP), kemudian dicampur dengan resin tertentu dan dilanjutkan seperti tersebut di atas.</p>

		Oil Absorption	Mengetahui seberapa besar penyerapan pigment atau extender terhadap oil atau minyak nabati dalam satuan ml per 100 g sample.
	SOLVENT	Penampilan	Membandingkan penampilan, seperti : bahan asing, endapan, kejernihan, gumpalan dan warna sample dengan standard yang ada.
		Resistivity	Mengukur resistivity (tahanan = Mega ohm) suatu solvent dengan dua dip elektroda pada jarak tertentu (1 cm). Besaran ini menggambarkan bisa tidaknya solvent tersebut dipakai dengan spray jenis elektrostatik
		Jenis dan Komposisi komponent	Mengukur derajat kemurnian solvent atau menganalisa jenis dan fraksi komponen-komponen dalam campuran solvent
	ADDITIVE	Biasanya diuji secara langsung dengan menambahkan pada resep bahan setengah jadi (pasta) atau cat, diproses dan dipakai dan kemudian dibandingkan dengan additive standard pada semua aspek pengujian.	
Bahan Setengah Jadi	PASTA	Kestabilan	Mengamati pengulitan, pengerasan (gelling) dan kehalusan secara rutin selama pasta disimpan
		Kehalusan (mm)	Dengan mempergunakan grindometer kehalusan pigment atau extender dalam cat dapat ditentukan. Pasta atau cat ditarik pada parit dengan kedalaman berbeda dari paling dalam hingga paling dangkal, sehingga partikel yang ukuran besar akan terjebak pada posisi sesuai dengan ukuran partikelnya.
		Kadar Padatan (%)	Dengan mempergunakan grindometer kehalusan pigment atau extender dalam cat dapat ditentukan. Pasta atau cat ditarik pada parit dengan kedalaman berbeda dari paling dalam hingga paling dangkal, sehingga partikel yang ukuran besar akan terjebak pada posisi sesuai dengan ukuran partikelnya

		Warna	Setelah dijadikan cat, dengan mencampur pasta dengan komponen lain, kemudian ditarik pada kertas runkut dengan ketebalan 60 micron dan dibandingkan dengan warna standard
CAT	TANPA PIGMENT	Penampilan Cat	Membandingkan penampilan sampel cat, seperti : bahan asing, endapan, kejernihan dan gumpalan dengan standard yang ada.
		Kekentalan	Membandingkan penampilan sampel cat, seperti : bahan asing, endapan, kejernihan dan gumpalan dengan standard yang ada.
		Berat Jenis	Membandingkan penampilan sampel cat, seperti : bahan asing, endapan, kejernihan dan gumpalan dengan standard yang ada.
		Waktu Kering	Dengan mempergunakan sentuhan, tempel atau tekanan jari pada cat yang masih basah. Waktu kering meliputi : kering sentuh, tekan dan kering sempurna.
		Kadar Padatan	Dengan mempergunakan sentuhan, tempel atau tekanan jari pada cat yang masih basah. Waktu kering meliputi : kering sentuh, tekan dan kering sempurna.
		Resistivity	Dengan mempergunakan sentuhan, tempel atau tekanan jari pada cat yang masih basah. Waktu kering meliputi : kering sentuh, tekan dan kering sempurna.
		Penampilan Film	Pengujian film dilakukan setelah cat dikenakan pada substrat tertentu dan kemudian mengering. Penampilan film meliputi ada tidaknya: kulit jeruk, gelembung udara, bercak-bercak, tidak meratanya kilap, lekukan-lekukan kawah, kerut dan lain-lain.
		Daya Kilap Film (gloss)	Mengukur cahaya yang dipantulkan oleh film. Alat yang dipakai adalah Glossmeter atau reflektometer

		<p>Daya Lekat Film (adhesi)</p>	<p>Film cat kering digores dengan sudut cutter (30-45o) dan pada kecepatan 0.5 detik per satuan potongan sehingga didapat 25 kotak dengan jarak pemotongan sesuai ketebalan catnya. Kemudian dilekatkan selotip dan ditarik dengan kuat. Dari banyaknya kotak lapisan cat yang terangkat bisa kita nilai daya lekat film tersebut (GT 0, tidak ada yang terkelupas hingga GT 4, terkelupas > 65%)</p>
		<p>Sifat Mekanis Film</p>	<p>Sifat mekanis film meliputi: daya tahan terhadap impact, kekerasan dan lain-lain. Untuk daya tahan impact diuji dengan impact tester, kekerasan dengan hardness pendulum tester, hardness Dur-O-Test atau dengan pencil hardness.</p>
	<p>DENGAN PIGMENT</p>	<p>Semua pengujian yang dilakukan pada cat tanpa pigment juga dilakukan untuk cat dengan pigment dan ditambah beberapa pengujian berikut</p>	
		<p>Penampilan Warna</p>	<p>Selama pencocokan warna (colour matching), sample cat dibandingkan dengan warna standarnya, bisa dilakukan dengan methoda tersebut di atas (pasta) atau dengan mempergunakan alat pencari warna (hunter lab colour matching), hingga diperoleh hasil selisih antara warna sample dengan standard sekecil mungkin (sesuai spesifikasi).</p>
		<p>Kehalusan</p>	<p>Selama pencocokan warna (colour matching), sample cat dibandingkan dengan warna standarnya, bisa dilakukan dengan methoda tersebut di atas (pasta) atau dengan mempergunakan alat pencari warna (hunter lab colour matching), hingga diperoleh hasil selisih antara warna sample dengan standard sekecil mungkin (sesuai spesifikasi).</p>
		<p>Daya Tutup</p>	<p>Merupakan ketebalan minimal film dari cat dimana pola hitam-putih dari kertas kotak-kotak tidak dapat kelihatan. Pengujiannya adalah dengan menarik cat</p>

			basah dengan aplikator dimulai ketebalan paling besar hingga paling kecil, kemudian setelah kering dinilai daya tutupnya.
--	--	--	---

2.5 Tulangan Baja

Beton kuat terhadap tekan, tetapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. Adanya tulangan ini seringkali digunakan untuk memperkuat daerah tekan pada penampang balok. Tulangan baja tersebut perlu untuk beban-beban berat dalam hal untuk mengurangi lendutan jangka panjang (Edward G. Nawy, 1998).

2.5.1 Jenis dan Sifat Baja Tulangan

Baja tulangan untuk beton terdiri dari batang, kawat, dan jarring kawat baja las yang seluruhnya dirakit sesuai standar ASTM. Sifat-sifat terpenting baja tulangan adalah sebagai berikut (Edward G. Nawy, 1998):

- Modulus Young, E_s
- Kekuatan leleh, f_y
- Kekuatan batas, f_u
- Mutu baja yang ditentukan
- Ukuran atau diameter batang atau kawat

Untuk menambah lekatan antara beton bertulang dengan baja, dibuat bentuk ulir pada permukaan, sesuai spesifikasi ASTM. Pembentukan ulir tersebut harus memenuhi spesifikasi ASTM A16-76 agar dapat diterima sebagai batang-batang ulir. Untuk memperoleh batang ulir, maka batang dililiti kawat sesuai dengan bentuk yang diinginkan, kemudian dipres. Kecuali untuk kawat yang dipakai sebagai tulangan spiral pada kolom, hanya batang ulir, kawat ulir, atau kawat bentukan dari kawat ulir maupun polos yang digunakan dalam beton bertulang (Edward G. Nawy, 1998).



Gambar 2.1 Bentuk tulangan ulir

2.5.1.1 Tulangan polos

Baja tulangan ini tersedia dalam beberapa diameter, tetapi karena ketentuan SNI hanya memperkenankan pemakaiannya untuk sengkang dan tulangan spiral, maka pemakaiannya terbatas. Saat ini, tulangan polos yang mudah dijumpai adalah hingga berdiameter 16 mm, dengan panjang standar 12 meter (Siti Nurlina, 2008).

Tabel 2.3 Dimensi nominal tulangan polos

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Keliling (cm)	Luas penampang (cm ²)
6	0,222	1,88	0,283
8	0,395	2,51	0,503
10	0,617	3,14	0,785
12	0,888	3,77	1,13
16	1,58	5,02	2,01

2.5.1.2 Tulangan Ulir

Berdasarkan SNI, digunakan symbol D untuk menyatakan diameter tulangan ulir. Sebagai contoh, D-10 dan D-19 menunjukkan tulangan ulir berdiameter 10 mm dan 19 mm. Tulangan ini tersedia mulai dari diameter 10 hingga 32 mm, meskipun ada juga yang lebih besar tetapi umumnya diperoleh melalui pesanan khusus. Besarnya diameter ini dapat dihitung melalui rumus $db = 4,029.B$, dengan B adalah berat per satuan panjang tulangan (Siti Nurlina, 2008).



Tabel 2.4. Dimensi efektif tulangan ulir

Diameter (mm)	Berat (kg/m)	Keliling (cm)	Luas penampang (cm ²)
10	0,617	3,14	0,785
13	1,04	4,08	1,33
16	1,58	5,02	2,01
19	2,23	5,96	2,84
22	2,98	6,91	3,80
25	3,85	7,85	4,91
32	6,31	10,05	8,04
36	7,99	11,30	10,20
40	9,87	12,56	12,60

Berdasarkan SNI, baja tulangan ulir lebih diutamakan pemakaiannya untuk batang tulangan struktur beton. Hal ini dimaksudkan agar struktur beton bertulang tersebut memiliki keandalan terhadap efek gempa, karena akan terdapat ikatan yang lebih baik antara beton dan tulangannya (Siti Nurlina, 2008).

2.5.1.3 Sifat Mekanik Baja Tulangan

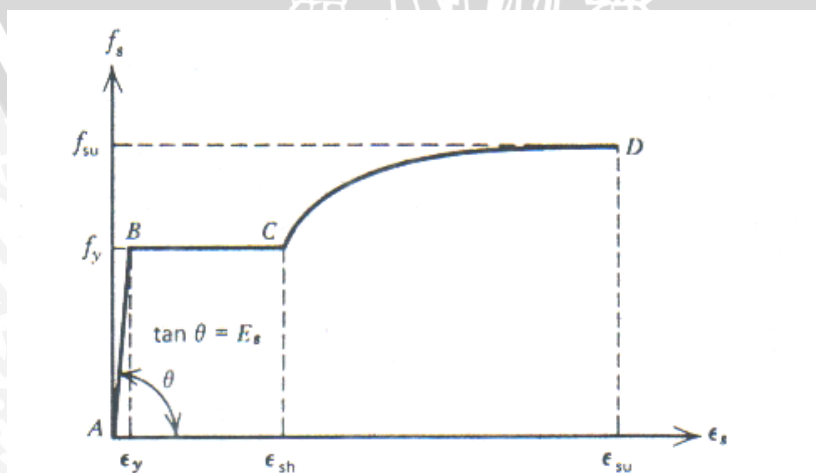
SNI menggunakan simbol BJTP (baja tulangan polos) dan BJTD (baja tulangan ulir). Baja tulangan polos yang tersedia mulai dari mutu BJTP-24 hingga BJTP-30, dan baja tulangan ulir umumnya dari BJTD-30 hingga BJTD-40. Angka yang mengikuti symbol ini menyatakan tegangan leleh karakteristik materialnya. Sebagai contoh BJTP-24 menyatakan baja tulangan polos dengan tegangan leleh material 2.400 kg/cm². Tabel berikut menunjukkan sifat mekanik baja tulangan (Siti Nurlina, 2008):

Tabel 2.5. Sifat mekanik baja tulangan

Simbol mutu	Tegangan leleh minimum (kN/cm ²)	Kekuatan tarik minimum (kN/cm ²)	Perpanjangan minimum (%)
BJTP-24	24	39	18
BJTP-30	30	49	14
BJTD-30	30	49	14
BJTD-35	35	50	18
BJTD-40	40	57	16

2.5.2 Hubungan Tegangan dan Regangan Baja

Daerah linier A-B dalam kurva tersebut merupakan daerah elastis, kemudian diikuti oleh daerah leleh yang diperlihatkan oleh garis horizontal B-C, yang nilai regangannya terus bertambah pada kondisi tegangan yang tetap. Tegangan dimana terbentuk daerah leleh, titik B, disebut tegangan leleh (yield stress). Dengan peningkatan regangan, ternyata nilai tegangannya sedikit meningkat, gejala ini dikenal sebagai strain-hardening yang ditunjukkan pada daerah C-D. Kurva akan mencapai nilai maksimum bila tegangan tarik ultimatenya (tensile strength) tercapai, ditunjukkan oleh titik D. Kemudian kurva tersebut akan turun lagi hingga material putus. Besarnya modulus elastisitas baja (E_s) adalah 200.000 MPa (Siti Nurlina, 2008).



Gambar 2.2 Hubungan tegangan-regangan baja

2.5.3 Jarak Tulangan dan Selimut Beton untuk Beton Bertulang

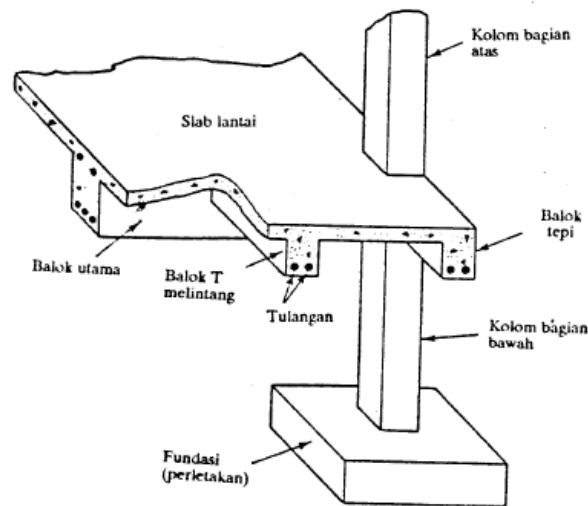
Kandungan agregat untuk beton struktural sering kali berisi agregat kasar berukuran 0,75 in. (diameter 19 mm), maka diperlukan adanya jarak tulangan minimal dan selimut beton minimal yang diperbolehkan. Untuk melindungi penulangan dari karat dan kehilangan kekuatannya dalam kasus kebakaran, maka beberapa peraturan mensyaratkan tebal selimut beton minimal yang diperlukan. Beberapa persyaratan utama pada peraturan ACI 318 adalah:

- a. Jarak bersih antar tulangan parallel dalam satu acuan tidak boleh kurang dari d_b atau 1 in. (25,4 mm)
- b. Jarak bersih antar tulangan memanjang tidak boleh kurang dari $1,5 d_b$ atau 1,5 in. (38,1 mm)
- c. Tebal selimut beton minimum untuk balok dan kolom yang dicor ditempat tidak boleh kurang dari 1,5 in. (38,1 mm) bila tidak berhubungan langsung dengan udara luar maupun tanah, persyaratan ini berlaku juga untuk sengkang, sengkang miring dan spiral.

Dalam hal *slab*, plat, cangkang, dan dan plat pipa dimana beton tidak berhubungan langsung dengan lingkungan yang berat dan dimana ukuran penulangan tarik tidak melebihi diameter No.11, maka tebal bersih selimut beton tidak boleh kurang dari 0,75 in. (19 mm) (Edward G. Nawy, 1998).

2.6 Balok

Balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban *tributary* dari *slab* lantai ke kolom penyanggga yang vertical. Pada umumnya elemen balok dicor secara monolit dengan *slab*, dan secara struktural ditulangi dibagian bawah, atau dibagian atas dan bawah. Karena balok dicor secara monolit dengan *slab*, maka elemen tersebut membentuk balok T untuk tumpuan dalam dan balok L untuk tumpuan tepi (Edward G. Nawy, 1998).



Gambar 2.3 Sistem rangka beton bertulang struktural tipikal

2.7 Kekakuan

Kekakuan untuk struktur merupakan suatu yang penting. Pembatasan kekakuan berguna untuk menjaga konstruksi agar tidak melendut lebih dari lendutan yang disyaratkan. Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit *displacement*. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan lendutan. Makin kaku suatu struktur makin besar nilai kekakuannya. (Muhammad Ujianto, 2006)

Menurut Kenneth-Belanger (1981), kekakuan balok beton merupakan fungsi dari modulus elastis (E) dan momen inersia (I). Inersia saat balok belum retak dipergunakan I_g , setelah mengalami retak dipergunakan I_{cr} , sedang nilai momen inersia efektif aktual disebut I_e yang nilainya diantara I_g dan I_{cr} . Pengertian tersebut dapat dilihat dari perilaku beban–lendutan statis. (Muhammad Ujianto, 2006)

Sehingga didapat rumus:

$$K = \frac{P}{\delta}$$

Dimana:

K = Kekakuan

P = Beban

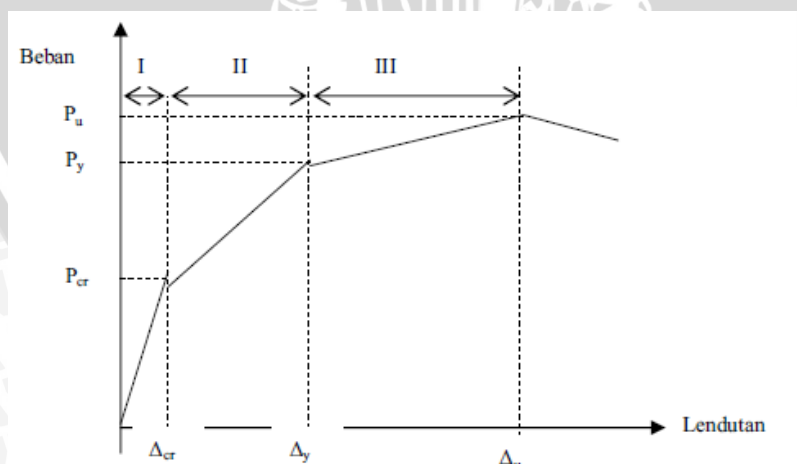
δ = Lendutan

2.8 Lendutan

Struktur beton bertulang didesain untuk memenuhi kriteria keamanan (*safety*) dan kemampuan layan (*serviceability*). Untuk memenuhi kriteria kemampuan layan maka besarnya retak dan lendutan struktur pada kondisi beban kerja harus dapat diestimasi dan memenuhi kriteria tertentu. Sedangkan untuk memenuhi kriteria keamanan maka struktur harus didesain mempunyai suatu angka keamanan terhadap nilai absolut beban yang menyebabkan keruntuhan, maka perilaku struktur saat runtuh juga perlu diketahui, apakah bersifat daktil (mengalami deformasi besar sebelum runtuh), atau tiba-tiba (*non-daktil*).

Balok adalah batang yang dominan memikul beban-beban yang bekerja arah transversal. Dengan kondisi ini balok akan mengalami deformasi yang berupa lengkungan atau lenturan yang menimbulkan tegangan dan regangan. Suatu balok dengan sumbu longitudinal lurus dibebani oleh gaya-gaya lateral, maka sumbu tersebut akan terdefleksi menjadi suatu lengkungan, yang disebut kurva defleksi balok. Sumbu sebuah balok akan berdefleksi dari kedudukannya semula apabila berada dibawah pengaruh gaya terpakai. Defleksi (lendutan) diukur dari permukaan netral awal ke permukaan netral setelah balok mengalami deformasi. Karena balok biasanya horizontal, maka defleksi merupakan penyimpangan vertikal.

Perilaku hubungan beban dan defleksi pada balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear. Bentuk kurva trilinear beban-lendutan pada balok beton bertulang ditunjukkan pada **Gambar 2.4**



Gambar 2.5 Hubungan beban-lendutan struktur beton (Nawy, 1990)

Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak.

Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang strukturalnya mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya.

Daerah III : Taraf pasca-serviceability, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.

Defleksi yang diijinkan pada sistem struktur sangat bergantung defleksi yang masih bisa ditahan oleh komponen struktur yang berinteraksi tanpa kehilangan esensi dan tanpa kerusakan pada elemen terdefleksi.

Selanjutnya disajikan kondisi pembebanan suatu balok yang nantinya persamaan-persamaan batas lendutan, $\max \delta$ yang diberikan dapat berguna dalam analisis dan perancangan khususnya dalam penentuan batas lendutan (lendutan ijin). Defleksi batang-batang struktural merupakan fungsi dari panjang bentang perletakan, atau kondisi ujungnya, jenis pembebanan dan kekakuan lentur EI dari elemen. Apabila balok bertumpuan sederhana seperti terlihat pada gambar mengalami dua pembebanan, balok itu akan terlentur seperti ditunjukkan sebagai bentuk terdefleksi. Persamaan yang digunakan untuk mencari besarnya nilai lendutan sebagai berikut:

$$y = \frac{Pbx}{6EI} (l^2 - x^2 - b^2) \text{ untuk } 0 < x < a$$

$$y = \frac{Pbx}{6EI} \left\{ \left(\frac{l}{b} (x-a)^3 + (l^2 - b^2) x - x^3 \right) \right\} \text{ untuk } a < x < l$$

dengan:

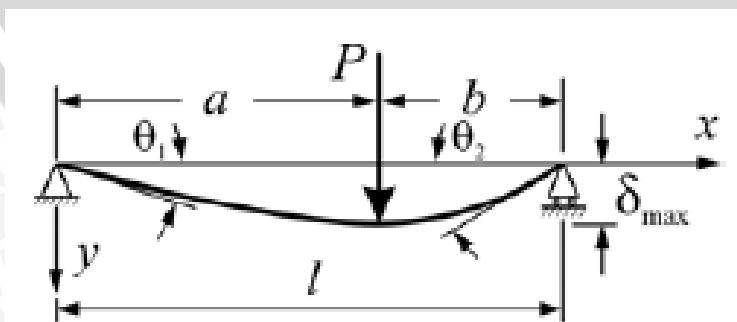
P = Beban yang diterima balok saat pengujian (kN)

L = Panjang bentang (mm)

a = jarak tumpuan-beban (mm)

b = jarak sisa tumpuan-beban (mm)

EI = konstanta kekakuan lentur



Gambar 2.6 Defleksi pada beban Eksentris Terpusat

Selain beban luar, lendutan juga dipengaruhi oleh beban sendiri dari balok. Dalam perhitungan beban sendiri digambarkan sebagai beban merata pada keseluruhan bentang balok. perhitungan lendutan akibat berat sendiri menurut kondisi perletakan benda uji untuk penelitian dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\delta = \frac{x}{24EI} (l^3 - 2lx^2 + x^3)$$

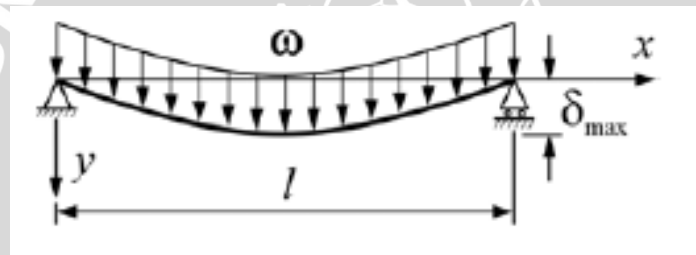
dengan:

ω = Beban merata yang diterima balok saat pengujian

L = Panjang bentang (mm)

x = jarak tumpuan-beban (mm)

EI = konstanta kekakuan lentur



Gambar 2.7 Defleksi pada beban Eksentris Merata

Lendutan terjadi pada komponen struktur terjadi apabila segera setelah beban bekerja seketika itu pula lendutan terjadi. lendutan yang terjadi sseketika dihitung dengan metode atau formula standar untuk lendutan elastis, dengan memperhitungkan pengaruh retak dan tulangan terhadap kekakuan struktur. Pada SNI 03-2847-2002 ditetapkan bahwa lendutan seketika dihitung dengan nilai momen inersia efektif I_e dengan persamaan berikut:

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

dengan:

I_e =momen inersia efektif

I_{cr} =momen inersia penampang retak transformasi

I_g = momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang, seluruh batang tulangan diabaikan

M_a = momen maksimum pada saat lendutan maksimum dihitung

M_{cr} = momen pada saat timbul retak pertama kali

Nilai M_{cr} dihitung dengan persamaan :

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

dengan:

f_r = modulus retak beton, untuk beton normal $f_r = 0,7 \sqrt{f'_c}$

y_t = jarak garis netral penampang utuh ke serat tepi tarik

Nilai I_{cr} dihitung dengan persamaan:

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

dengan:

b = lebar penampang balok

y = garis netral daerah tekan terhadap serat tarik

n = jumlah tulangan

A_s = luas tulangan tarik

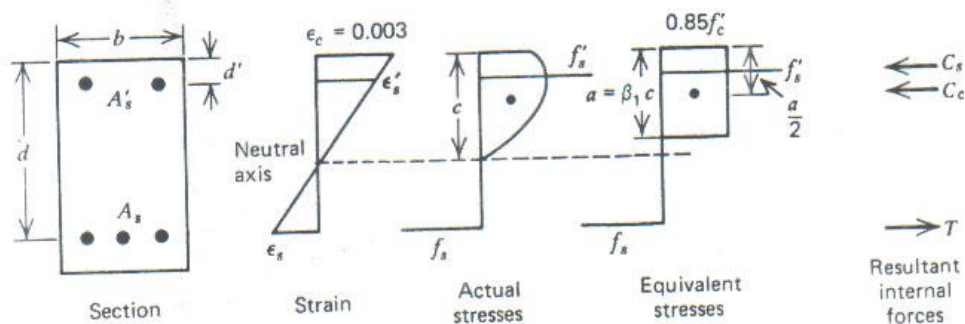
d = tinggi efektif balok

Nilai y dihitung dengan persamaan:

$$\frac{n A_s}{b} \left[\sqrt{\left(1 + \frac{2bd}{n A_s}\right)} - 1 \right]$$

Dari persamaan momen inersia efektif I_e tersebut dapat disimpulkan bahwa apabila nilai momen maksimum kurang dari momen retak M_{cr} , maka momen inersia penampang utuh menjadi faktor yang dominan. Sedangkan apabila momen maksimum lebih besar dari momen retak, momen inersia I_{cr} lebih menentukan. Nilai momen inersia efektif ini I_e terletak diantara I_{cr} dan I_g ($I_{cr} \leq I_e \leq I_g$).

2.9 Menghitung Nilai P ultimate Teoritis



Gambar 2.8 Penampang beton bertulangan rangkap

Untuk mencari nilai P ultimate teoritis maka langkah awal yang harus digunakan adalah dengan mencari nilai momen ultimate dari penampang balok yang menggunakan rumus keseimbangan gaya yaitu:

Keseimbangan Gaya :

$$\text{GAYA TARIK} = \text{GAYA TEKAN}$$

Gaya tarik (*tension* = T) diberikan oleh baja tulangan tarik, sedangkan gaya tekan (*compression* = C) diberikan oleh beton di daerah tekan (*compression concrete* = Cc) dan baja tulangan tekan (*compression steel* = Cs). Teori kekuatan batas (*ultimate*) memberikan syarat, yaitu baja tulangan tarik pada kondisi mencapai tegangan leleh ($f_s = f_y$) dan beton tekan pada kondisi mencapai regangan maksimum sebesar $\epsilon'_c = 0,003$. Sedangkan baja tulangan tekan boleh sudah leleh ataupun belum leleh (Siti Nurlina, 2008).

$$\text{Gaya tarik tulangan (T)} = A_s \cdot f_s$$

$$\text{Gaya tekan beton (Cc)} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$$

$$\text{Gaya tekan tulangan (Cs)} = A_s' \cdot f'_s$$

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

baja tekan sudah leleh, $f'_s = f_y$

$$C = T$$

$$C_c + C_s = T$$

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

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$\text{Letak garis netral (c)} = \frac{a}{\beta_1}$$

Kontrol :

- regangan baja tarik (ϵ_s) = $\epsilon_c \cdot \frac{d - c}{c}$
- tegangan baja tarik (f_s) = $\epsilon_s \cdot E_s$
- regangan baja tekan (ϵ'_s) = $\epsilon_c \cdot \frac{c - d'}{c}$
- tegangan baja tekan (f'_s) = $\epsilon'_s \cdot E_s$

Bila $f_s \geq f_y$ (tulangan tarik sudah leleh) dan $f'_s \geq f_y$ (tulangan tekan sudah leleh), maka sesuai asumsi awal. Langkah selanjutnya adalah menghitung momen nominal penampang (Siti Nurlina, 2008).

Tetapi bila $f_s \geq f_y$ (tulangan tarik sudah leleh) dan $f'_s < f_y$ (tulangan tekan belum leleh), maka tidak sesuai asumsi awal, perlu dihitung kembali keseimbangan gaya tarik = gaya tekan dengan tulangan tekan pada kondisi belum leleh (Siti Nurlina, 2008).

Asumsi : baja tarik sudah leleh, $f_s = f_y$

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

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \cdot \frac{c - d'}{c}$$

$$C = T$$

$$C_c + C_s = T$$

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

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

Letak garis netral (c) = a / β_1

Kontrol :

- regangan baja tarik (ϵ_s) = $\epsilon_c \cdot \frac{d - c}{c}$
- tegangan baja tarik (f_s) = $\epsilon_s \cdot E_s$
- regangan baja tekan (ϵ_s') = $\epsilon_c \cdot \frac{c - d'}{c}$
- tegangan baja tekan (f'_s) = $\epsilon_s' \cdot E_s$

Momen nominal penampang (M_n) (Siti Nurlina, 2008). :

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d') \\ &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2) + A_s' \cdot f'_s \cdot (d - d') \end{aligned}$$

Momen ultimate penampang (M_u) (Siti Nurlina, 2008).:

$$M_u = \phi \times M_n$$

Setelah didapat momen ultimate maka dilanjutkan langkah untuk menghitung nilai P_u ultimate teoritis dengan menggunakan rumus:

$$M_u = \frac{1}{6} \times (P_u) \times L$$

2.10 Hipotesis

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat disusun hipotesis awal dari referensi dan penelitian terdahulu yang sudah dilakukan sebagai berikut:

1. Penambahan lapisan cat pada agregat kasar (*pumice*) berpengaruh atas berat isi dari beton karena pori-pori pada agregat kasar tertutupi oleh cat sehingga rongga tidak terisi air yang berlebihan.
2. Penambahan lapisan cat pada agregat kasar (*pumice*) berpengaruh atas berat dari *pumice* itu sendiri karena dengan penambahan cat pada *pumice* maka permukaan dari batu *pumice* tertutupi cat sehingga menambah berat agregat.
3. Penambahan lapisan cat pada agregat kasar (*pumice*) berpengaruh meningkatkan kekuatan dari agregat kasar (*pumice*) itu sendiri sehingga nilai dari kekakuan balik meningkat.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, sedangkan pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan April 2015 sampai dengan selesai.

3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

3.2.1 Peralatan

- Satu set ayakan dengan *motorized dynamic sieve shaker*
- Timbangan *senticial* merk standart
- Mesin pencampur beton (*concrete mixer*)
- Penguji slump (kerucut Abrams)
- Sendok semen
- Cetakan balok dengan ukuran 100 x 150 x 1200mm
- Mesin uji tekan
- Rangka pengujian (*Loading Frame*)
- Dongkrak hidraulik (*Hydraulic Jack*)
- Alat pengukur lendutan (*LVDT*)
- Alat pengukur peningkatan pembebanan *load cell* kapasitas 10 ton

3.2.2 Bahan

- Semen portlant tipe 1 produksi PT. Semen Gresik
- Agregat halus (pasir) yang di dapat dipasaran
- Agregat kasar (batu apung / pumice) dari Kabupaten Kediri
- Cat polimer (cat water proof) yang didapat dipasaran
- Air PDAM Kota Malang
- Baja Tulangan polos dengan diameter 8 mm
- Baja tulangan polos dengan diameter 6 mm

3.3 Analisa dan Bahan yang digunakan

3.3.1 Semen

Semen yang digunakan tidak dilakukan pengujian khusus, hanya secara visual dimana semen dalam keadaan bubuk dan belum sampai mengeras atau menggumpal, hal ini menunjukkan semen masih daam kondisi baik.

3.3.2 Air

Air yang digunakan tidak dilakukan pengujian khusus (berasal dari air bersih PDAM Kota Malang yang tersedia di laboratorium)

3.3.3 Agregat Kasar (Batu Apung / *Pumice*)

Untuk memperoleh keseragaman agregat kasar yang digunakan, maka agregat kasar berupa batu apung / *pumice* diambil dari daerah Kabupaten Kediri yang selanjutnya dicuci dengan air agar semua debu dan kotorannya hilang.

Pengujian terhadap agregat kasar meliputi:

- Analisa ayakan (gradasi)
- Berat jenis
- Absorbsi

- Berat isi
- Kadar air

3.3.4 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang didapat di pasaran. Adapun yang dilakukan terhadap agregat halus sama dengan perlakuan terhadap agregat kasar.

3.3.5 Cat Polimer (Cat water proof)

Cat polimer yang digunakan adalah cat yang didapat dipasaran. Adapun untuk pelapisan sangat bergantung pada daya pelapisan dari cat polimer tersebut. Ketebalan pelapisan sangat bergantung pada spesifikasi dari cat polimer tersebut.

3.3.6 Baja Tulangan

Baja tulangan yang digunakan adalah baja tulangan yang didapat dipasaran. Baja tulangan tersebut di uji tarik terlebih dahulu.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan dilakukan adaah sebagai berikut:

1. Variabe bebas (*independent variable*), adalah variabel yang perubahannya bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah P ultimate, nilai kuat tekan, deformasi, dan kekakuan.
2. Variabel tak bebas (*dependent variable*), adalah variabel yang tergantung dari variabel bebas. Dalam hal ini yang merupakan variabel tak bebas adalah variasi penggunaan agregat kasar (beton dengan agregat kasar batu pecah, beton dengan agregat kasar batu apung / *pumice* tanpa pengecatan, beton dengan agregat kasar batu apung / *pumice* dengan pengecatan).

3.5 Rancangan penelitian

Adapun perlakuan dalam penelitian ini adalah variasi pelapisan cat pada permukaan agregat kasar (batu apung / *pumice*).

Tabel 3.1 Rancangan model penelitian

Perlakuan agregat kasar Pada model balok benda uji		
Batu pecah	Batu apung (<i>pumice</i>) tanpa pengecatan	Batu apung (<i>pumice</i>) dengan pengecatan
3x	3x	3x

3.6 Prosedur penelitian

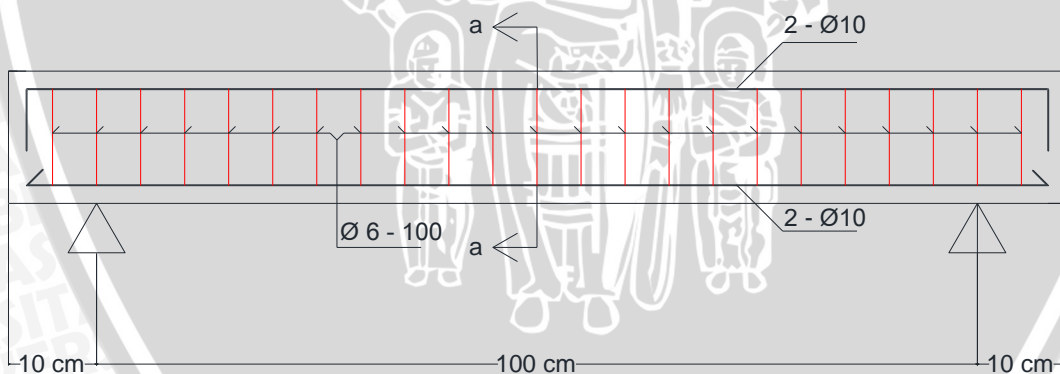
Prosedur dari penelitian ini meliputi:

1. Analisis *specific gravity* agregat halus dan agregat kasar
2. Analisis agregat halus dengan agregat kasar
3. Analisis absorbs agregat halus dan agregat kasar
4. Pembuatan benda uji pendahuluan berbentuk silinder dengan ukuran 80mm x 160mm
5. Pengujian tarik untuk mengetahui nilai f_y
6. Pembuatan benda uji berbentuk balok dengan variasi agregat kasar (beton dengan agregat kasar batu pecah, beton dengan agregat kasar batu apung / *pumice* tanpa pengecatan, beton dengan agregat kasar batu apung / *pumice* dengan pengecatan)
7. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbentuk balok dengan ukuran 100 x 150 x 1200mm
8. Perawatan dilakukan dengan melakukan pembasahan benda uji selama 7 hari
9. Pengukuran lendutan menggunakan *LVDT*
10. Pengukuran peningkatan pembebanan menggunakan *Load Cell*

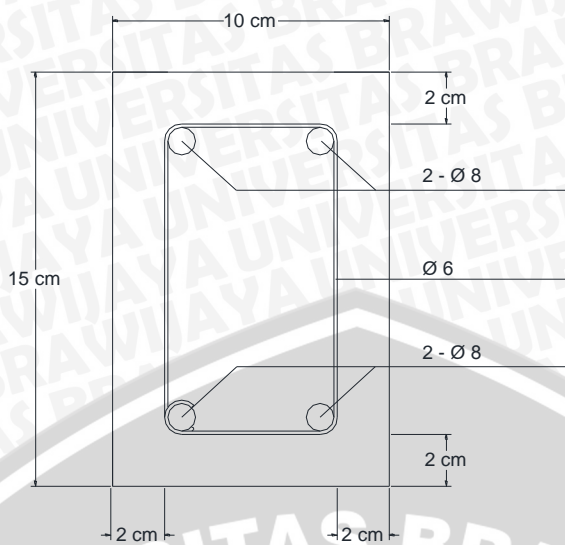
3.7 Cara penelitian dan pengujian

Pengukuran yang dilakukan pada benda uji berupa pengukuran defleksi balok dan pengukuran regangan tulangan. Untuk mengukur defleksi dipasang 2 buah LVDT pada seperempat bentang. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan alat *hydraulic jack*. Metode yang digunakan adalah *load controlled*, yakni dengan cara benda uji balok beton diberi beban maksimum-minimum tertentu serta jumlah siklus tertentu. Pembebanan yang diberikan pada benda uji berupa beban yang sudah ditentukan dan dinaikkan secara bertahap beban tersebut sampai benda uji balok diberikan beban statik sampai runtuh dilakukan dua tahap, tahap pertama adalah *load controlled* dilakukan sampai terjadi *first crack* yang ditandai dengan tidak liniernya (terjadi kemiringan) kurva beban-lendutan. Tahap kedua dilakukan *displacement controlled* setelah terjadi kemiringan pada kurva beban-lendutan dengan kelipatan 1 mm sampai balok runtuh.

Pengamatan yang dilakukan saat pengujian adalah berupa pola retak, defleksi, dan regangan tulangan. Untuk mengamati defleksi yang terjadi, digunakan tiga buah LVDT yang masing-masing dipasang pada seperempat bentang (LVDT 1 dan 2).. Untuk pembacaan defleksi dan regangan, LVDT.

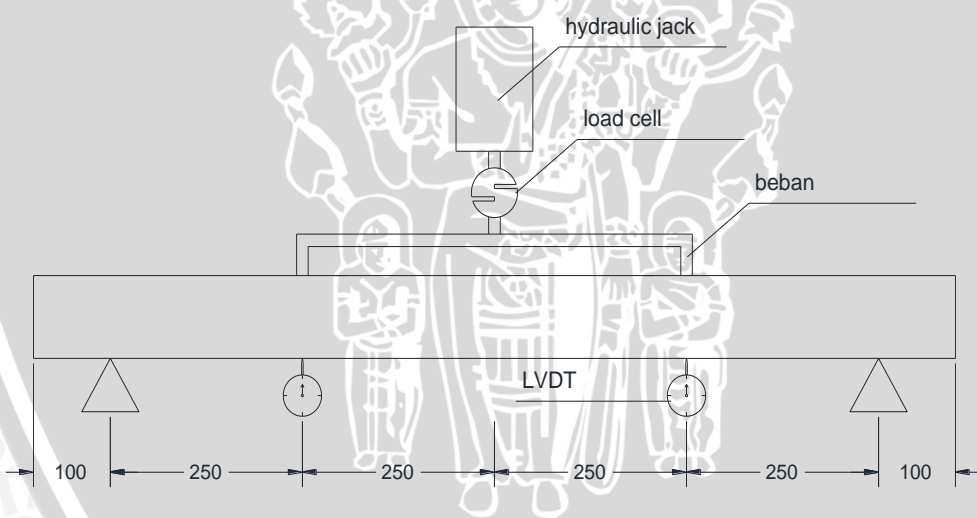


Gambar 3.1 Rancangan model balok penelitian



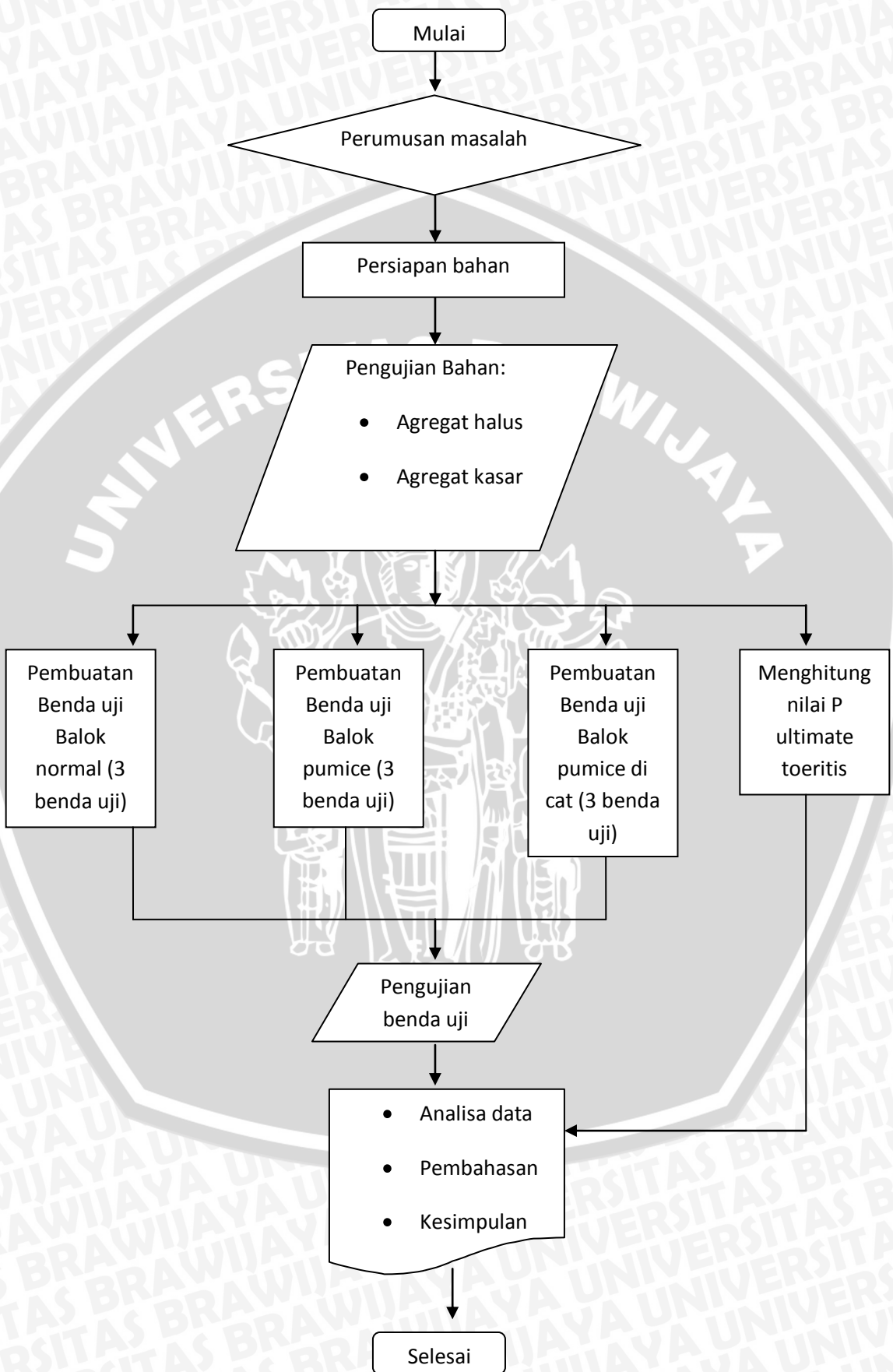
Potongan a - a

Gambar 3.2 Potongan model balok penelitian



Gambar 3.3 Pembebanan model balok penelitian

3.8 Langkah-langkah penelitian



3.9 Metode pengumpulan data

Data diambil dengan membuat benda uji berbentuk balok dengan ukuran 100 x 150 x 1200 mm pada masing-masing perlakuan. Pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat hasil pengukuran lendutan dengan *dial gauge* hingga balok uji tersebut mengalami keruntuhan struktural.

3.10 Anaisis data

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh penambahan cat polimer pada agregat kasar terhadap kekakuan balok sederhana dua tumpuan dilakukan pemodelan matematis, pembuatan grafik hubungan prosentase penambahan cat polimer dengan prosentase peningkatan nilai kuat tekan serta pembuatan grafik hubungan P ultimate dengan deformasi dari tiap tiap perlakuan benda uji yang kemudian dibandingkan hasilnya.



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Agregat Halus

4.1.1 Pemeriksaan gradasi agregat halus

Tabel 4.1 Pemeriksaan gradasi agregat halus

Lubang Saringan	Pasir					ASTM C-33
	Pasir	Pasir	Pasir			
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		

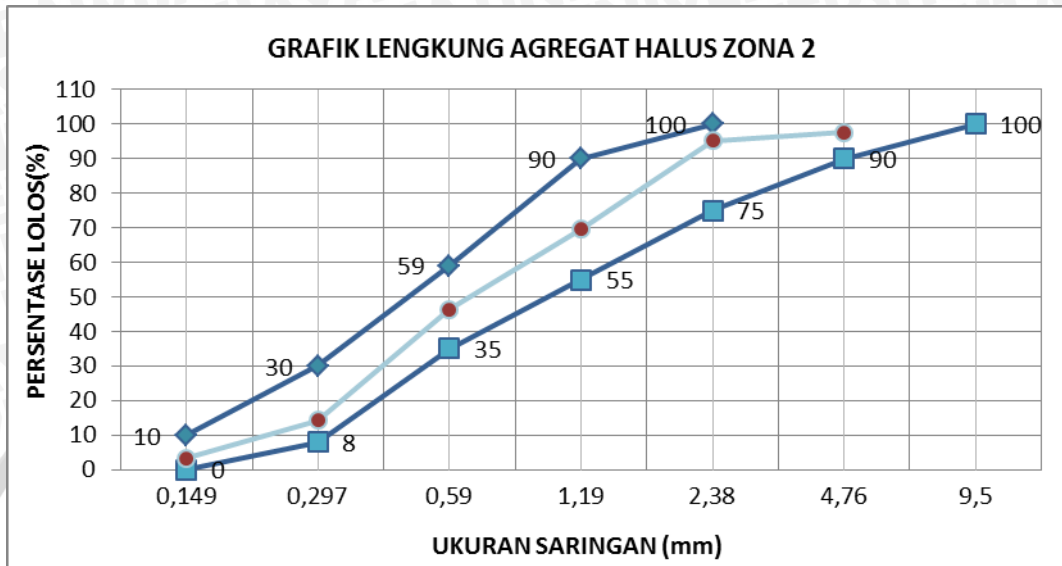
Sumber : Hasil Penelitian

Modulus kehalusan pasir

$$\begin{aligned}
 FM_S &= \frac{(\% \text{ kumulatif tertinggal ayakan no.3/8" sampai no.100})}{100} \\
 &= \frac{2,40+28,15+51,38+83,36+94,26}{100} \\
 &= \frac{259,55}{100} \\
 &= 2,5955
 \end{aligned}$$



Pemeriksaan gradasi agregat halus dimaksudkan untuk menentukan pembagian butiran pasir menurut presentase kelolosannya terhadap lubang ayakan dengan diameter tertentu. Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan terhadap sampel agregat halus dapat digambarkan gradasi agregat halus sebagai berikut:



Gambar 4.1 Lengkung ayakan agregat halus

Jika dilihat pada **Gambar 4.1** agregat halus yang digunakan pada pembuatan benda uji termasuk kedalam zona 2. Dari perhitungan modulus kehalusan pasir didapatkan nilai sebesar 2,5955. Hasil tersebut sesuai dengan yang disyaratkan Standar ASTM C33-90. Modulus kehalusan agregat halus: 2,3 – 3,1

4.1.2 Pemeriksaan kadar air agregat halus

Tabel 4.2 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

Kadar air agregat halus sampel A sebesar 0,81% dan sampel B sebesar 0,6 %. Kadar air agregat halus memenuhi syarat untuk digunakan sebagai perencanaan campuran adalah kurang dari 5%. Jadi pasir yang diuji dapat digunakan dalam campuran beton.

4.1.3 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Berat jenis pasir adalah perbandingan berat pasir dengan berat air yang mempunyai volume sama dengan pasir. Berat jenis dan penyerapan pasir dapat dihitung dengan langkah sebagai berikut :

Berat jenis curah	$= Bk : (B + 500 - Bt)$
(Bulk Specific Gravity)	$= 484,4 : (677,4 - 989,8)$
	$= 2,58$
Berat jenis kering permukaan jenuh	$= 500 : (B + 500 - Bt)$
(Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$= 500 : (677,4 - 989,8)$
	$= 2,670$
Berat jenis semu	$= Bk : (B + Bk - Bt)$
(Apparent Spesific Gravity)	$= 484,4 : (677,4 + 484,4 - 989,8)$
	$= 2,82$
Penyerapan	$= (500 - Bk) : Bk \times 100\%$
(Absorption)	$= (500 - 484,4) : 484,4 \times 100\%$
	$= 3,220 \%$

Dari pengujian berat jenis pada agregat halus didapat berat jenis SSD 2,670. Untuk penyerapan air agregat sebesar 3,220 % menandakan bahwa kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak hingga jenuh kering permukaan sebesar 3,220 % dari berat agregat halus.

4.1.4 Pemeriksaan berat isi agregat halus

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*.

Tabel 4.3 Pemeriksaan barat 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.

4.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

4.2.1 Pemeriksaan gardasi agregat kasar

Tabel 4.4 Pemeriksaan gradasi agregat kasar

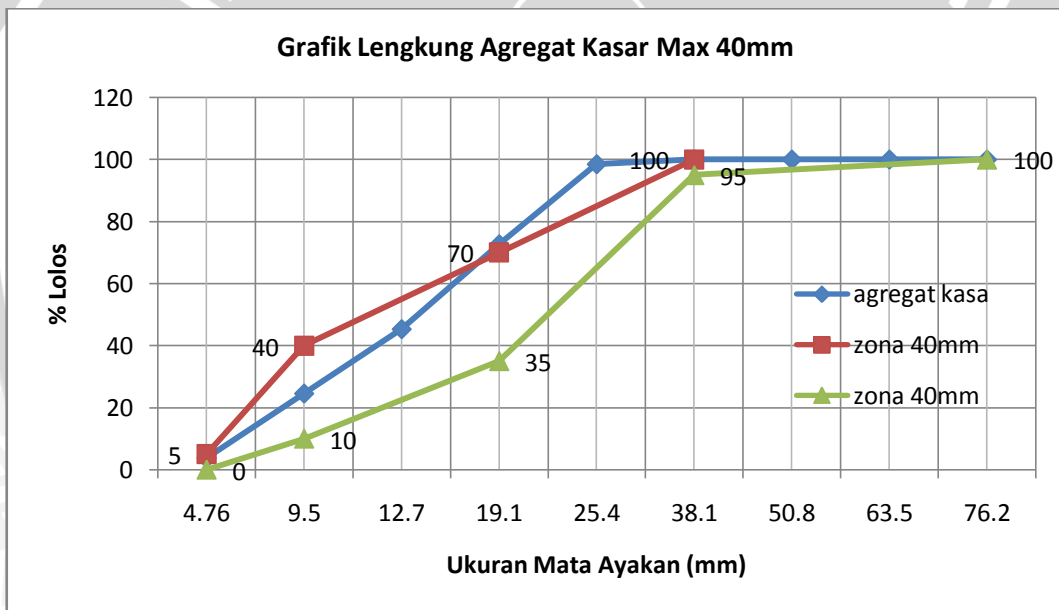
Lubang Saringan	Agregat Kasar				ASTM C-33	
	Tertinggal	%Kumulatif		Tertinggal	Lolos	No 4 - No 3/4
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos	
3"	76,2	-	-	-	100	
2.5"	63,5	-	-	-	100	
2"	50,8	-	-	-	100	
1.5"	38,1	-	0	0	100	
1"	25,4	148,4	1,50	1,50	98,50	100
0.75"	19,1	2550	25,82	27,32	72,68	90-100
0.5"	12,7	2700	27,34	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

Modulus kehalusan kerikil

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

Pemeriksaan gradasi agregat kasar dimaksudkan untuk menentukan pembagian butiran kerikil menurut presentase kelolosannya terhadap lubang ayakan dengan diameter tertentu. Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan terhadap sampel agregat kasar dapat digambarkan gradasi agregat kasar sebagai berikut:



Gambar 4.2 Lengkung ayakan agregat kasar

Modulus kehalusan kerikil diperoleh dengan menjumlahkan presentase kumulatif tertinggal pada ayakan berdiameter 76,66 mm, 38,1 mm, 19,1 mm, 9,5 mm, 4,76 mm. Kemudian ditambahkan dengan nilai 500 dan semuanya dibagi dengan 100. Angka 500 diperoleh dari ayakan yang tidak terpakai dan ukurannya merupakan kelipatan setengah dari ayakan berdiameter 4,76 mm, yaitu 2,38 mm, 1,19 mm, 0,59 mm, 0,297 mm, 0,149 mm, 0,0075 mm. Modulus kehalusan kerikil adalah 7,99 hasil tersebut sesuai dengan yang disyaratkan yaitu antar 7,49 – 9,55 (ASTM C35 – 37). Jika dilihat pada grafik lengkung

ayakan kerikil, maka agregat kasar yang digunakan pada pembuatan benda uji termasuk kedalam gading Zona 3 dengan ukuran maksimum agregat kasar sebesar 40 mm.

4.2.2 Pemeriksaan kadar air agregat kasar

Tabel 4.5 Pemeriksaan kadar 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

Kadar air agregat kasar sampel A sebesar 0,81 % dan sampel B sebesar 0,7 % sehingga didapat kadar air agregat kasar rata-rata sebesar 0,77 %. Kadar air agregat kasar memenuhi syarat untuk digunakan sebagai perencanaan campuran beton adalah kurang dari 5 %. Jadi kerikil dapat digunakan dalam campuran beton.

4.2.3 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Berat jenis kerikil adalah perbandingan berat kerikil dengan berat air yang mempunyai volume sama dengan kerikil. Berat jenis dan penyerapan pasir dapat dihitung dengan langkah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah} &= B_k : (B_j - B_a) \\ (\text{Bulk Specific Gravity}) &= 1000 : (1032 - 635) \\ &= 2,519 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis kering permukaan jenuh} &= B_j : (B_j - B_a) \\ (\text{Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry}) &= 1032 : (1032 - 635) \\ &= 2,599 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= B_k : (B_k - B_a) \\ (\text{Apparent Specific Gravity}) &= 1000 : (1000 - 635) \end{aligned}$$

$$= 2,740$$

Penyerapan $= (B_j - B_k) : B_k \times 100\%$

Absorption) $= (1032 - 1000) : 1000 \times 100\%$

$$= 3,20 \%$$

Dari pengujian berat jenis pada agregat halus didapat berat jenis SSD 2,599. Untuk penyerapan air agregat sebesar 3,20 % menandakan bahwa kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak hingga jenuh kering permukaan sebesar 3,20 % dari berat agregat halus.

4.2.4 Pemeriksaan berat isi agregat kasar

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

Tabel 4.6 Pemeriksaan berat isi 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

Dari pengujian berat isi agregat kasar didapat nilai berat isi untuk berat isi padat sebesar 2696,6 gr/cc dan berat isi lepas sebesar 2589,4 gr/cc. Sehingga didapatkan nilai berat isi kerikil rata-rata adalah 2643,0 gr/cc.

4.3 Pengujian Batu Pumice Sebagai Pengganti Agregat Kasar

4.3.1 Pemeriksaan gardasi batu pumice

Tabel 4.7 Pemeriksaan Gradasi Batu Pumice

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	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

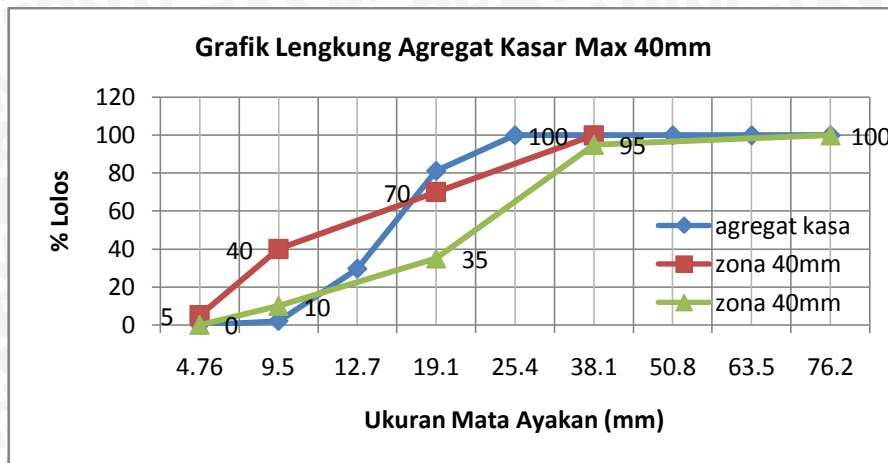
Modulus kehalusan kerikil

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

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

$$= 8,168$$

Pemeriksaan gradasi batu pumice dimaksudkan untuk menentukan pembagian butiran batu pumice menurut presentase kelolosannya terhadap lubang ayakan dengan diameter tertentu. Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan terhadap sampel batu pumice dapat digambarkan gradasi agregat kasar sebagai berikut:



Gambar 4.3 Lengkung Ayakan Batu pumice

Modulus kehalusan kerikil diperoleh dengan menjumlahkan presentase kumulatif tertinggal pada ayakan berdiameter 76,66 mm, 38,1 mm, 19,1 mm, 9,5 mm, 4,76 mm. Kemudian ditambahkan dengan nilai 500 dan semuanya dibagi dengan 100. Angka 500 diperoleh dari ayakan yang tidak terpakai dan ukurannya merupakan kelipatan setengah dari ayakan berdiameter 4,76 mm, yaitu 2,38 mm, 1,19 mm, 0,59 mm, 0,297 mm, 0,149 mm, 0,0075 mm. Modulus kehalusan kerikil adalah 8,168 hasil tersebut sesuai dengan yang disyaratkan yaitu antar 7,49 – 9,55 (ASTM C35 – 37). Jika dilihat pada grafik lengkung ayakan kerikil, maka agregat kasar yang digunakan pada pembuatan benda uji termasuk kedalam gadasi Zona 3 dengan ukuran maksimum agregat kasar sebesar 40 mm.

Tabel 4.8 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

4.3.2 Pemeriksaan 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%

4.4 Mix Design

Perencanaan campuran (*mix design*) beton normal dapat dilakukan dengan langkah-langkah seperti pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Formulir perencanaan beton normal

NO	URAIAN	TABEL/ GRAFIK	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	20
2	Deviasi standar	Diketahui (K=1,64)	12 Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	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	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/m ³
12	Jumlah semen	(11) : (8)	341,667
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275 kg/m ³
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6 Grafik 13 -	Zona2
17	Persen agregat halus	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):

- a. Semen = 341,667 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 684,133 kg
- d. Agregat kasar = 1026,200 kg

Perhitungan kebutuhan untuk campuran uji 0,05 m³ (teoritis):

- a. Semen = 0,05 x 341,667 = 110,7 kg
- b. Air = 0,05 x 205 = 66,4 kg
- c. Agregat halus = 0,05 x 684,133 = 221,7 kg
- d. Agregat kasar = 0,05 x 1026,200 = 332,5 kg

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

- a. 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 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 kg
- c. Agregat kasar = $1026 + \left(\frac{(0,0077 - 3,193)}{100} \times 1026\right)$
= 993,512 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 = $341,667 + 205 + 684,133 + 1026,200 = 2257 \text{ kg}$
- b. Setelah koreksi = $341,667 + 259,658 + 662,152 + 993,512 = 2257 \text{ kg}$

Dari perhitungan kebutuhan bahan campuran dalam pembuatan beton tersebut dapat disajikan seperti pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Kebutuhan bahan pembuatan 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 0,016875 m3	110,7	66,4	221,7	332,5
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	341,667	259,669	662,152	993,512
Tiap campuran uji 0,016875 m3	110,70	84,13	214,54	321,90

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

4.5 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slump. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan dan kemudahan dalam campuran adukan beton. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada **Tabel 4.11**.

Tabel 4.11 Pengujian Slump

Pengecoran	Faktor Air Semen	Slump (cm)
Kerikil	I	9,5
	II	12
Pumice	I	11,5
	II	13
Pumice Cat	I	12
	II	14,5

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

4.6 Pengujian Beton Keras



Pada beton keras dilakukan pengujian kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari dengan benda uji silinder diameter 8 cm tinggi 16 cm. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada **Tabel 4.12**

Tabel 4.12 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	14,132
	8	803,84	1,45	1803,842	83	16,521	
							14,165

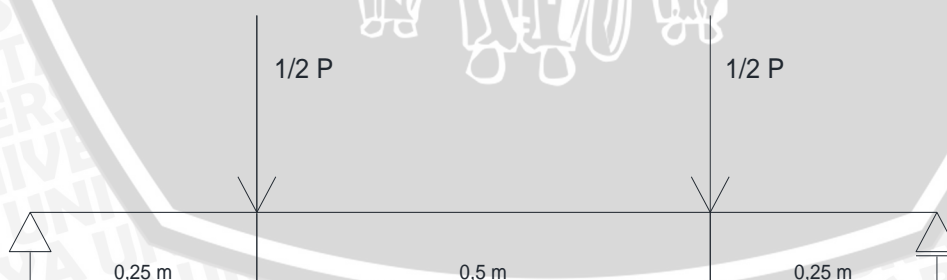
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dilihat dari hasil **tabel 4.12**, maka kuat tekan beton rata-rata (fc') adalah 14,165 Mpa.

4.7 Analisa Perhitungan Beban Maksimum (Pu) Teoritis

4.7.1 Pemodelan Struktur

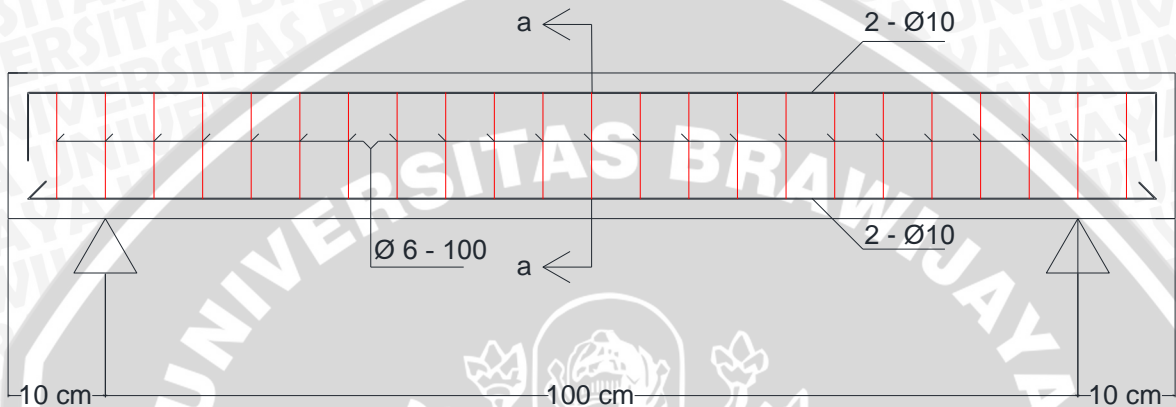
Sebelum melakukan analisa perhitungan beban maksimum (Pu) secara teoritis harus dilakukan pemodelan struktur terlebih dahulu. Balok diasumsikan sebagai gelagar balok dengan tumpuan sendi roll. Beban yang bekerja diasumsikan sebagai beban vertikal terpusat di seperempat dan tigaperempat bentang.



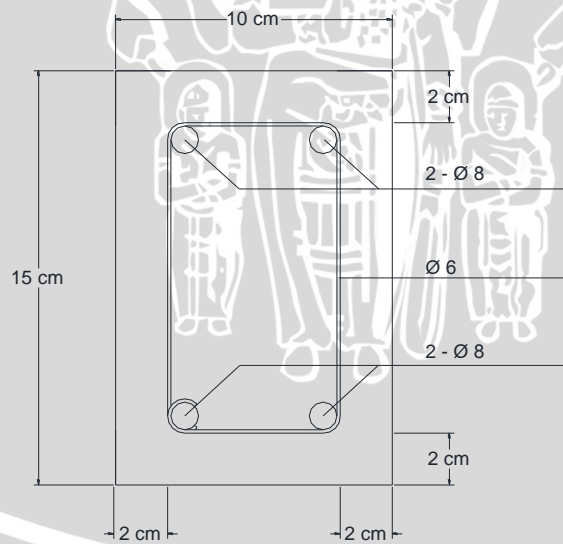
Gambar 4.4 Pemodelan Pembebanan Struktur

4.7.2 Kapasitas Lentur

Perhitungan beban maksimum secara teoritis dilakukan dengan cara analisis penampang segiempat beton bertulang sehingga akan didapatkan kapasitas lenturnya. 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 4.5 Detail Penulangan Gelagar



Potongan a - a

Gambar 4.6 Detail Penulangan Penampang

Sebuah balok beton dengan dimensi lebar 100 mm dan tinggi 150 mm, dibuat dengan menggunakan beton mutu $f'c = 20$ MPa dan baja tulangan $f_y = 240$ MPa. Jika jumlah tulangan tarik dalam balok ini adalah 2 \emptyset -8 dan tulangan tekan 2 \emptyset -8

Penyelesaian :

Luas tulangan 2 \emptyset -8 (As) adalah $1,01 \text{ cm}^2 = 101 \text{ mm}^2$

Luas tulangan 2 \emptyset -8 (As') adalah $1,01 \text{ cm}^2 = 101 \text{ mm}^2$

Misalkan tinggi efektif penampang (d) = $150 - 20 = 130$ mm

Karena tulangan tarik = tulangan tekan, maka tulangan tekan dianggap tulangan
semu

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

$$C = T$$

$$C_c = T$$

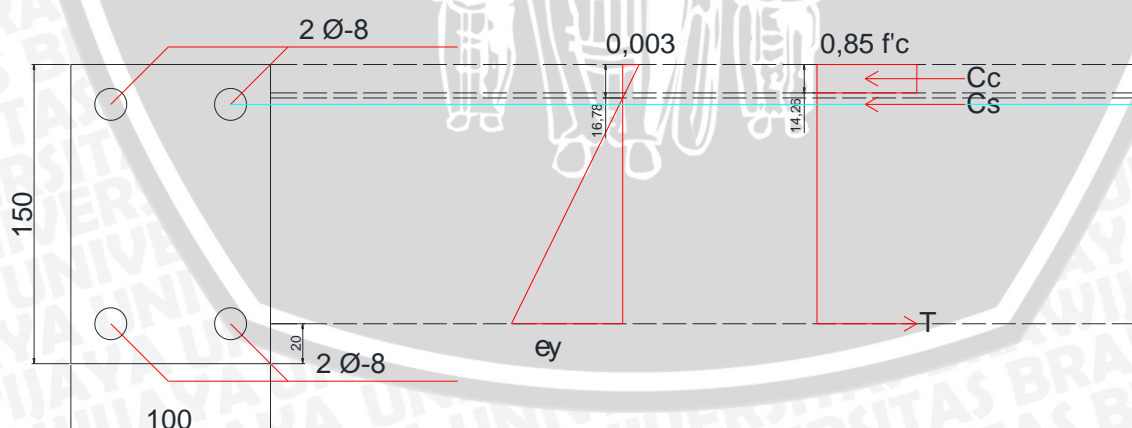
$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_y$$

$$a = \frac{(A_s) \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$a = \frac{(101) \times 240}{0,85 \times 13,834 \times 100}$$

$$a = 20,53 \text{ mm}$$

$$\text{Letak garis netral (c)} = \frac{a}{\beta_1} = \frac{20,53}{0,85} = 24,15 \text{ mm}$$



Kontrol :

$$\text{- regangan baja tarik } (\epsilon_s) = \epsilon_c \cdot \frac{d - c}{c}$$

$$= 0,003 \cdot \frac{130 - 24,15}{24,15} = 0,013$$

tegangan baja tarik (f_s) = $\epsilon_s \cdot E_s = 0,013 \times 200000 = 2600 \text{ MPa} > 240 \text{ MPa}$

→ Baja tarik sudah leleh (sesuai dengan asumsi awal)

$$\begin{aligned} \text{- regangan baja tekan } (\epsilon_s') &= \epsilon_c \cdot \frac{d' - c}{c} \\ &= 0,003 \cdot \frac{24,15 - 20}{24,15} = 0,00052 \end{aligned}$$

tegangan baja tekan (f'_s) = $\epsilon_s' \cdot E_s = 0,00052 \times 200000 = 104 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}$

→ Baja tekan belum leleh (tidak sesuai dengan asumsi awal)

Karena tegangan baja tekan tidak sesuai dengan asumsi awal, maka perhitungan diulang dengan membuat asumsi baru bahwa tegangan baja tekan belum leleh.

Asumsi kedua : baja tarik sudah leleh, $f_s = f_y$

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

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \cdot \frac{c - d'}{c}$$

$$C = T$$

$$C_c - C_s = T$$

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

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

$$(0,85 \times 13,834 \times 100 \times a) - (101 \times 0,003 \times \frac{1,18 \cdot a - 20}{1,18 \cdot a} \times 200000) = 101 \times 240$$

$$(1700 \cdot a) - (60600 \cdot \frac{1,18 \cdot a - 20}{1,18 \cdot a}) = 24240$$

$$(1175,89 \cdot a) - (60600 - \frac{1027118,644}{a}) = 24240$$

$$1175,89 \cdot a^2 - 36360 \cdot a - 1027118,644 = 0$$

$$a^2 - 30,92 \cdot a - 873,48 = 0$$

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

$$a_{1,2} = \frac{-30,92 \pm \sqrt{(30,92)^2 - 4.(-873,48)}}{2}$$

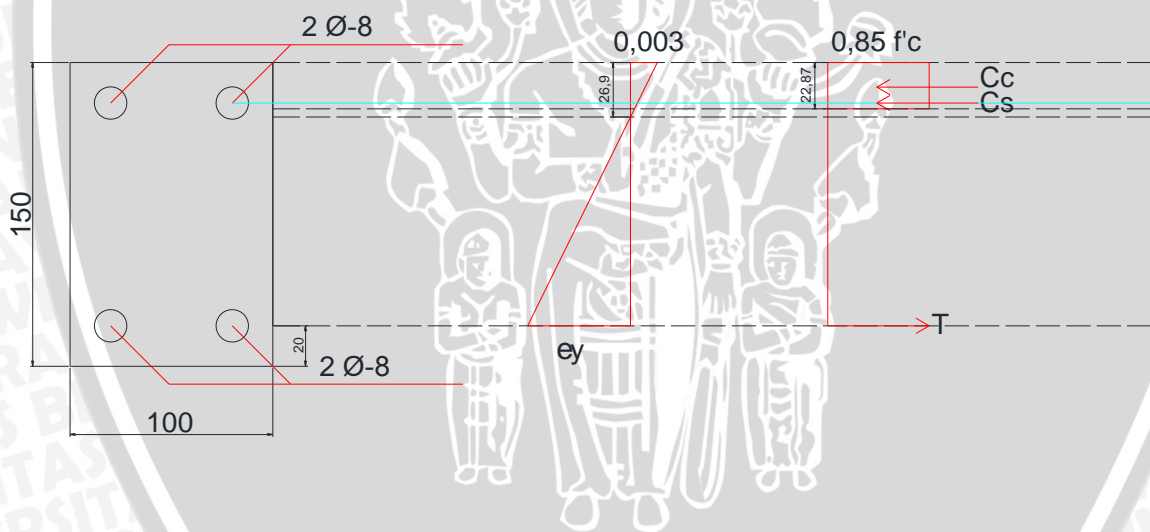
$$a_{1,2} = \frac{-30,92 \pm 58,075}{2}$$

$$a_1 = 17,9 \text{ mm}$$

$$a_2 = -48,82 \text{ mm}$$

Harga a yang diambil = 17,9 mm

$$\text{Letak garis netral (c)} = \frac{a}{\beta_1} = \frac{27,155}{0,85} = 21,1 \text{ mm} > d' = 20 \text{ mm}$$



Kontrol :

$$\text{- regangan baja tarik } (\epsilon_s) = \epsilon_c \cdot \frac{d - c}{c}$$

$$= 0,003 \cdot \frac{130 - 21,1}{21,1} = 0,015519$$

$$\text{tegangan baja tarik (fs)} = \epsilon_s \cdot E_s = 0,015519 \times 200000 = 3103,91 \text{ MPa} > 240 \text{ MPa}$$

→ Baja tarik sudah leleh (sesuai dengan asumsi kedua)

$$\begin{aligned}
 \text{- regangan baja tekan } (\epsilon_s') &= \epsilon_c \cdot \frac{c-d'}{c} \\
 &= 0,003 \cdot \frac{211-20}{21,1} = 0,0001508
 \end{aligned}$$

tegangan baja tekan ($f's$) = $\epsilon_s' \cdot E_s = 0,0001508 \times 200000 = 30,168 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}$
 → Baja tekan belum leleh (sesuai dengan asumsi kedua)

Momen lentur nominal

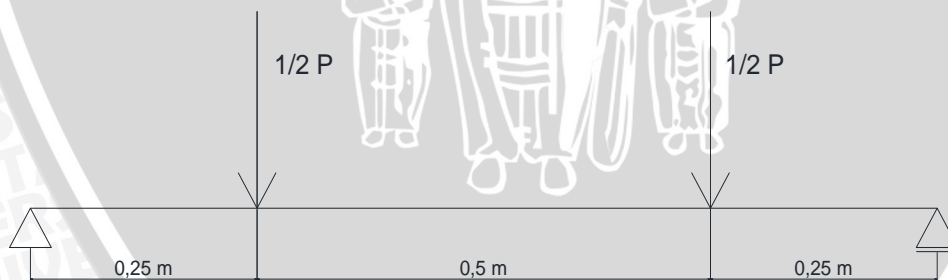
$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \cdot (d - a/2) - C_s \cdot (d - d') \\
 &= 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a (d - a/2) - A_s' \cdot f's (d - d') \\
 &= \{0,85 \times 13,834 \times 100 \times 21,1 (130 - 21,1/2)\} - \{101 \times 152 (130 - 20)\} \\
 &= 3223840,434 \text{ Nmm} = 3,224 \text{ kNmm}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum yang dapat dipakai dalam desain.

$$\begin{aligned}
 M_u &= \phi \times M_n \\
 &= 0,8 \times 3,224 \\
 &= 2,5791 \text{ kNm} \\
 &= 257,91 \text{ Kgm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai P ultimate

Setelah didapat momen ultimate maka dilanjutkan langkah untuk menghitung nilai P ultimate teoritis:



Gambar 4.7 Pembebanan Gelagar Model

• Reaksi Perletakan

$$\sum M_A = 0$$

$$-R_B (1) - \frac{1}{2} P (0,75) - \frac{1}{2} P (0,25) = 0$$

$$-R_B - (0,375P) - (0,125P) = 0$$

$$RB = 0,5P (\uparrow)$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$RA(1) - \frac{1}{2} P (0,75) - \frac{1}{2} P (0,25) = 0$$

$$RA - (0,375P) - (0,125P) = 0$$

$$RA = 0,5P (\uparrow)$$

• Kontrol

$$\Sigma V = 0$$

$$RA - RB = 0,5P - 0,5P$$

$$0,5P - 0,5P = P$$

$$P = P \dots \text{OK !!!!!}$$

• Mencari Momen

Interval $0 < x < 0,25$

$$M_x = RA (x)$$

$$x = 0 \text{ maka } M_x = RA (0)$$

$$= 0$$

$$x = 0,25 \text{ maka } M_x = RA (0,25)$$

$$= 0,5P (0,25)$$

$$= 0,125P$$

Interval $0,25 < x < 0,75$

$$M_x = RA (x) - \frac{1}{2}P (x - 0,25)$$

$$x = 0,25 \text{ maka } M_x = RA (0,25) - \frac{1}{2}P (0,25 - 0,25)$$

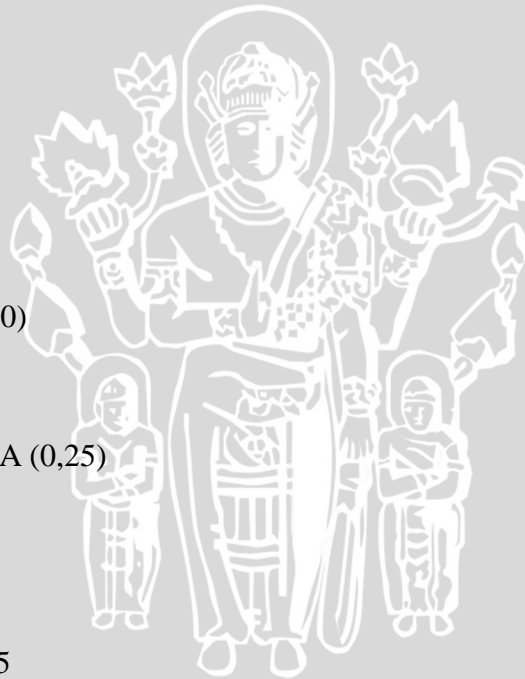
$$= 0,5P (0,25) - \frac{1}{2}P (0)$$

$$= 0,125P$$

$$x = 0,75 \text{ maka } M_x = RA (0,75) - \frac{1}{2}P (0,75 - 0,25)$$

$$= 0,5P (0,75) - \frac{1}{2}P (0,5)$$

$$= 0,125P$$



Interval $0,75 < x < 1$

$$M_x = RA(x) - 1/2P(x - 0,25) - 1/2P(x - 0,75)$$

$$x = 0,75 \text{ maka } M_x = RA(0,75) - 1/2P(0,75 - 0,25) - 1/2P(0,75 - 0,75)$$

$$= 0,5P(0,75) - 1/2P(0,5) - 1/2P(0)$$

$$= 0,125P$$

$$x = 1 \text{ maka } M_x = RA(1) - 1/2P(1 - 0,25) - 1/2P(1 - 0,75)$$

$$= 0,5P(1) - 1/2P(0,75) - 1/2P(0,25)$$

$$= 0$$

Maka diambil nilai momen yang paling besar yaitu $0,125P$ sehingga

$$M_u = M_x$$

$$257,91 = 0,125P$$

$$P_{\text{kerikil}} = 257,91/0,125$$

$$P_{\text{kerikil}} = 2063,28 \text{ Kg}$$

Dengan langkah yang sama dilakukan untuk mencari nilai P dari benda uji balok beton pumice dan balik beton pumice cat yang didapat nilai P_{pumice} sebesar $2015,56 \text{ Kg}$ dan nilai $P_{\text{pumice cat}}$ sebesar $2041,656 \text{ Kg}$.

4.8 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 mistar.

4.8.1 Hasil Pengukuran Balok Beton

Setelah dilakukan pengukuran terhadap plat beton, data yang telah didapatkan direkap dan dipresentasikan dalam bentuk tabel berikut ini:

Tabel 4.13 Hasil Pengukuran Balok Beton

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)
1	BBN-1	44,05	1,2	0,1	0,15
2	BBN-2	46,4	1,2	0,1	0,15
3	BBN-3	45,6	1,2	0,1	0,15
4	BBP-1	39,05	1,2	0,1	0,15
5	BBP-2	38,35	1,2	0,1	0,15
6	BBP-3	37,85	1,2	0,1	0,15
7	BBPC-1	37,8	1,2	0,1	0,15
8	BBPC-2	37,75	1,2	0,1	0,15
9	BBPC-3	36,8	1,2	0,1	0,15

Keterangan :

BBN-1 = Benda uji balok beton normal ke-1

BBN-2 = Benda uji balok beton normal ke-2

BBN-3 = Benda uji balok beton normal ke-3

BBP-1 = Benda uji balok beton batu pumice ke-1

BBP-2 = Benda uji balok beton batu pumice ke-2

BBP-3 = Benda uji balok beton batu pumice ke-3

BBPC-1 = Benda uji balok beton batu pumice cat ke-1

BBPC-2 = Benda uji balok beton batu pumice cat ke-2

BBPC-3 = Benda uji balok beton batu pumice cat ke-3

4.8.2 Analisa Berat Volume Balok Beton

Analisa berat volume balok beton dapat dilakukan setelah didapatkan data berat dan dimensi dari balok beton tersebut. Analisa berat volume ini meliputi tiga macam yaitu analisa berat volume untuk balok beton normal dan berat volume balok beton batu pumice dan balok beton batu pumice cat. Perhitungan berat volume dari balok tersebut dipresentasikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 4.14Analisa Berat Volume Balok Beton Normal

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
1	BBN-1	44,05	1,2	0,1	0,15	0,018	2447,2222
2	BBN-2	46,4	1,2	0,1	0,15	0,018	2577,7778
3	BBN-3	45,6	1,2	0,1	0,15	0,018	2533,3333
Berat Volume Rata-Rata							2519,4444

Tabel 4.15Analisa Berat Volume Balok Beton Batu Pumice

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
1	BBP-1	39,05	1,2	0,1	0,15	0,018	2169,4444
2	BBP-2	38,35	1,2	0,1	0,15	0,018	2130,5556
3	BBP-3	37,85	1,2	0,1	0,15	0,018	2102,7778
Berat Volume Rata-Rata							2134

Tabel 4.16Analisa Berat Volume Balok Beton Batu Pumice Cat

No.	Nama Benda Uji	Berat (kg)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)
1	BBPC-1	37,8	1,2	0,1	0,15	0,018	2100
2	BBPC-2	37,75	1,2	0,1	0,15	0,018	2097,2222
3	BBPC-3	36,8	1,2	0,1	0,15	0,018	2080,5556
Berat Volume Rata-Rata							2080,556

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata nilai berat volume pada balok beton bertulang normal sebesar 2519,4444 kg/m³, sedangkan rata-rata nilai berat volume pada balok beton bertulang batu pumice sebesar 2134 kg/m³ dan rata-rata nilai berat volume pada balok beton bertulang batu pumice cat sebesar 2080,556 kg/m³. Hal ini membuktikan bahwa berat volume balok beton bertulang batu pumice cat itu lebih kecil daripada berat volume pada balok beton bertulang batu pumice dan balok beton bertulang normal.

4.9 Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal

Pelaksanaan pengujian balok beton terhadap beban vertikal ini sesuai dengan prosedur yang telah dituliskan pada bab III. balok beton yang telah berumur 28 hari dipersiapkan dan diletakan di atas tumpuan. Kemudian dilakukan *setting* peralatan pengujian. Data yang akan diambil pada penelitian ini adalah lendutan yang terjadi pada plat yang didapat dari bacaan LVDT.

4.9.1 Hasil Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal

Setelah dilakukan pengujian balok beton terhadap beban vertikal, didapatkan data lendutan dari beban vertikal yang bekerja pada balok beton. Kemudian dilakukan perbandingan antara selisih hasil perhitungan beban maksimum dengan teoritis. Perbandingan selisih tersebut dapat dihitung dengan:

$$\rho_{p \text{ maks}} = \frac{P_{\text{aktual}} - P_{\text{teoritis}}}{P_{\text{aktual}}}$$

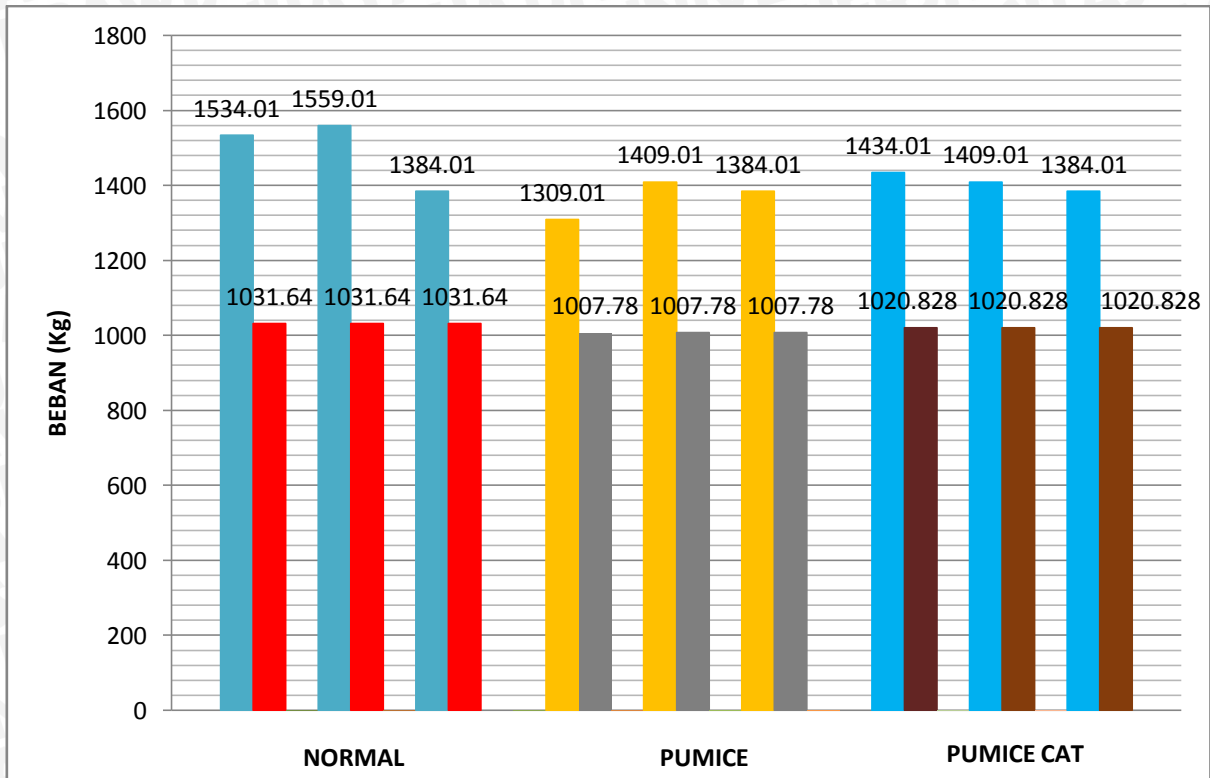
Tabel 4.17 Perbandingan antara Beban Maksimum teoritis dengan Hasil Eksperimen

Benda uji	Beban Maks.	Rata-rata (kg)	Beban Maks.	Perbandingan Selisih
	Aktual (kg)		Teoritis (kg)	
BBN-1	1534,01		1031,64	0,327488087
BBN-2	1559,01	1492,343333	1031,64	0,338272365
BBN-3	1384,01		1031,64	0,254600762
BBP-1	1309,01		1007,78	0,230120473
BBP-2	1409,01	1367,343333	1007,78	0,284760222
BBP-3	1384,01		1007,78	0,271840521
BBPC-1	1434,01		1020,828	0,288130487
BBPC-2	1409,01	1409,01	1020,828	0,275499819
BBPC-3	1384,01		1020,828	0,262412844

Keterangan :

- BBN-1 = Benda uji balok beton normal ke-1
- BBN-2 = Benda uji balok beton normal ke-2
- BBN-3 = Benda uji balok beton normal ke-3
- BBP-1 = Benda uji balok beton batu pumice ke-1
- BBP-2 = Benda uji balok beton batu pumice ke-2

- BBP-3 = Benda uji balok beton batu pumice ke-3
- BBPC-1 = Benda uji balok beton batu pumice cat ke-1
- BBPC-2 = Benda uji balok beton batu pumice cat ke-2
- BBPC-3 = Benda uji balok beton batu pumice cat ke-3



Gambar 4.8 Perbandingan antara Beban Maksimum teoritis dengan Hasil Eksperimen

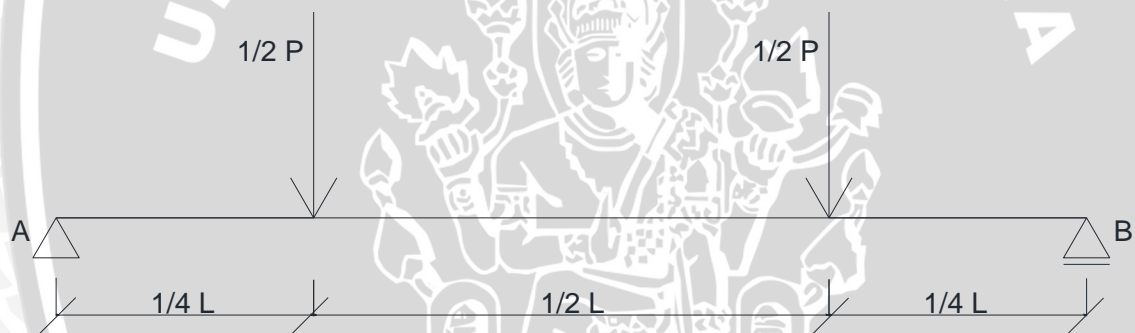
Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton normal adalah sebesar 1492,343333 kg, sedangkan rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton batu pumice adalah sebesar 1367,343333 kg, dan rata-rata beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton batu pumice cat adalah sebesar 1409,01 kg. Sehingga dapat diketahui bahwa balok beton normal dapat menahan beban lebih besar dibanding balok beton batu pumice dan balok beton batu pumice cat. Hal ini sesuai dengan prinsip pembuatan beton ringan di mana beton tersebut memiliki berat volume yang lebih kecil namun dapat menahan beban yang tidak jauh berbeda dengan beton normal. Hal ini dikarenakan beton normal mempunyai berat jenis lebih agregat kasar lebih besar. Sehingga beton mencapai kapasitas yang lebih besar dalam menahan beban yang terjadi. Namun perbandingan selisih antara beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton normal dengan beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton batu pumice tidak begitu besar, yakni sebesar

8,376%. Dan perbandingan selisih antara beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton normal dengan beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton batu pumice cat tidak begitu besar, yakni sebesar 5,584%. Nilai tersebut dapat dihitung dari rumus:

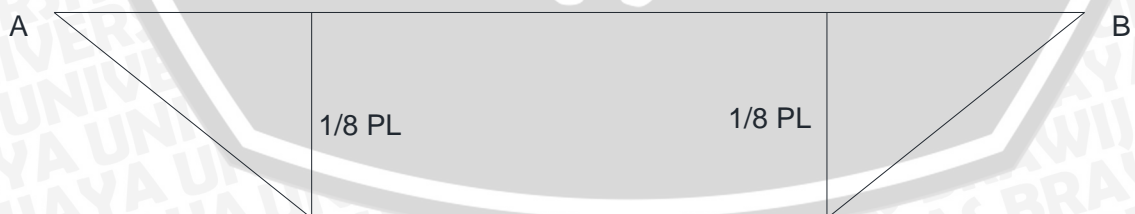
$$\rho_p = \frac{P(BBN) - P(BBP)}{P(BBN)} \times 100\%$$

$$\rho_p = \frac{P(BBN) - P(BBPC)}{P(BBN)} \times 100\%$$

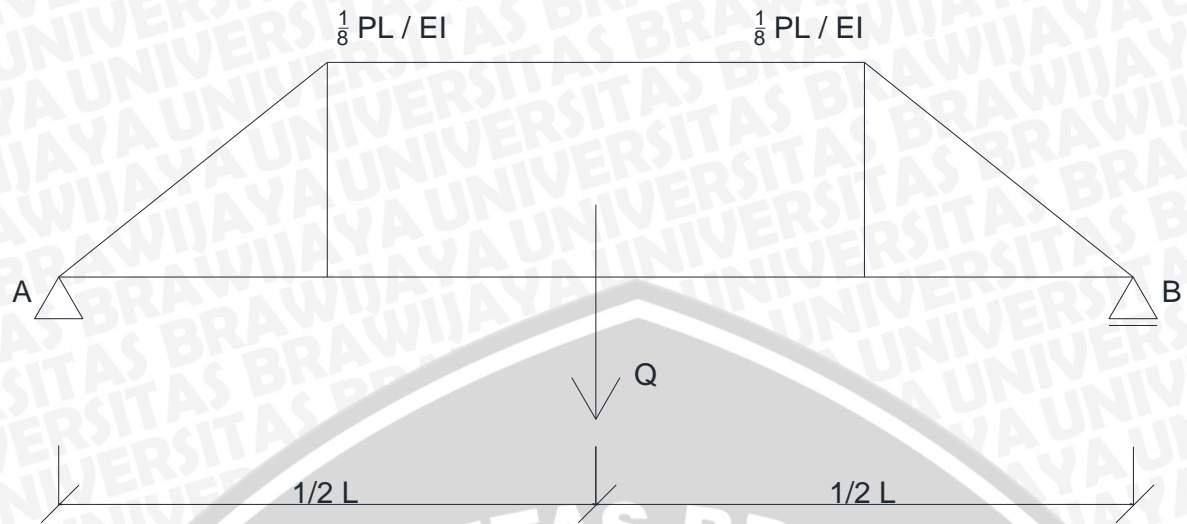
Kemudian dilakukan perbandingan lendutan yang terjadi dari hasil penelitian dengan lendutan berdasarkan perhitungan teoritis. Lendutan dari hasil penelitian atau eksperimen didapat dari pembacaan LVDT pada saat beban maksimum terjadi pada balok. Sedangkan lendutan berdasarkan perhitungan teoritis dihitung dengan cara memasukkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok dan modulus elastisitas balok dari pengujian ke dalam rumus berikut ini (*Metode Conjugate Beam*):



Gambar 4.9 Pembebanan Gelagar Model



Gambar 4.10 Bidang Momen Gelagar Model



Gambar 4.11 Bidang Pembebanan Conjugate Beam

$$Q = 2 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{4} \times 1 \times \frac{1}{8} PL \right) + \left(\frac{1}{2} \times 1 \times \frac{1}{8} PL \right)$$

$$= 2 \times \left(\frac{1}{64} PL^2 \right) + \left(\frac{1}{16} PL^2 \right)$$

$$= \frac{3}{32} PL^2$$

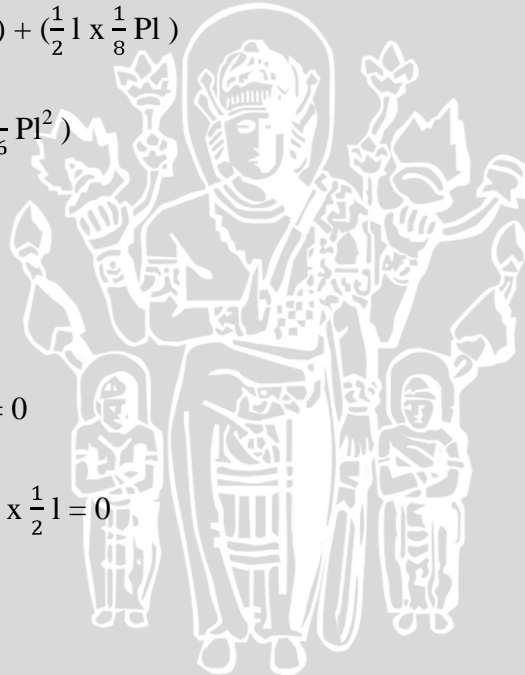
$$\Sigma MB = 0$$

$$RA' \times 1 - Q \times \frac{1}{2} \times 1 = 0$$

$$RA' \times 1 - \left(\frac{3}{32} PL^2 \right) \times \frac{1}{2} \times 1 = 0$$

$$RA' = \frac{3 PL^2}{64 EI}$$

$$\Delta A = RA' = \frac{3 PL^2}{64 EI}$$





Gambar 4.12 Bidang Pembebanan Conjugate Beam

$$Q_1 = \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{4} l \times \frac{1}{8EI} Pl \right)$$

$$= \frac{1}{64EI} Pl^2$$

$$MC' = RA' \times \frac{1}{4} L - Q_1 \times \frac{1}{4} L \times \frac{1}{3}$$

$$= \frac{3}{64} \frac{Pl^2}{EI} \times \frac{1}{4} L - \frac{1}{64EI} Pl^2 \times \frac{1}{12} L$$

$$= \frac{3}{256} \frac{Pl^3}{EI} - \frac{1}{786} \frac{Pl^3}{EI}$$

$$= \left(\frac{9-1}{786} \right) \frac{Pl^3}{EI}$$

$$= \frac{8}{786} \frac{Pl^3}{EI}$$

$$\Delta c = MC' = \frac{8}{786} \frac{Pl^3}{EI}$$

$$Q_2 = \left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{4} l \times \frac{1}{8EI} Pl \right)$$

$$= \frac{1}{64EI} Pl^2$$

$$MD' = RA' \times \frac{1}{4} L - Q_2 \times \frac{1}{4} L \times \frac{1}{3}$$

$$= \frac{3}{64} \frac{Pl^2}{EI} \times \frac{1}{4} L - \frac{1}{64EI} Pl^2 \times \frac{1}{12} L$$

$$= \frac{3}{256} \frac{Pl^3}{EI} - \frac{1}{786} \frac{Pl^3}{EI}$$



$$= \left(\frac{9-1}{786} \right) \frac{Pl^3}{EI}$$

$$= \frac{8}{786} \frac{Pl^3}{EI}$$

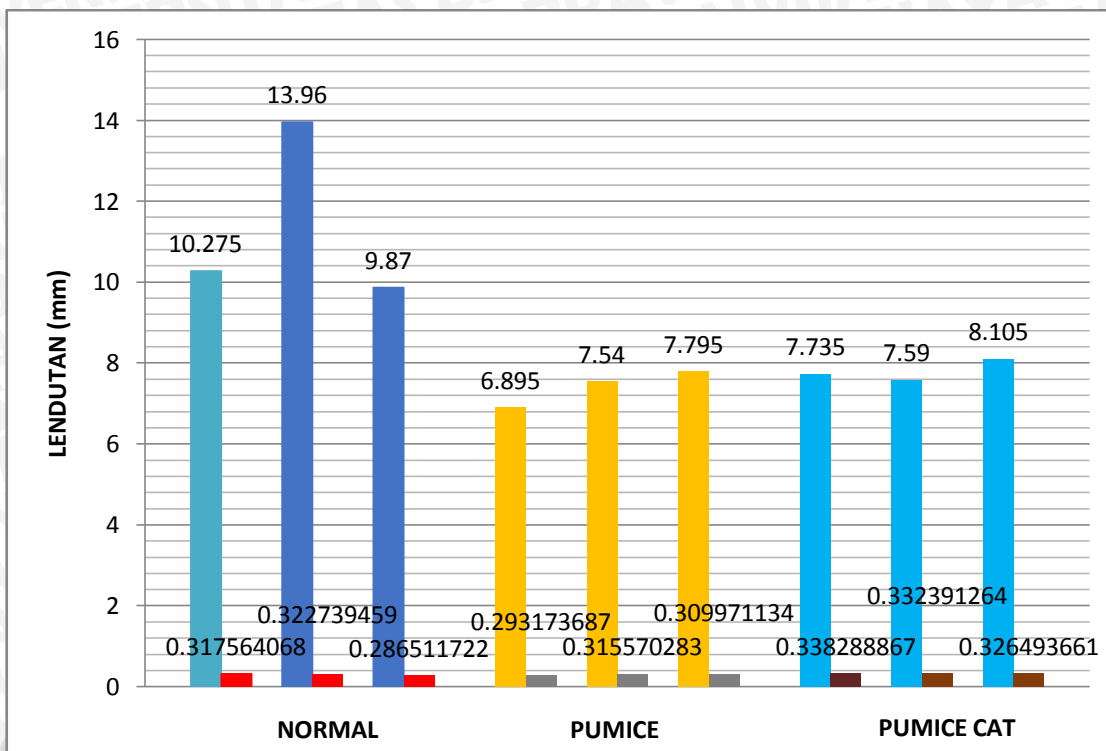
$$\Delta D = MD' = \frac{8}{786} \frac{Pl^3}{EI}$$

Hasil perhitungan lendutan yang terjadi berdasarkan perhitungan teoritis dibandingkan dengan lendutan dari hasil pembacaan LVDT. Nilai perbandingan tersebut dihitung dengan menggunakan rumus:

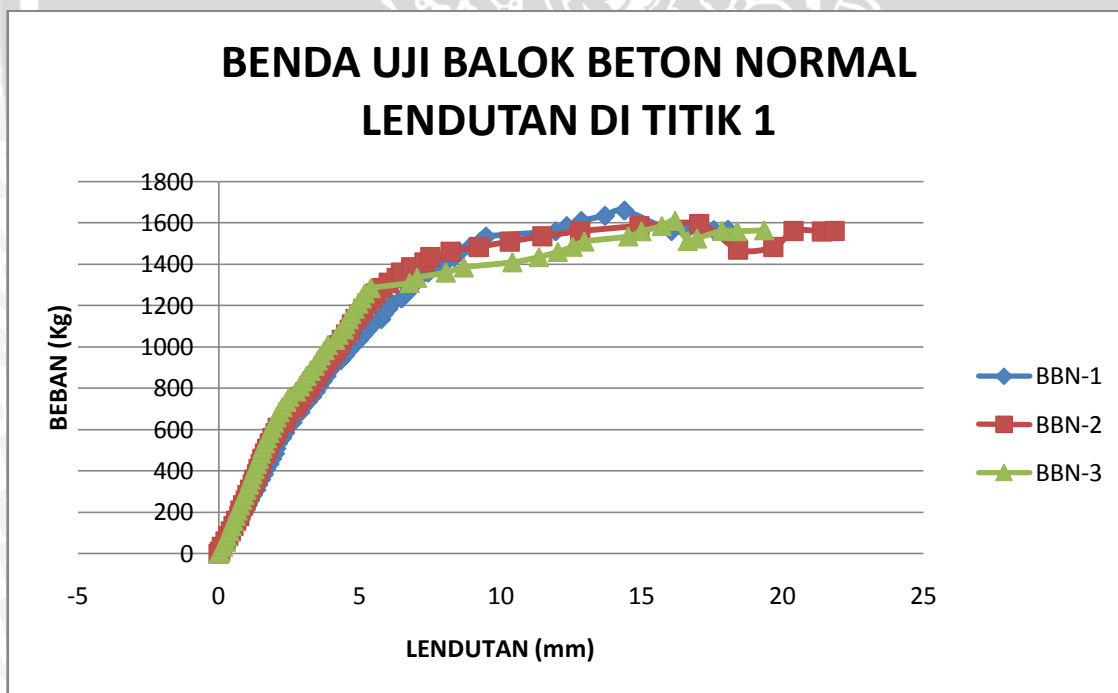
$$\rho_{\Delta} = \frac{P \Delta \text{ aktual} - P \Delta \text{ teoritis}}{P \Delta \text{ aktual}}$$

Tabel 4.18 Perbandingan antara Lendutan Maksimum teoritis dengan Hasil Eksperimen

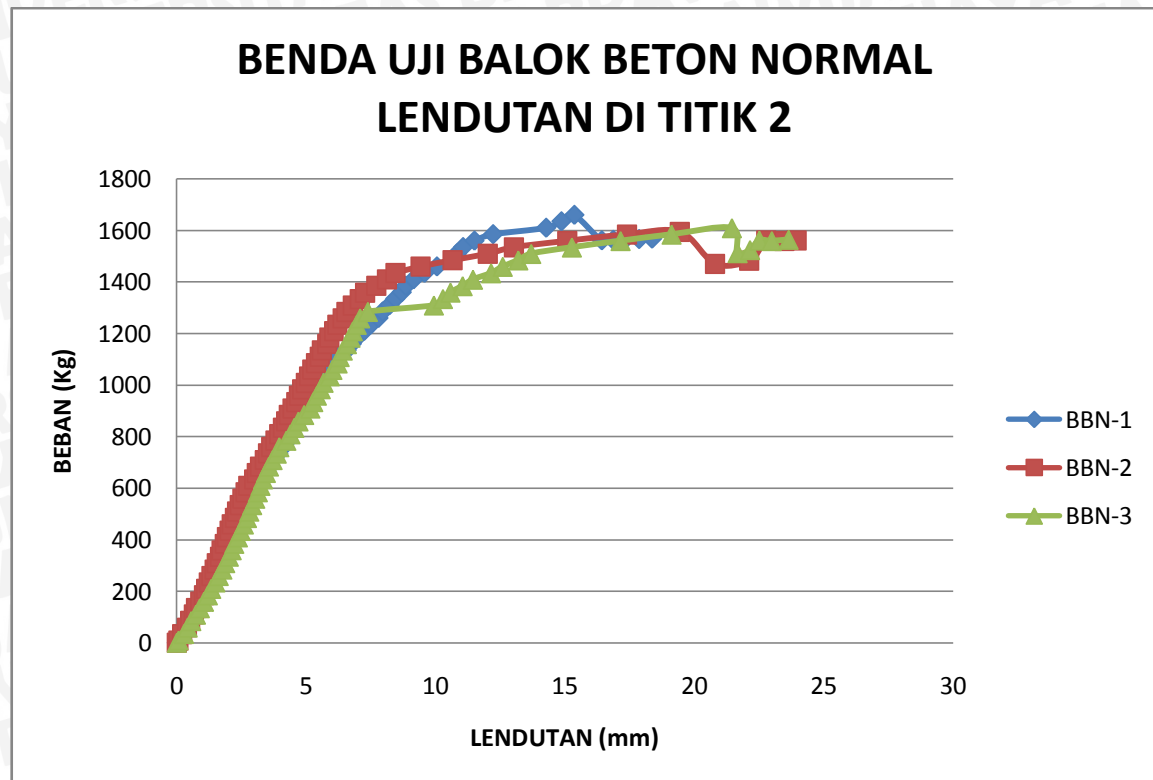
Benda uji	Beban Maks. (kg)	Lendutan Aktual Rata-rata (mm)	Lendutan Teoritis (mm)	Perbandingan Selisih
BBN-1	1534,01	10,275	0,317564068	0,969093521
BBN-2	1559,01	13,96	0,322739459	0,976881128
BBN-3	1384,01	9,87	0,286511722	0,970971457
BBP-1	1309,01	6,895	0,293173687	0,957480248
BBP-2	1409,01	7,54	0,315570283	0,958147177
BBP-3	1384,01	7,795	0,309971134	0,96023462
BBPC-1	1434,01	7,735	0,338288867	0,956265176
BBPC-2	1409,01	7,59	0,332391264	0,956206685
BBPC-3	1384,01	8,105	0,326493661	0,959717007



Gambar 4.13 Perbandingan antara Lendutan Maksimum teoritis dengan Hasil Eksperimen

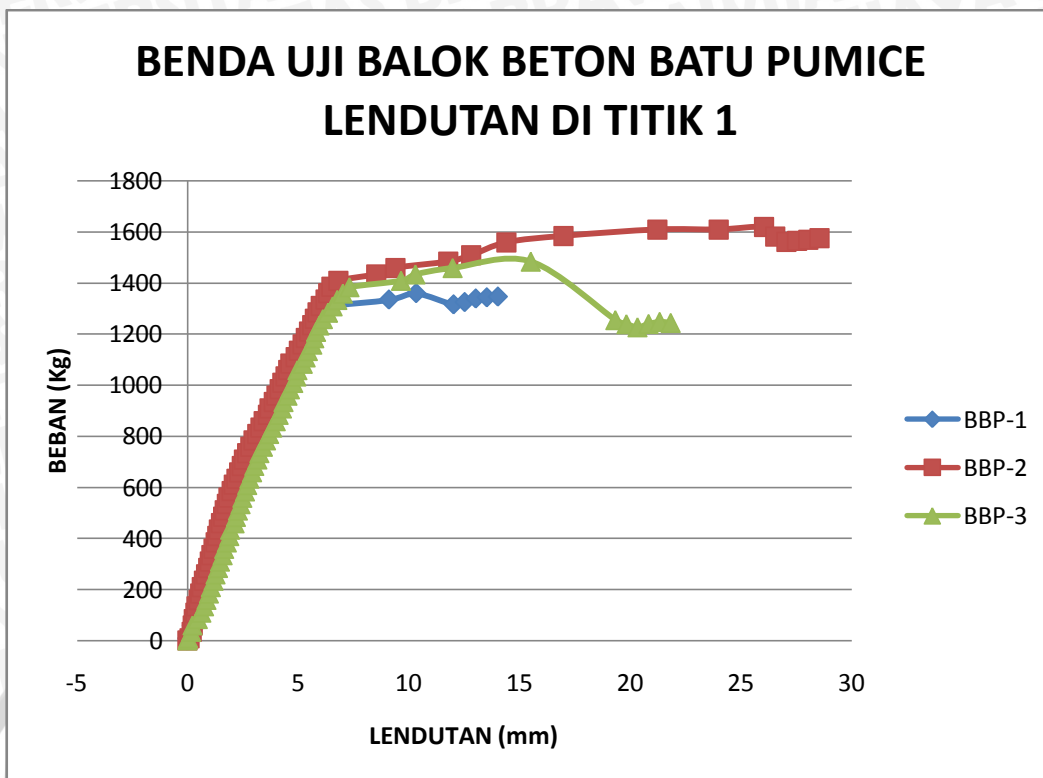


Gambar 4.14 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji Beton Normal

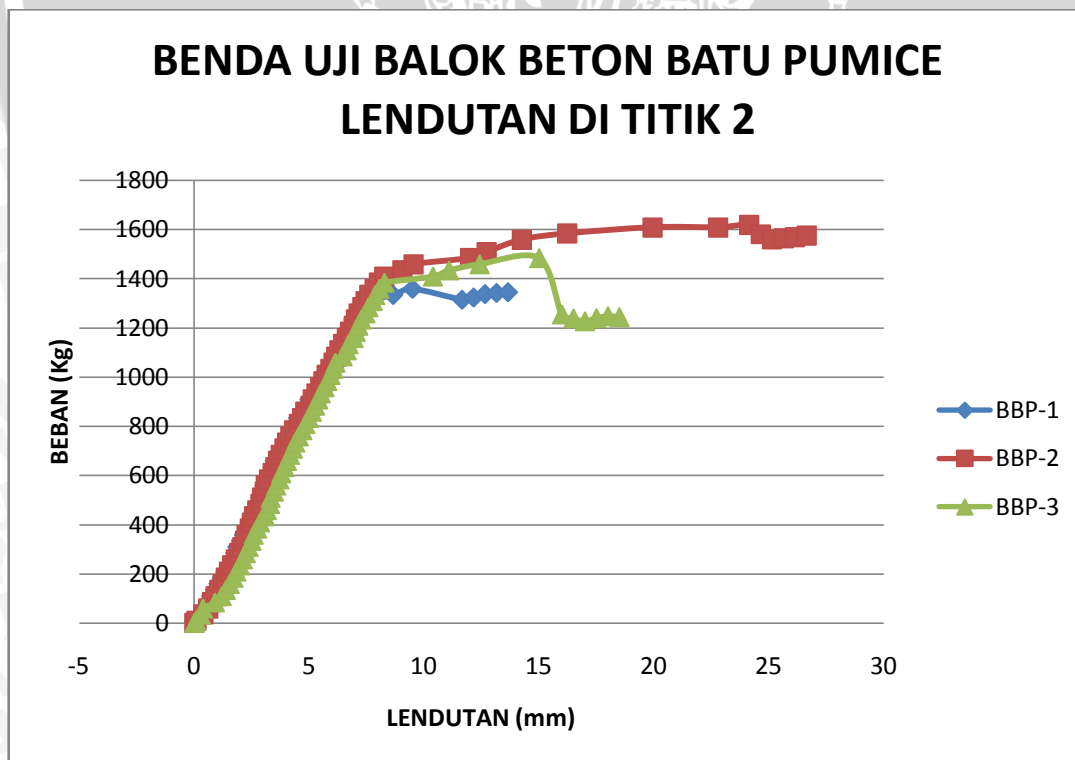


Gambar 4.15 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Beton Normal

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji balok beton normal. Benda uji BBN-1 dapat menahan beban maksimum sebesar 1534,01 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif lebih besar dibandingkan dengan dua balok yang lainnya pada titik 1 sedangkan pada titik 2 sudut kemiringan awal grafik hampir sama dengan sudut kemiringan benda uji BBN-2. Benda uji BBN-2 dapat menahan beban maksimum sebesar 1559,01 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif lebih kecil dibandingkan dengan balok BBN-1 dan BBN-3 pada titik 1 sedangkan pada titik 2 sudut kemiringan awal grafik lebih besar dibandingkan sudut kemiringan grafik BBN-1 dan BBN-3. Benda uji BBN-3 dapat menahan beban maksimum sebesar 1384,01 kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih kecil dibandingkan dengan BBN-1 dan BBN-2 pada titik 1 sedangkan pada titik 2 sudut kemiringan awal grafik hampir sama dengan BBN-1 dan lebih besar dari BBN-2.

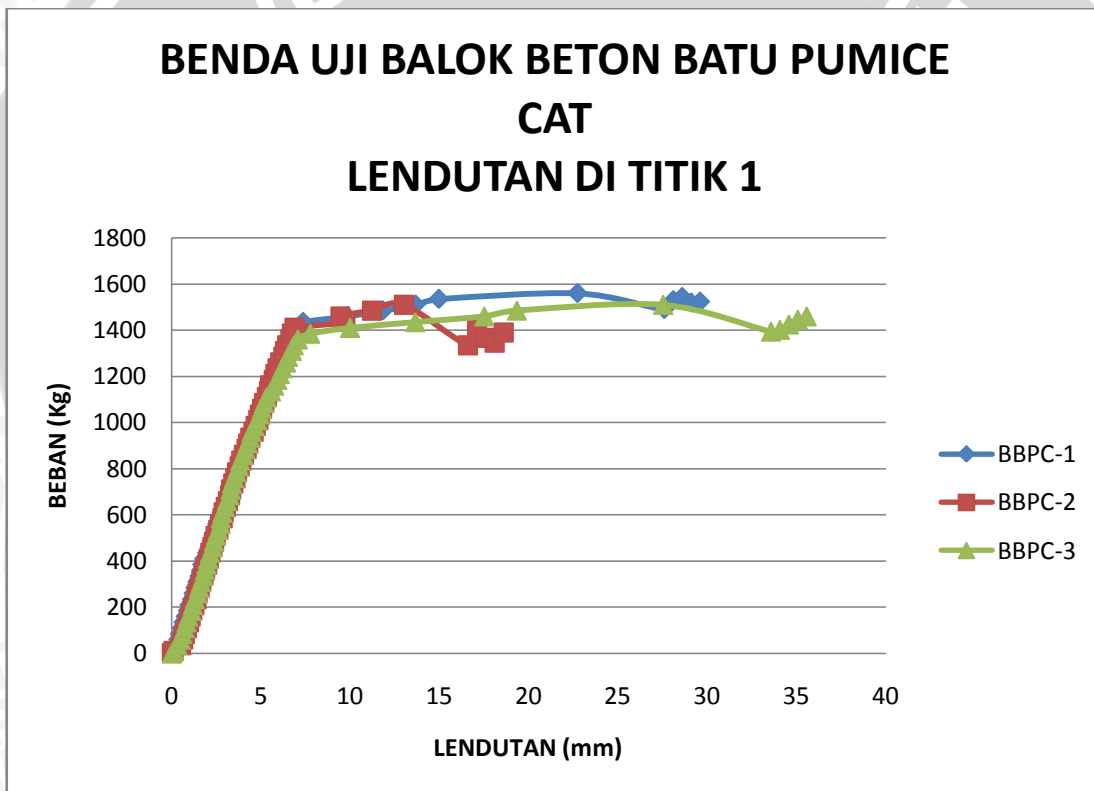


Gambar 4.16 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji Beton Pumice



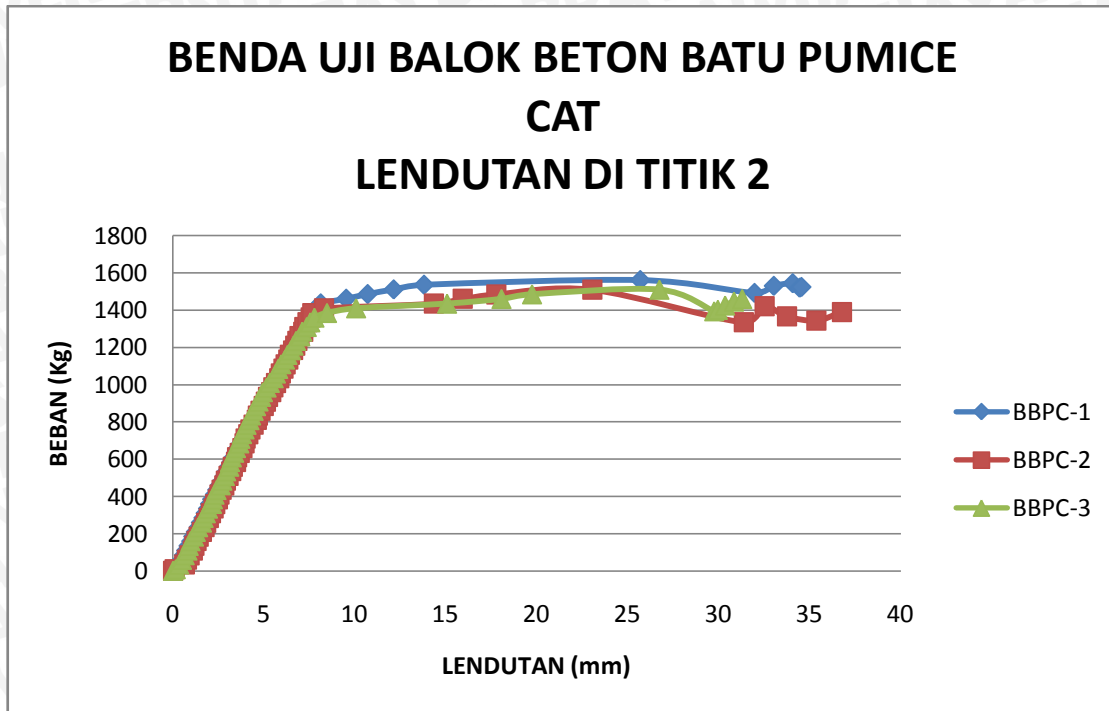
Gambar 4.17 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Beton Pumice

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji balok beton normal. Benda uji BBP-1 dapat menahan beban maksimum sebesar 1309,01 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif hampir sama dengan BBP-2 dan lebih besar dibanding BBP-3 pada titik 1 sedangkan pada titik 2 sudut kemiringan awal grafik lebih besar dengan sudut kemiringan benda uji BBP-2 dan BBP-3. Benda uji BBN-2 dapat menahan beban maksimum sebesar 1409,01 kg dan sudut kemiringan awal grafik relatif hampir sama dengan BBP-2 dan lebih besar dibanding BBP-3 pada titik 1 sedangkan pada titik 2 sudut kemiringan awal grafik lebih besar dibandingkan sudut kemiringan grafik BBP-3 dan lebih kecil dari BBP-1. Benda uji BBP-3 dapat menahan beban maksimum sebesar 1434,01kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih kecil dibandingkan dengan BBP-1 dan BBP-2 pada titik 1 maupun titik 2



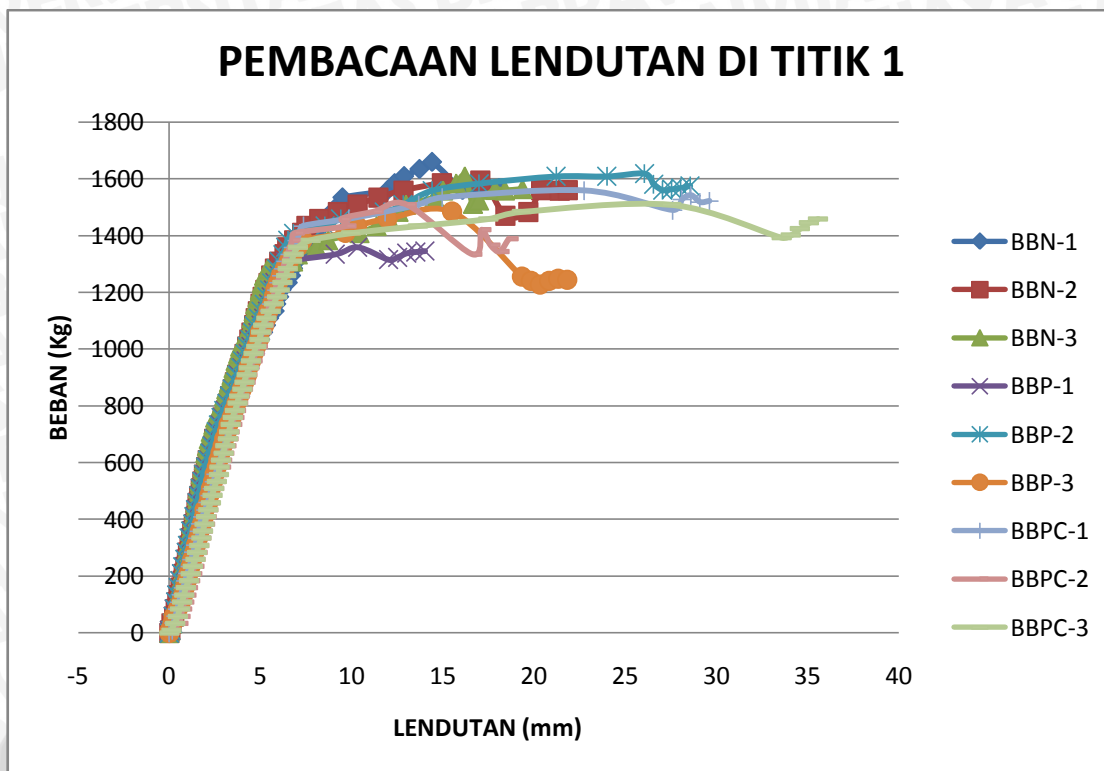
Gambar 4.18 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1 untuk Benda Uji

Beton Pumice Cat

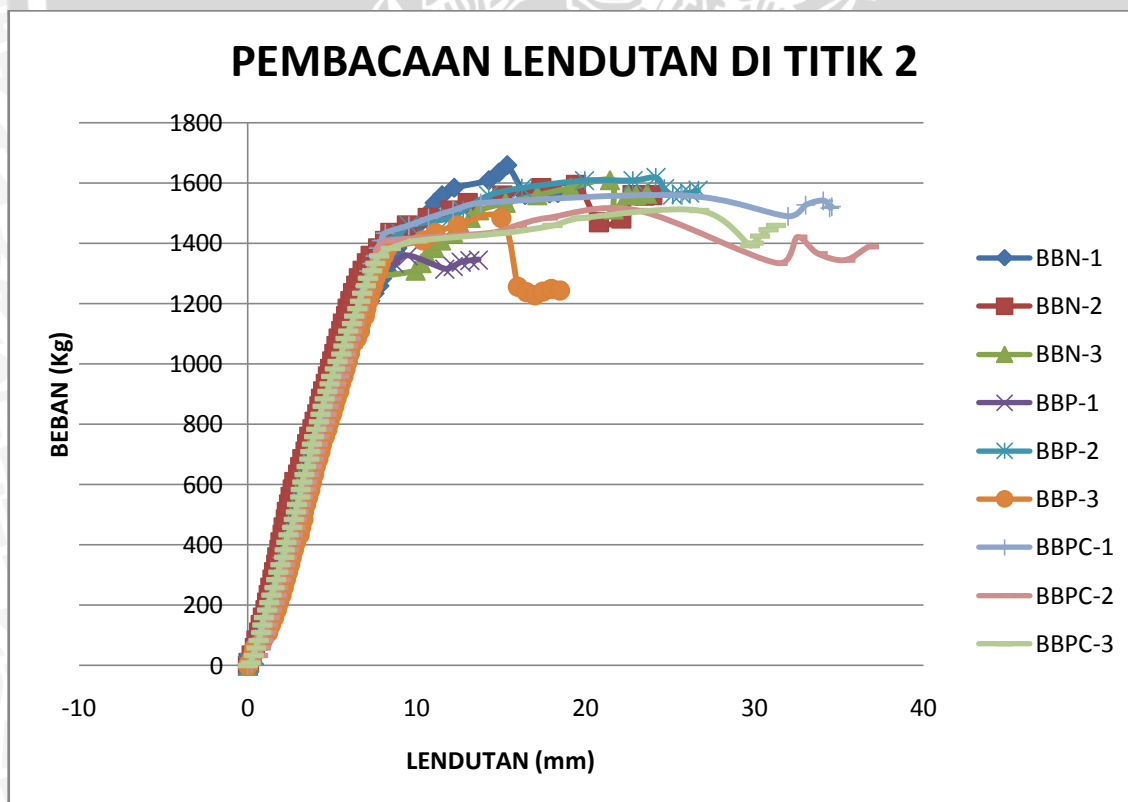


Gambar 4.19 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2 untuk Benda Uji Beton Pumice Cat

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan grafik hubungan antara beban dengan lendutan dari benda uji balok beton normal. Benda uji BBPC-1 dapat menahan beban maksimum sebesar 1434,01 kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih besar dibandingkan BBPC-2 dan BBPC-3 pada titik 1 dan titik 2. Benda uji BBN-2 dapat menahan beban maksimum sebesar 1409,01 kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih kecil dibandingkan BBPC-1 dan BBPC-3 pada titik 1 maupun titik 2. Benda uji BBP-3 dapat menahan beban maksimum sebesar 1384,01kg dan sudut kemiringan awal grafik lebih kecil dibandingkan dengan BBPC-1 dan lebih besar dibandingkan BBPC-2 pada titik 1 maupun titik 2.



Gambar 4.20 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 1



Gambar 4.21 Grafik Hubungan Beban dan Lendutan di Titik 2

4.10 Analisa Kekakuan Balok

Pada dasarnya hubungan beban dan lendutan dari balok beton bertulang dapat diidealisasikan menjadi bentuk tiga garis lurus. Hubungan tiga garis lurus ini meliputi tiga tahap sebelum terjadinya kondisi runtuh. Tiga tahap tersebut antara lain tahap praretak di mana elemen struktural masih belum retak, tahap pascaretak di mana elemen struktural sudah mengalami retak namun masih dapat ditoleransi, dan tahap pasca-*serviceability* di mana tulangan tarik pada elemen struktural tersebut sudah mencapai tegangan leleh. Kekakuan merupakan perbandingan antara beban dengan lendutan pada saat plat beton dalam keadaan elastis penuh atau dapat diidentifikasi sebagai kemiringan garis grafik hubungan beban dan lendutan pada tahap praretak.

4.10.1 Perhitungan Kekakuan Secara Teoritis

Pada tahap praretak dari grafik hubungan antara beban lendutan merupakan garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Kekakuan balok beton ini dapat diestimasi dengan menggunakan teori sistem komposit dengan menggunakan modulus elastisitas dari beton (E_c), modulus elastisitas tulangan baja (E baja), dan momen inersia penampang komposit.

Untuk menghitung momen inersia penampang (I) diperlukan peninjauan terhadap luas tulangan (A_s). Pada dasarnya perhitungan momen inersia penampang pada sistem komposit dilakukan dengan cara mengasumsikan penampang menjadi satu jenis material. Pemilihan jenis material penampang ini berdasarkan nilai modulus elastisitas dari material penyusun kompositnya. Karena besar modulus elastisitas dari beton (E_c) lebih kecil dari modulus elastisitas tulangan (E baja), maka dilakukan perhitungan momen inersia penampang dengan cara mengganti luas baja dengan luas beton.

Diketahui,

$$A_s = 101 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 101 \text{ mm}^2$$

$$d = 130 \text{ mm}$$

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

$$E_c \text{ beton normal} = 17481,22 \text{ Mpa}$$

$$E_c \text{ beton pumice} = 16158,2 \text{ Mpa}$$

$$E_c \text{ beton pumice cat} = 15340,5 \text{ Mpa}$$

Penyelesaian

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton normal}}}$$

$$n = \frac{200000}{17481,22}$$

$$\sqrt{n} = 11,44085$$

$$A = b \cdot h + (n - 1) \cdot A_s + (n - 1) \cdot A_s'$$

$$A = 100 \cdot 150 + (11,44085 - 1) \cdot 101 + (11,44085 - 1) \cdot 101$$

$$A = 17109,0517 \text{ mm}^2$$

Dimensi penampang baru dengan asumsi tinggi tetap 150 mm akan menjadi

$$A = b \cdot h$$

$$17109,0517 = b \cdot 150$$

$$b = 114,06 \text{ mm}$$

Sehingga momen inersia penampang balok beton normal (I_1) sebesar:

$$I = \frac{1}{12} b \cdot h^3$$

$$I_1 = \frac{1}{12} 114,06 \cdot 150^3$$

$$I_1 = 32079472 \text{ mm}^4$$

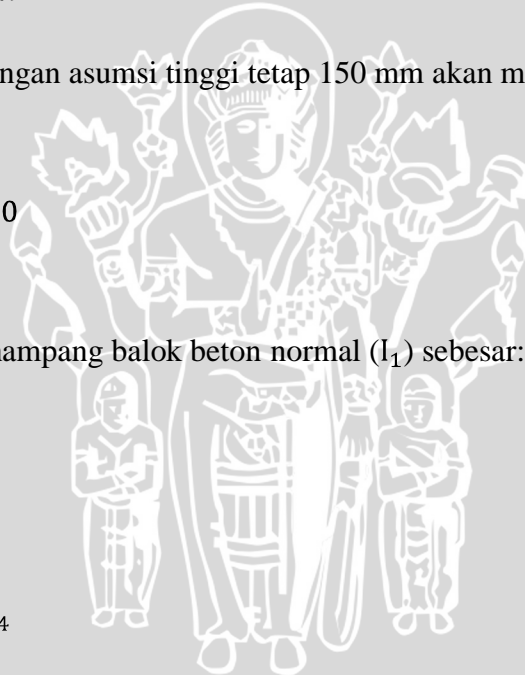
Sedangkan untuk penampang balok beton pumice:

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton pumice}}}$$

$$n = \frac{200000}{16158,2}$$

$$\sqrt{n} = 12,377619$$

$$A = b \cdot h + (n - 1) \cdot A_s + (n - 1) \cdot A_s'$$



$$A = 100.150 + (12,377619 - 1). 101 + (12,377619 - 1). 101$$

$$A = 17298,28 \text{ mm}^2$$

Dimensi penampang baru dengan asumsi tinggi tetap 150 mm akan menjadi

$$A = b. h$$

$$17298,28 = b. 150$$

$$b = 115,3219 \text{ mm}$$

Sehingga momen inersia penampang balok beton pumice (I_2) sebesar:

$$I = \frac{1}{12} b. h^3$$

$$I_2 = \frac{1}{12} 115,3219. 150^3$$

$$I_2 = 32434273 \text{ mm}^4$$

Sedangkan untuk penampang balok beton pumice cat:

$$n = \frac{E_{baja}}{E_{beton\ pumice\ cat}}$$

$$n = \frac{200000}{15340,5}$$

$$n = 13,0374$$

$$A = b. h + (n - 1). A_s + (n - 1). A_s'$$

$$A = 100.150 + (13,0374 - 1). 101 + (13,0374 - 1). 101$$

$$A = 17431,55 \text{ mm}^2$$

Dimensi penampang baru dengan asumsi tinggi tetap 150 mm akan menjadi

$$A = b. h$$

$$17431,55 = b. 150$$

$$b = 116,2104 \text{ mm}$$

Sehingga momen inersia penampang balok beton pumice cat (I_3) sebesar:

$$I = \frac{1}{12} b. h^3$$

$$I_3 = \frac{1}{12} 116,2104. 150^3$$

$$I_3 = 32684161 \text{ mm}^4$$

Kemudian kekakuan dapat dihitung dengan memasukkan nilai modulus elastisitas dan momen inersia penampang ke dalam rumus defleksi dengan kondisi tumpuan sendi-rol dan beban terpusat di seperempat bentang bentang. Nilai kekakuan balok beton normal adalah:

$$\Delta = \frac{8 \cdot P \cdot l^3}{768 \cdot EI_1}$$

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

$$k_1 = \frac{768 \cdot EI_1}{8 \cdot l^3}$$

$$k_1 = \frac{768 \cdot 17481,22 \cdot 32079472}{8 \cdot 1000^3}$$

$$k_1 = 53835,667 \text{ N/mm} = 5383,5677 \text{ kg/mm}$$

Dan nilai kekakuan balok beton pumicesebesar:

$$\Delta = \frac{8 \cdot P \cdot l^3}{768 \cdot EI_2}$$

$$k_2 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_2 = \frac{768 \cdot EI_2}{8 \cdot l^3}$$

$$k_2 = \frac{768 \cdot 16158,2 \cdot 32434273}{8 \cdot 1000^3}$$

$$k_2 = 50311,619 \text{ N/mm} = 5031,1619 \text{ kg/mm}$$

Dan nilai kekakuan balok beton pumice cat sebesar:

$$\Delta = \frac{8 \cdot P \cdot l^3}{768 \cdot EI_3}$$

$$k_3 = \frac{P}{\Delta}$$

$$k_3 = \frac{768 \cdot EI_3}{8 \cdot l^3}$$

$$k_3 = \frac{768 \cdot 15340,5 \cdot 32684161}{8 \cdot 1000^3}$$

$$k_3 = 48133,557 \text{ N/mm} = 4813,3557 \text{ kg/mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis, didapatkan nilai kekakuan balok beton normal sebesar 5383,5677 kg/mm sedangkan nilai kekakuan balok beton pumice sebesar 5031,1619 kg/mm dan nilai kekakuan balok beton pumice cat sebesar 4813,3557 kg/mm. Kemudian dihitung perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice, dan dihitung perbandingan selisih antara balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice cat, serta dihitung perbandingan selisih kekakuan balok beton pumice dengan nilai kekakuan balok beton pumice cat menggunakan rumus:

$$\rho_{k1} = \frac{k_1 - k_2}{k_2} \times 100\%$$

$$\rho_{k1} = \frac{5383,5677 - 5031,1619}{5031,1619} \times 100\%$$

$$\rho_{k1} = 7,0044 \%$$

$$\rho_{k2} = \frac{k_1 - k_3}{k_3} \times 100\%$$

$$\rho_{k2} = \frac{5383,5677 - 4813,3557}{4813,3557} \times 100\%$$

$$\rho_{k2} = 11,84646 \%$$

$$\rho_{k3} = \frac{k_2 - k_3}{k_3} \times 100\%$$

$$\rho_{k3} = \frac{5031,1619 - 4813,3557}{4813,3557} \times 100\%$$

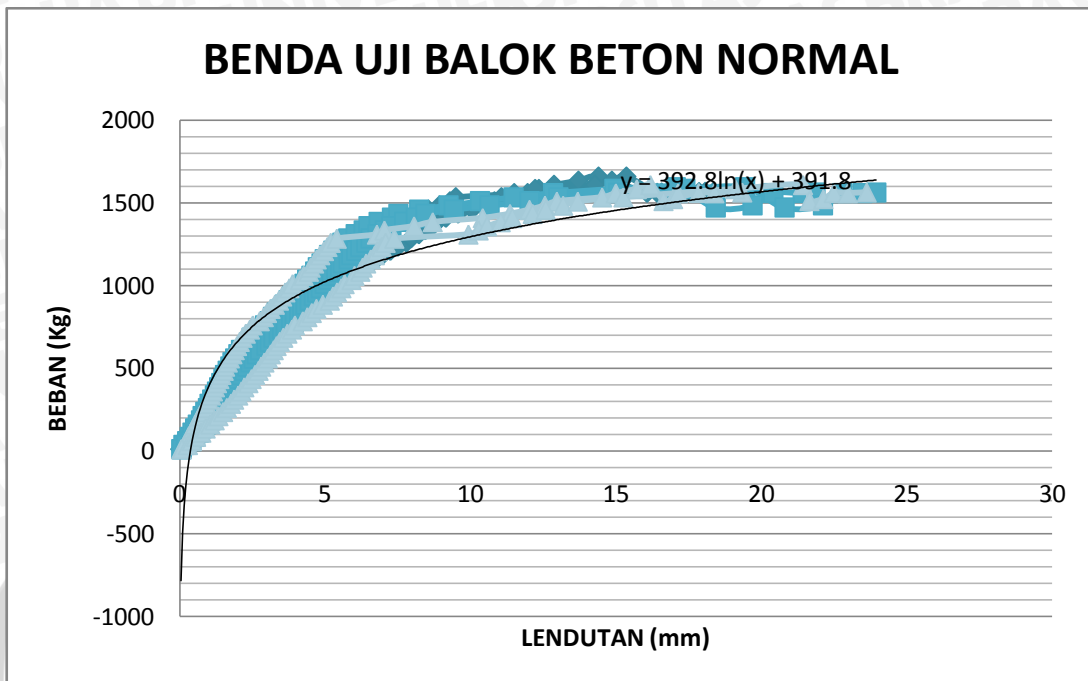
$$\rho_{k3} = 4,525037 \%$$

Sehingga didapat nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice sebesar 7,0044%, dan nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice cat sebesar 11,84646 %, serta nilai perbandingan selisih antara kekakuan balok beton pumice dengan kekakuan balok beton pumice cat sebesar 4,525037%.

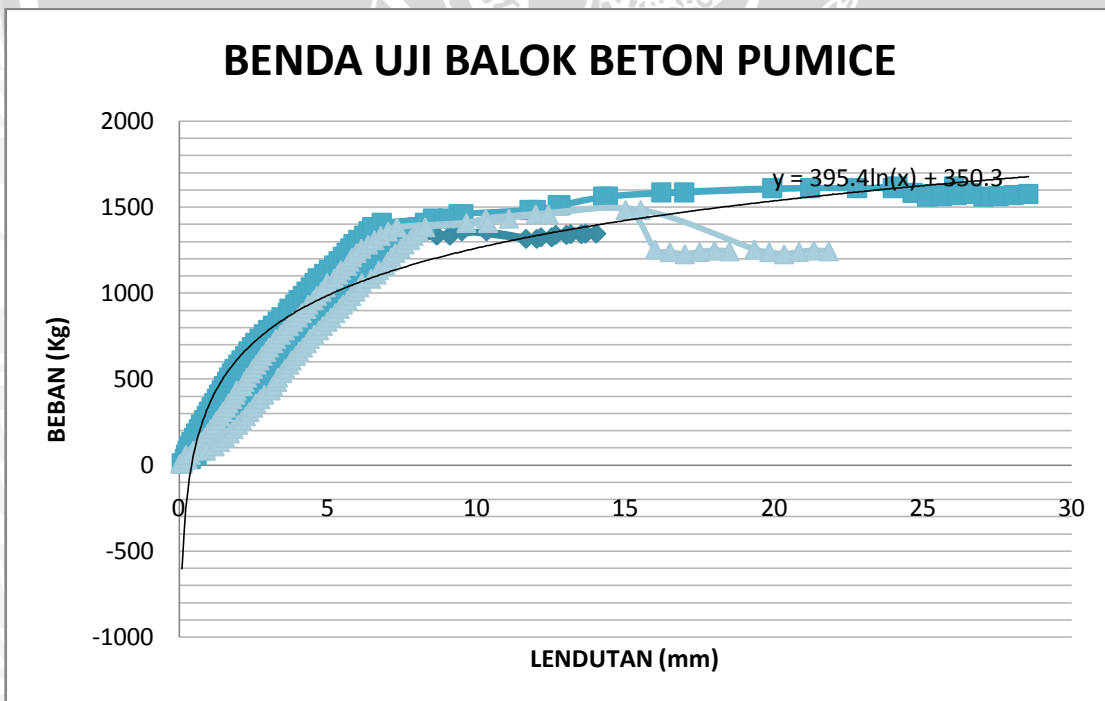
4.10.2 Perhitungan Kekakuan Secara Eksperimen

Kekakuan merupakan perbandingan antara beban dengan lendutan pada saat balok beton dalam keadaan elastis penuh atau dapat diidentifikasi sebagai kemiringan garis grafik hubungan beban dan lendutan pada tahap praretak. Dari hasil perhitungan

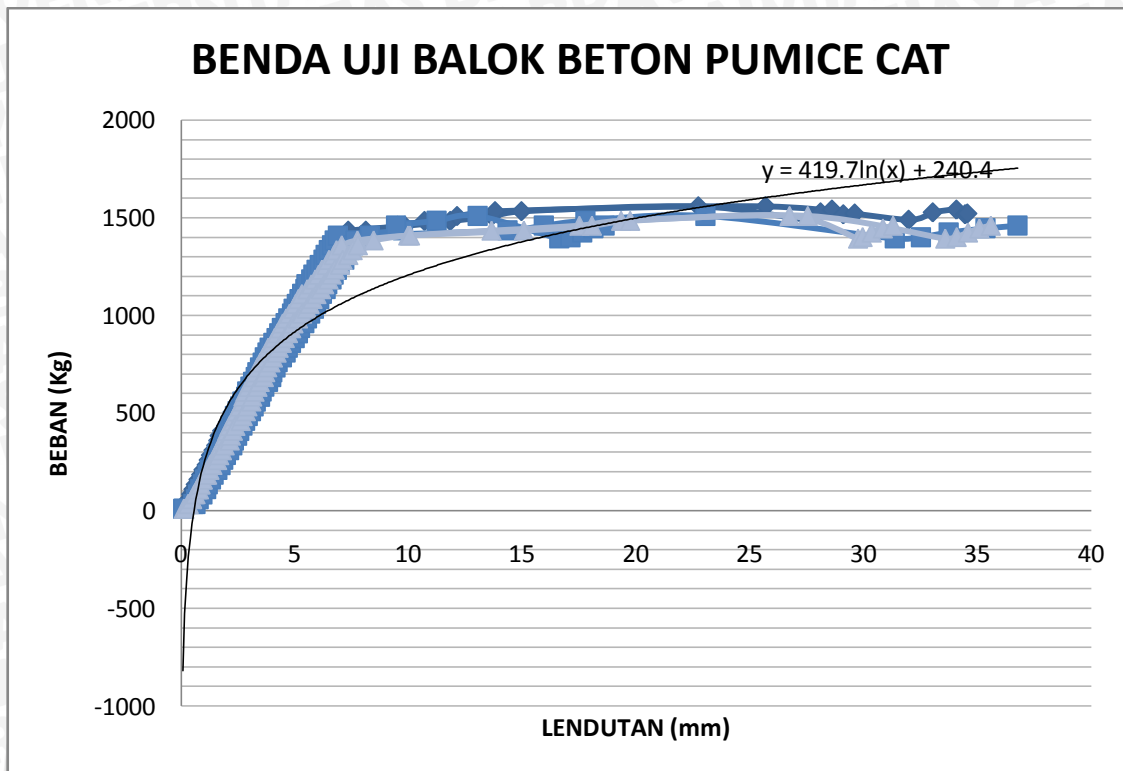
kekakuan plat beton berdasarkan hasil penelitian dipresentasikan dalam bentuk tabel berikut:



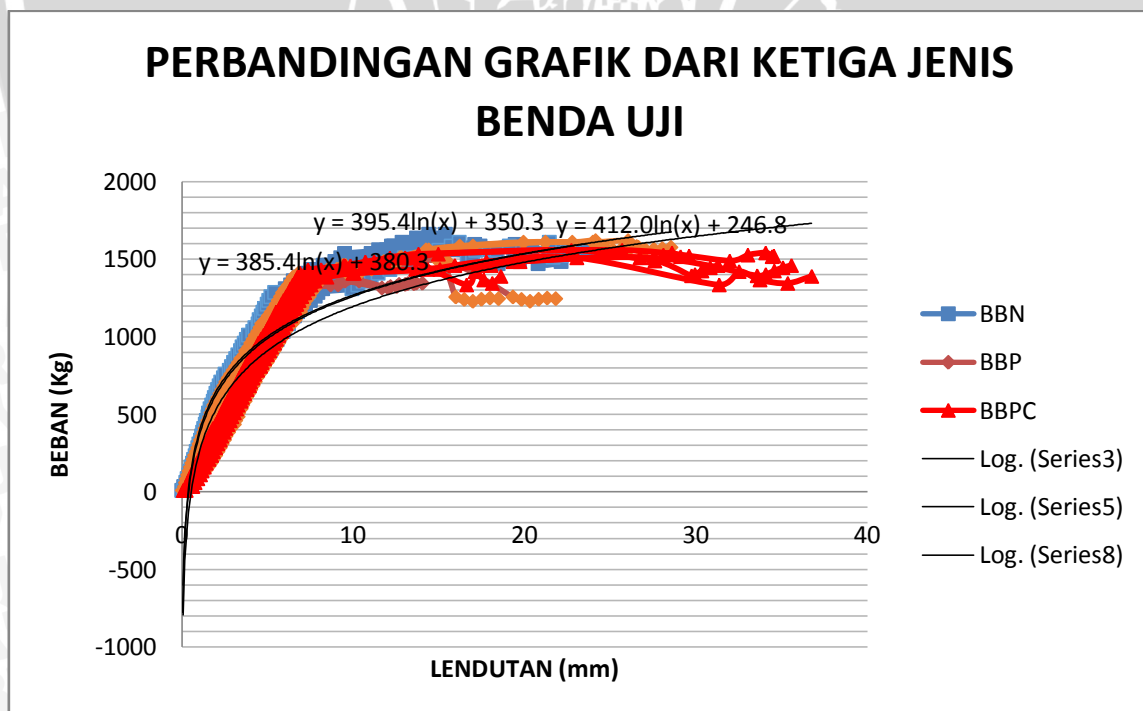
Gambar 4.22 Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Balok Beton Normal



Gambar 4.23 Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Balok Beton Pumice



Gambar 4.24 Grafik Regresi Hubungan Beban dan Lendutan Untuk Benda Uji Balok Beton Pumice Cat



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Regresi Hubungan Beban dan Lendutan dari Ketiga Jenis Benda Uji

Dari grafik tersebut dapat dilihat perbandingan regresi hubungan beban dan lendutan dari ketiga jenis benda uji. Kurva regresi logaritma pada grafik tersebut didapatkan dari program *Microsoft Excel* dengan menggunakan *trendline*. Kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok normal sedikit lebih besar daripada kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok beton pumice dan balok beton pumice cat, dan kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok pumice sedikit lebih besar daripada kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok beton normal dan lebih kecil dari pada kemiringan awal regresi untuk balok beton pumice cat, serta kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok pumice cat sedikit lebih besar daripada kemiringan awal grafik regresi untuk benda uji balok beton pumice dan balok beton normal. Sehingga berdasarkan grafik tersebut dapat dinyatakan kekakuan balok beton normal sedikit lebih besar daripada balok beton pumice dan balok beton pumice cat.

Tabel 4.19Perbandingan antara Kekakuan teoritis dengan Hasil Eksperimen

Nama Benda Uji	P Maks. Aktual (kg)	Kekakuan (kg/mm)	Rata-Rata Kekakuan Aktual (kg/mm)	Kekakuan Teoritis (kg/mm)
BBN-1	1534,01	201,79	213,9202	5383,56774
BBN-2	1559,01	225,942		
BBN-3	1384,01	214,024		
BBP-1	1309,01	196,763	187,287	5031,161853
BBP-2	1409,01	191,923		
BBP-3	1384,01	173,174		
BBPC-1	1434,01	185,181	179,406	4813,355714
BBPC-2	1409,01	174,787		
BBPC-3	1384,01	178,249		

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui rata-rata kekakuan balok beton normal adalah sebesar 213,9202 kg/mm, sedangkan rata-rata kekakuan balok beton pumice adalah sebesar 187,287 kg/mm, dan rata-rata kekakuan balok beton pumice cat sebesar 179,406 kg/mm . Sehingga dapat diketahui bahwa balok beton normal memiliki kekakuan lebih besar dibanding balok beton pumice dan balok beton pumice cat, serta nilai kekakuan balok beton pumice lebih besar dibandingkan dengan balok beton pumice cat. Namun perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice tidak begitu besar, yakni sebesar 14,221%, dan perbandingan selisih antara kekakuan balok beton normal dengan kekakuan balok beton pumice cat tidak begitu besar,

yakni sebesar 19,238%, dan perbandingan selisih antara kekakuan balok beton pumice dengan kekakuan balok beton pumice cat tidak begitu besar, yakni sebesar 4,393%,

Nilai kekakuan balok beton dari hasil perhitungan teoritis memiliki nilai yang lebih besar daripada dari hasil pengujian eksperimen. Berdasarkan hasil perhitungan teoritis nilai kekakuan balok beton normal sebesar 5383,5677 kg/mm dan teoritis nilai kekakuan balok beton dengan pumice sebesar 5031,1619 kg/mm, serta teoritis nilai kekakuan balok beton dengan pumice cat sebesar 4813,3557 kg/mm. Sedangkan berdasarkan hasil uji eksperimen nilai kekakuan balok beton normal sebesar 213,9202 kg/mm dan teoritis nilai kekakuan balok beton dengan pumice sebesar 187,287 kg/mm, serta teoritis nilai kekakuan balok beton dengan pumice cat sebesar 179,406 kg/mm. Hal ini disebabkan pada perhitungan struktur balok ini dianggap balok bersifat monolit, sedangkan pada pelaksanaan eksperimen perencanaan struktur balok ini tidak dapat dipastikan bersifat monolit, dan pada saat pelaksanaan eksperimen mutu beton tidak sesuai dengan mutu yang direncanakan serta pada saat eksperimen pelapisan cat pada batu pumice dapat mempengaruhi ikatan antara mortar dengan agregat tidak seperti ikatan yang terjadi pada balok beton dengan batu pumice tanpa pelapisan cat. Selain itu pada saat perawatan beton benda uji mendapat tekanan dari gaya luar sehingga terjadi penurunan mutu beton yang seharusnya pada saat waktu perawatan beton seharusnya terbebas dari gaya luar agar beton mencapai mutu yang diharapkan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap penelitian tentang pengaruh penambahan cat pada agregat kasar batu pumice terhadap kekakuan balok beton bertulang dua tumpuan, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

- a. Balok beton batu pumice dengan penambahan cat memiliki berat volume yang lebih kecil dibandingkan dengan balok beton batu pumice tanpa penambahan cat.
- b. Balok beton batu pumice dengan penambahan cat dapat menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan balok beton batu pumice tanpa penambahan cat.
- c. Dari pengujian eksperimen dan perhitungan secara teoritis balok beton batu pumice dengan penambahan cat menghasilkan lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan balok beton tanpa penambahan cat namun perbedaan antara keduanya tidak signifikan.
- d. Dari pengujian eksperimen dan perhitungan secara teoritis balok beton batu pumice dengan penambahan cat menghasilkan kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan balok beton tanpa penambahan cat namun perbedaan antara keduanya tidak signifikan.
- e. Pada perhitungan secara teoritis maupun percobaan eksperimen terdapat perbedaan. Selisih asumsi teoritis perlu di kaji ulang.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil hasil yang diperoleh dari penelitian yang sudah dilakukan maka peneliti dapat memberi saran sebagai berikut:

- a. Penggunaan cat sebagai pelapis pada agregat kasar batu pumice perlu dilakukan kajian ulang. Hal tersebut di karenakan hasil yang diperoleh untuk lendutan tidak lebih besar dibandingkan dengan balok beton pumice tanpa penambahan cat.
- b. Hasil kekakuan yang lebih besar oleh balok beton dengan penambahan cat pada batu pumice perlu di kaji lebih mendalam, hal ini berkaitan dengan fungsi

- c. penambahan cat pada batu pumice sebagai pengganti agregat kasar pada balok beton.
- d. Balam pengamatan dapat digunakan 3 *LVDT* yaitu pada tengah bentang, sisi kanan, sisi kiri bentang. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan hasil pengamatan lendutan yang mendekati nilai lendutan pada perhitungan teoritis.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI *Manual of Concrete Practice*, part 1. 1993:213R-87
- Badan Standarisasi Nasional. 1996, *Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Debebani Terpusat Langsung (SNI 03-4154-1996)*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural (SNI 03-24612002)*. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 2008, *Cara Uji Berat Isi Beton Ringan Struktural (SNI 3402:2008)*, Jakarta.
- Bideci, Alper ., Haydar Gultekin, Ali., Yildirim, Hasan., Oymael, Sabit., Salli Bideci, Ozlem, Polymer coated pumice and their properties, Science Direct, 2014
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002, *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan (SK SNI-T-03-3449-2002)*, Jakarta.
- Dipohusodo, Istimawan, *Struktur Beton Bertulang*, Badan LITBANG PU, 1993.
- Goeffrey N., Mang'uriu, Mutku R.N., Oyawa W.O., Aboudha S.O. 2012. Properties of lightweight Aggregate. *Jurnal Civil and Environmental Research*. Vol 2: No. 10.
- Grasser, Klaus, Gernot Minke. 1990. *Building With Pumice*, Penerbit Langericher Handelsdruckerei, Lengerich.
- Green, S., Nicholas B., Len M. *Pumice Aggregates for Structural Lightweight And Internally Cured Concretes*.
- Muhammad, Ujianto, LENDUTAN DAN KEKAKUAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN LUBANG SEGI EMPAT DI BADAN, *Jurnal eco REKAYASA*, Teknik Sipil UMS, 2006.
- Mulyono, Tri. 2004, *Teknologi Beton*, First Edition. Yogyakarta:Andi
- Murdock, L.J, K.M Brook dan Stephanus Hendarko. 1999, *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi Keempat. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Nawy, E.G., *Prestressed Concrete-A Fundamental Approach*, Prentice Hall International, 1995
- Nurlina, Siti. 2011, *Teknologi Bahan I*. Malang: Bargie Media
- Nurlina, Siti, *Struktur Beton*, Bargie Media, 2008.
- Pusat Penelitian & Pengembangan Teknologi Mineral Dan Batubara, 2005
- SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.

LAMPIRAN I

Pemeriksaan dan Analisa 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 :

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

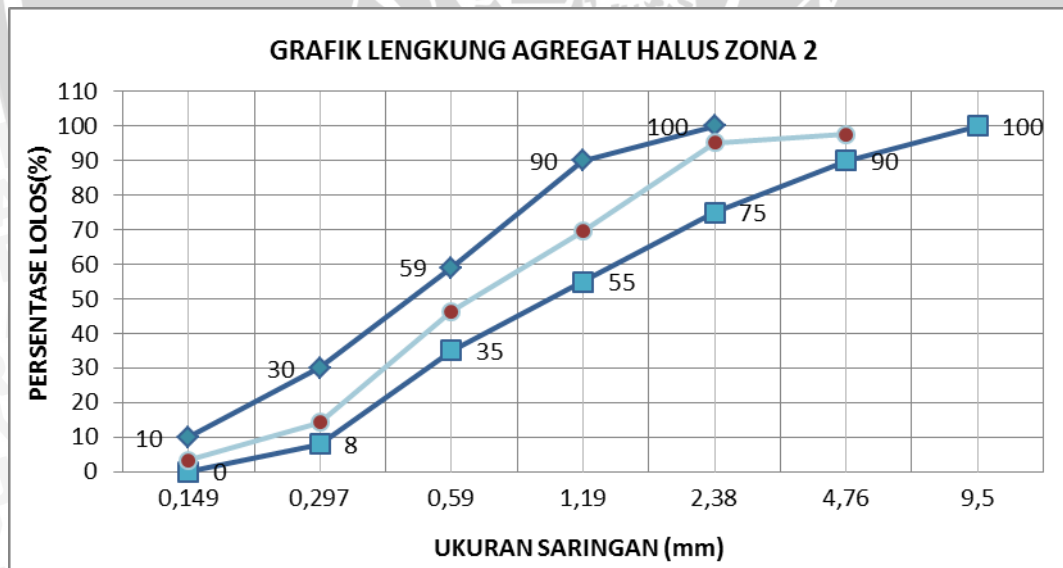
Catatan : Standar ASTM C33-90. Modulus kehalusan agregat halus: 2,3 – 3,1

Modulus kehalusan = $259,55/100 = 2,5955$

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:



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 dimasukkan kedalam seri ayakan yang telah disusun sedemikian sehingga ayakan yang berukuran lebih 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 :

Gradasi Agregat Kasar Batu Kerikil :

Lubang Saringan		Agregat Kasar				ASTM C-33
		Tertinggal		%Kumulatif		No 4 - No 3/4
no	mm	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	-
$\Sigma =$		9877,2	100,0		

Sumber : Hasil Penelitian

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

Modulus kehalusan = $799/100 = 7,99$

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 %

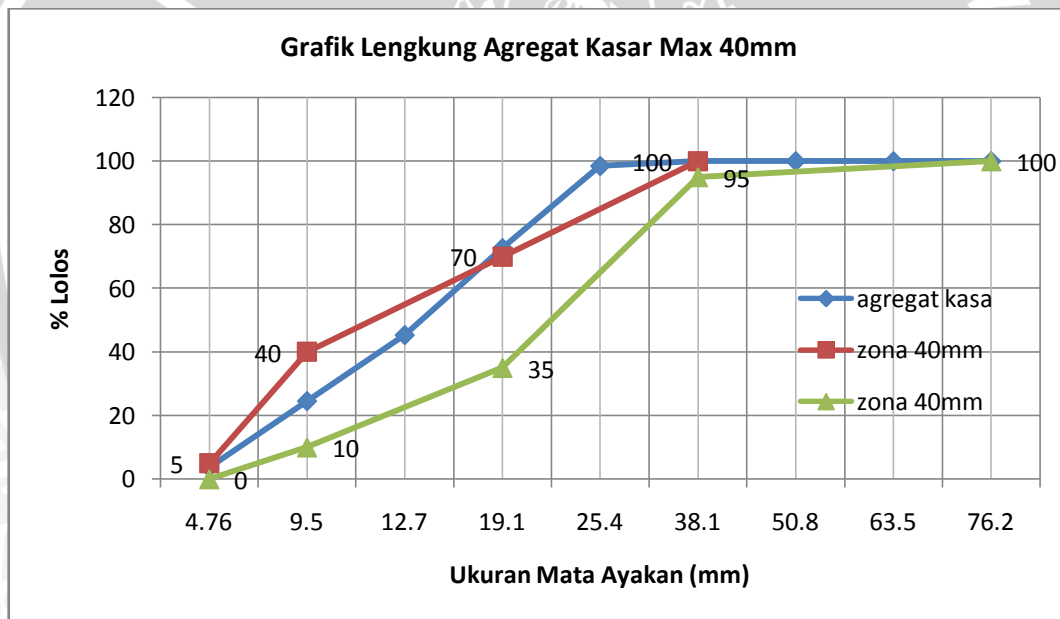
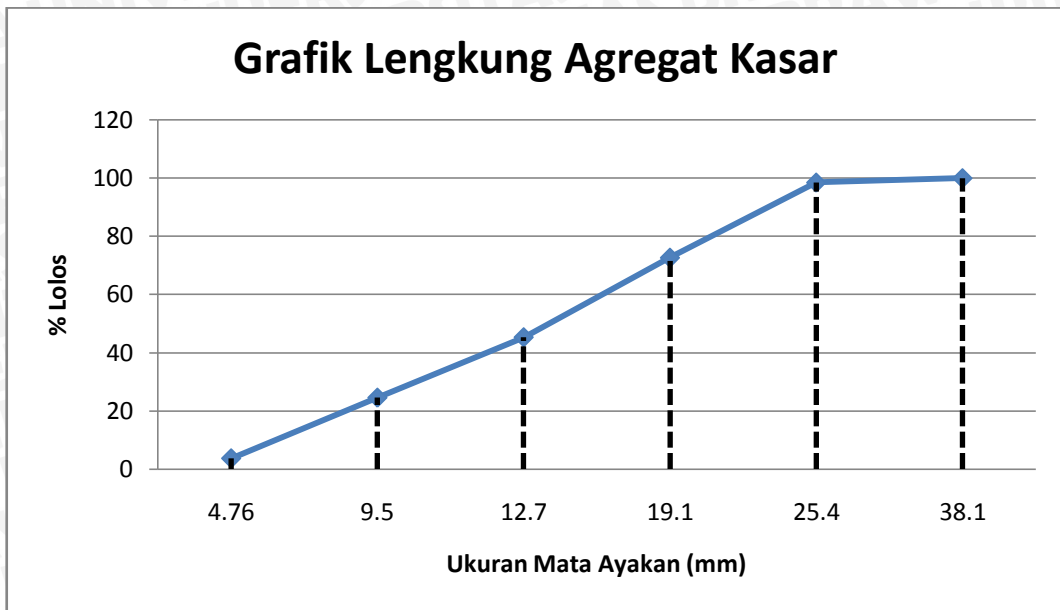
Cek spesifikasi :

- 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 :



Gradasi Agregat Kasar Batu Pumice :

Lubang Saringan		Agregat Kasar				ASTM C-33
		Tertinggal		%Kumulatif		
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos	No 4 - No 3/4
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

Modulus kehalusan = $816,8/100 = 8,168$

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 %

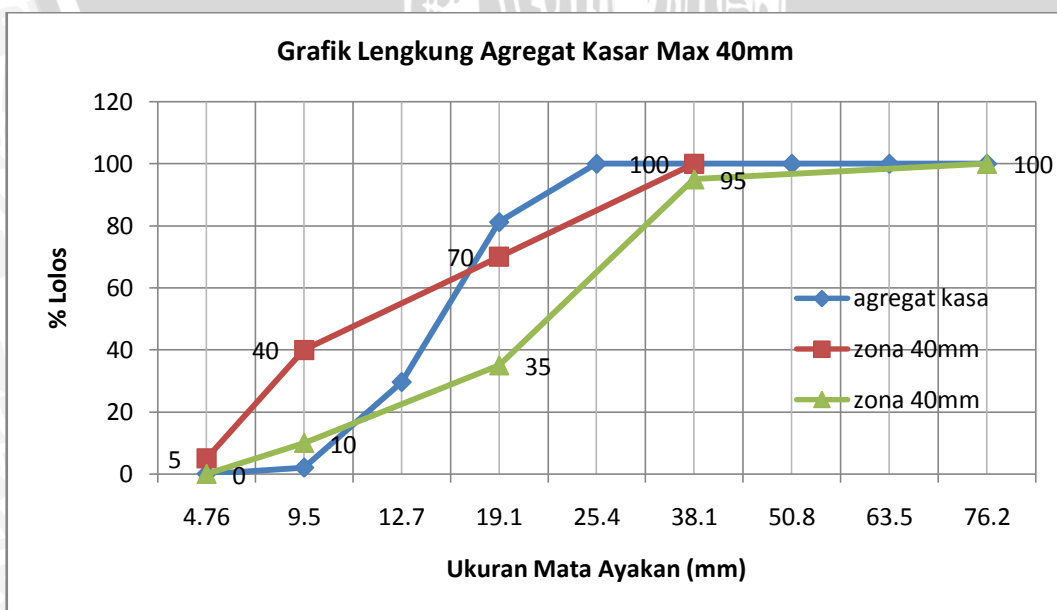
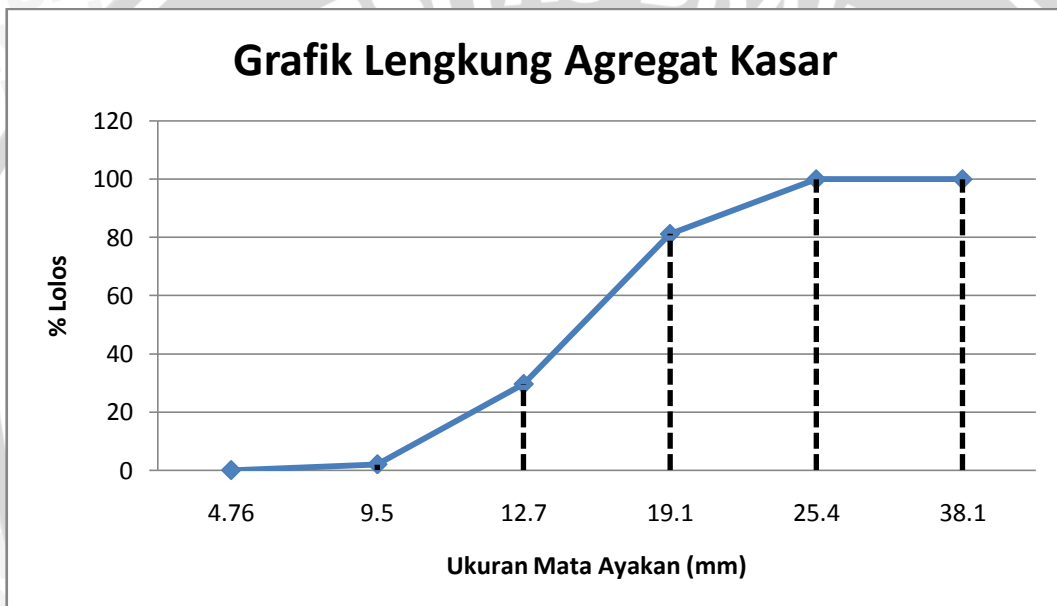
Cek spesifikasi :

- 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 :



KEAUSAN :

- 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%

	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%

Sumber : Hasil Penelitian

LAMPIRAN II

Berat Benda Uji Balok dan Silinder

Berat Benda Uji Balok

2 Tumpuan		
No.	Jenis	Berat (Kg)
1	KERIKIL	44,05
2		46,4
3		45,6
1	PUMICE	39,05
2		38,35
3		37,85
1	PUMICE CAT	37,8
2		37,75
3		36,8

Sumber : Hasil Penelitian

Berat Benda Uji Silinder

Benda Uji	Diameter (cm)	Berat (kg)
Kerikil	8	1,75
	8	1,85
Pumice	8	1,65
	8	1,5
Pumice Cat	8	1,6
	8	1,45

Sumber : Hasil Penelitian

LAMPIRAN III

Data Pengamatan Beban dan Lendutan

Data Eksperimen Balok Beton Agergat Kasar Normal 1

BENDA UJI										
No.	Beban (Kg)	P+18,02	1/2P	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Keterangan	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	rata-rata	kekakuan
1	0	0	0	7,49	2,18					
2	18,02	18,02	9,01	7,5	2,24		0,01	0,06	0,035	257,4286
3	50	68,02	34,01	7,62	2,42		0,13	0,24	0,185	183,8378
4	100	118,02	59,01	7,79	2,57		0,3	0,39	0,345	171,0435
5	150	168,02	84,01	7,92	2,7		0,43	0,52	0,475	176,8632
6	200	218,02	109,01	8	2,87		0,51	0,69	0,6	181,6833
7	250	268,02	134,01	8,13	3,01		0,64	0,83	0,735	182,3265
8	300	318,02	159,01	8,19	3,12		0,7	0,94	0,82	193,9146
9	350	368,02	184,01	8,32	3,26		0,83	1,08	0,955	192,6806
10	400	418,02	209,01	8,43	3,41		0,94	1,23	1,085	192,6359
11	450	468,02	234,01	8,52	3,56		1,03	1,38	1,205	194,1992
12	500	518,02	259,01	8,61	3,67		1,12	1,49	1,305	198,4751
13	550	568,02	284,01	8,71	3,85		1,22	1,67	1,445	196,5467
14	600	618,02	309,01	8,83	3,96		1,34	1,78	1,56	198,0833
15	650	668,02	334,01	8,9	4,07		1,41	1,89	1,65	202,4303
16	700	718,02	359,01	9	4,21		1,51	2,03	1,77	202,8305
17	750	768,02	384,01	9,1	4,35		1,61	2,17	1,89	203,1799
18	800	818,02	409,01	9,18	4,43		1,69	2,25	1,97	207,6193
19	850	868,02	434,01	9,3	4,56		1,81	2,38	2,095	207,1647
20	900	918,02	459,01	9,39	4,68		1,9	2,5	2,2	208,6409
21	950	968,02	484,01	9,49	4,79		2	2,61	2,305	209,9826

22	1000	1018,02	509,01	9,54	4,86		2,05	2,68	2,365	215,2262
23	1050	1068,02	534,01	9,6	4,96		2,11	2,78	2,445	218,409
24	1100	1118,02	559,01	9,74	5,1		2,25	2,92	2,585	216,2515
25	1150	1168,02	584,01	9,85	5,23		2,36	3,05	2,705	215,9002
26	1200	1218,02	609,01	9,93	5,34		2,44	3,16	2,8	217,5036
27	1250	1268,02	634,01	10,11	5,49		2,62	3,31	2,965	213,8314
28	1300	1318,02	659,01	10,19	5,62		2,7	3,44	3,07	214,6612
29	1350	1368,02	684,01	10,39	5,78		2,9	3,6	3,25	210,4646
30	1400	1418,02	709,01	10,48	5,86		2,99	3,68	3,335	212,5967
31	1450	1468,02	734,01	10,65	6,1		3,16	3,92	3,54	207,3475
32	1500	1518,02	759,01	10,81	6,29		3,32	4,11	3,715	204,3096
33	1550	1568,02	784,01	10,94	6,47		3,45	4,29	3,87	202,5866
34	1600	1618,02	809,01	11,06	6,56		3,57	4,38	3,975	203,5245
35	1650	1668,02	834,01	11,18	6,68		3,69	4,5	4,095	203,6654
36	1700	1718,02	859,01	11,32	6,82	1A	3,83	4,64	4,235	202,8359
37	1750	1768,02	884,01	11,41	6,95	2A	3,92	4,77	4,345	203,4545
38	1800	1818,02	909,01	11,56	7,1		4,07	4,92	4,495	202,2269
39	1850	1868,02	934,01	11,81	7,32	3A,1B	4,32	5,14	4,73	197,4651
40	1900	1918,02	959,01	11,98	7,44		4,49	5,26	4,875	196,72
41	1950	1968,02	984,01	12,12	7,6	4A	4,63	5,42	5,025	195,8229
42	2000	2018,02	1009,01	12,29	7,77		4,8	5,59	5,195	194,2271
43	2050	2068,02	1034,01	12,47	7,96	5A	4,98	5,78	5,38	192,1952
44	2100	2118,02	1059,01	12,63	8,15		5,14	5,97	5,555	190,6409
45	2150	2168,02	1084,01	12,79	8,25		5,3	6,07	5,685	190,679
46	2200	2218,02	1109,01	12,96	8,4	6A,7A	5,47	6,22	5,845	189,7365
47	2250	2268,02	1134,01	13,26	8,74		5,77	6,56	6,165	183,9432

48	2300	2318,02	1159,01	13,35	8,94	2B,8A	5,86	6,76	6,31	183,6783
49	2350	2368,02	1184,01	13,51	9,15		6,02	6,97	6,495	182,2956
50	2400	2418,02	1209,01	13,64	9,42	3B,2C,1C	6,15	7,24	6,695	180,584
51	2450	2468,02	1234,01	13,98	9,68		6,49	7,5	6,995	176,4132
52	2500	2518,02	1259,01	14,16	9,97	4B	6,67	7,79	7,23	174,1369
53	2550	2568,02	1284,01	14,27	10,13		6,78	7,95	7,365	174,3394
54	2600	2618,02	1309,01	14,45	10,4	5B	6,96	8,22	7,59	172,4651
55	2650	2668,02	1334,01	14,6	10,62		7,11	8,44	7,775	171,5768
56	2700	2718,02	1359,01	14,92	10,87	6B,7B,9A	7,43	8,69	8,06	168,6117
57	2750	2768,02	1384,01	15,3	11,03		7,81	8,85	8,33	166,1477
58	2800	2818,02	1409,01	15,54	11,33	10A	8,05	9,15	8,6	163,8384
59	2850	2868,02	1434,01	15,86	11,75		8,37	9,57	8,97	159,8673
60	2900	2918,02	1459,01	16,04	12,23	4C	8,55	10,05	9,3	156,8828
61	2950	2968,02	1484,01	16,42	12,85		8,93	10,67	9,8	151,4296
62	3000	3018,02	1509,01	16,78	13	5C,9B	9,29	10,82	10,055	150,0756
63	3050	3068,02	1534,01	16,98	13,24	1D,4D	9,49	11,06	10,275	149,2954
64	3100	3118,02	1559,01	19,45	13,68	2D	11,96	11,5	11,73	132,9079
65	3150	3168,02	1584,01	19,84	14,4		12,35	12,22	12,285	128,9385
66	3200	3218,02	1609,01	20,36	16,45	11A,9C	12,87	14,27	13,57	118,5711
67	3250	3268,02	1634,01	21,2	17,04	11B,2E,3C,4D	13,71	14,86	14,285	114,3864
68	3300	3318,02	1659,01	21,89	17,54	3D,5D,10B	14,4	15,36	14,88	111,4926
69	3102	3120,02	1560,01	23,56	18,6	10C,11C	16,07	16,42	16,245	96,03016
70	3106	3124,02	1562,01	24,06	19,04		16,57	16,86	16,715	93,4496
71	3118	3136,02	1568,01	24,56	19,54	12A	17,07	17,36	17,215	91,08394
72	3112	3130,02	1565,01	25,06	20,04		17,57	17,86	17,715	88,34378
73	3115	3133,02	1566,51	25,56	20,54		18,07	18,36	18,215	86,0011

Sumber : Hasil Penelitian

Data Eksperimen Balok Beton Agergat Kasar Normal 2

BENDA UJI										
No.	Beban (Kg)	P+18,02	1/2P	Δ1 (mm)	Δ2 (mm)	Keterangan	Δ1 (mm)	Δ2 (mm)	Rata-rata	kekakuan
1	0	0	0	8,14	3,96					
2	18,02	18,02	9,01	8,19	4,02		0,05	0,06	0,055	163,8182
3	50	68,02	34,01	8,26	4,17		0,12	0,21	0,165	206,1212
4	100	118,02	59,01	8,39	4,36		0,25	0,4	0,325	181,5692
5	150	168,02	84,01	8,48	4,48		0,34	0,52	0,43	195,3721
6	200	218,02	109,01	8,58	4,61		0,44	0,65	0,545	200,0183
7	250	268,02	134,01	8,67	4,71		0,53	0,75	0,64	209,3906
8	300	318,02	159,01	8,76	4,86		0,62	0,9	0,76	209,2237
9	350	368,02	184,01	8,87	5,01		0,73	1,05	0,89	206,7528
10	400	418,02	209,01	8,92	5,09		0,78	1,13	0,955	218,8586
11	450	468,02	234,01	9,01	5,2		0,87	1,24	1,055	221,8104
12	500	518,02	259,01	9,1	5,3		0,96	1,34	1,15	225,2261
13	550	568,02	284,01	9,17	5,42		1,03	1,46	1,245	228,1205
14	600	618,02	309,01	9,26	5,51		1,12	1,55	1,335	231,4682
15	650	668,02	334,01	9,35	5,63		1,21	1,67	1,44	231,9514
16	700	718,02	359,01	9,41	5,7		1,27	1,74	1,505	238,5449
17	750	768,02	384,01	9,5	5,82		1,36	1,86	1,61	238,5155
18	800	818,02	409,01	9,56	5,89		1,42	1,93	1,675	244,1851
19	850	868,02	434,01	9,64	6		1,5	2,04	1,77	245,2034
20	900	918,02	459,01	9,7	6,09		1,56	2,13	1,845	248,7859
21	950	968,02	484,01	9,78	6,2		1,64	2,24	1,94	249,4897
22	1000	1018,02	509,01	9,87	6,28		1,73	2,32	2,025	251,363
23	1050	1068,02	534,01	9,95	6,4		1,81	2,44	2,125	251,2988

24	1100	1118,02	559,01	10,05	6,5		1,91	2,54	2,225	251,2404
25	1150	1168,02	584,01	10,16	6,61		2,02	2,65	2,335	250,1113
26	1200	1218,02	609,01	10,25	6,72		2,11	2,76	2,435	250,1068
27	1250	1268,02	634,01	10,46	6,94		2,32	2,98	2,65	239,2491
28	1300	1318,02	659,01	10,53	7,06		2,39	3,1	2,745	240,0765
29	1350	1368,02	684,01	10,61	7,18	1A	2,47	3,22	2,845	240,4253
30	1400	1418,02	709,01	10,84	7,37		2,7	3,41	3,055	232,0818
31	1450	1468,02	734,01	10,94	7,48		2,8	3,52	3,16	232,2816
32	1500	1518,02	759,01	11,07	7,6	1B	2,93	3,64	3,285	231,0533
33	1550	1568,02	784,01	11,24	7,78		3,1	3,82	3,46	226,5925
34	1600	1618,02	809,01	11,35	7,92		3,21	3,96	3,585	225,6653
35	1650	1668,02	834,01	11,48	8,07		3,34	4,11	3,725	223,8953
36	1700	1718,02	859,01	11,63	8,18		3,49	4,22	3,855	222,8301
37	1750	1768,02	884,01	11,74	8,28	2A	3,6	4,32	3,96	223,2348
38	1800	1818,02	909,01	11,87	8,43	3A	3,73	4,47	4,1	221,7098
39	1850	1868,02	934,01	12	8,57	3B	3,86	4,61	4,235	220,5455
40	1900	1918,02	959,01	12,15	8,69	4A	4,01	4,73	4,37	219,4531
41	1950	1968,02	984,01	12,28	8,81		4,14	4,85	4,495	218,9121
42	2000	2018,02	1009,01	12,42	8,94	5A	4,28	4,98	4,63	217,9287
43	2050	2068,02	1034,01	12,52	9,07		4,38	5,11	4,745	217,9157
44	2100	2118,02	1059,01	12,66	9,19	6A	4,52	5,23	4,875	217,2328
45	2150	2168,02	1084,01	12,79	9,34		4,65	5,38	5,015	216,1535
46	2200	2218,02	1109,01	12,88	9,48	1C	4,74	5,52	5,13	216,1813
47	2250	2268,02	1134,01	13,01	9,57	5B	4,87	5,61	5,24	216,4141
48	2300	2318,02	1159,01	13,13	9,77		4,99	5,81	5,4	214,6315
49	2350	2368,02	1184,01	13,27	9,86	6B	5,13	5,9	5,515	214,689

50	2400	2418,02	1209,01	13,42	10,03	5C	5,28	6,07	5,675	213,0414
51	2450	2468,02	1234,01	13,58	10,17	8A	5,44	6,21	5,825	211,8472
52	2500	2518,02	1259,01	13,73	10,37		5,59	6,41	6	209,835
53	2550	2568,02	1284,01	13,94	10,52	8B	5,8	6,56	6,18	207,7686
54	2600	2618,02	1309,01	14,18	10,76		6,04	6,8	6,42	203,8956
55	2650	2668,02	1334,01	14,47	11,02		6,33	7,06	6,695	199,2547
56	2700	2718,02	1359,01	14,62	11,23	6C	6,48	7,27	6,875	197,6742
57	2750	2768,02	1384,01	14,98	11,67	4B,9A	6,84	7,71	7,275	190,2419
58	2800	2818,02	1409,01	15,44	12,08		7,3	8,12	7,71	182,751
59	2850	2868,02	1434,01	15,66	12,41	1D,3C	7,52	8,45	7,985	179,588
60	2900	2918,02	1459,01	16,37	13,38		8,23	9,42	8,825	165,3269
61	2950	2968,02	1484,01	17,38	14,61	5D	9,24	10,65	9,945	149,2217
62	3000	3018,02	1509,01	18,47	15,98		10,33	12,02	11,175	135,0345
63	3050	3068,02	1534,01	19,62	16,98	7B	11,48	13,02	12,25	125,2253
64	3100	3118,02	1559,01	20,98	19,04	3D	12,84	15,08	13,96	111,6769
65	3150	3168,02	1584,01	23,08	21,35	5E	14,94	17,39	16,165	97,9901
66	3170	3188,02	1594,01	25,2	23,4	10A	17,06	19,44	18,25	87,34301
67	2922	2940,02	1470,01	26,57	24,75	2C,8C	18,43	20,79	19,61	74,96226
68	2948	2966,02	1483,01	27,83	26,08		19,69	22,12	20,905	70,94044
69	3102	3120,02	1560,01	28,55	26,74		20,41	22,78	21,595	72,23941
70	3100	3118,02	1559,01	29,55	27,44		21,41	23,48	22,445	69,45912
71	3104	3122,02	1561,01	30	27,91		21,86	23,95	22,905	68,1515

Sumber : Hasil Penelitian

Data Eksperimen Balok Beton Agergat Kasar Normal 3

BENDA UJI										
No.	Beban (Kg)	P+18,02	1/2P	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Keterangan	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Rata-rata	kekakuan
1	0	0	0	10,11	9,61					
2	18,02	18,02	9,01	10,16	9,68		0,05	0,07	0,06	150,1667
3	50	68,02	34,01	10,27	9,89		0,16	0,28	0,22	154,5909
4	100	118,02	59,01	10,36	10,03		0,25	0,42	0,335	176,1493
5	150	168,02	84,01	10,41	10,17		0,3	0,56	0,43	195,3721
6	200	218,02	109,01	10,5	10,35		0,39	0,74	0,565	192,9381
7	250	268,02	134,01	10,57	10,5		0,46	0,89	0,675	198,5333
8	300	318,02	159,01	10,64	10,66		0,53	1,05	0,79	201,2785
9	350	368,02	184,01	10,72	10,81		0,61	1,2	0,905	203,326
10	400	418,02	209,01	10,79	10,94		0,68	1,33	1,005	207,9701
11	450	468,02	234,01	10,87	11,1		0,76	1,49	1,125	208,0089
12	500	518,02	259,01	10,95	11,23		0,84	1,62	1,23	210,5772
13	550	568,02	284,01	11,02	11,37		0,91	1,76	1,335	212,7416
14	600	618,02	309,01	11,1	11,48		0,99	1,87	1,43	216,0909
15	650	668,02	334,01	11,19	11,62		1,08	2,01	1,545	216,1877
16	700	718,02	359,01	11,25	11,73		1,14	2,12	1,63	220,2515
17	750	768,02	384,01	11,32	11,83		1,21	2,22	1,715	223,9125
18	800	818,02	409,01	11,39	11,97		1,28	2,36	1,82	224,7308
19	850	868,02	434,01	11,47	12,08		1,36	2,47	1,915	226,6371
20	900	918,02	459,01	11,54	12,2		1,43	2,59	2,01	228,3632
21	950	968,02	484,01	11,62	12,32		1,51	2,71	2,11	229,3886
22	1000	1018,02	509,01	11,67	12,41		1,56	2,8	2,18	233,4908
23	1050	1068,02	534,01	11,76	12,52		1,65	2,91	2,28	234,2149

24	1100	1118,02	559,01	11,83	12,64		1,72	3,03	2,375	235,3726
25	1150	1168,02	584,01	11,92	12,74		1,81	3,13	2,47	236,4413
26	1200	1218,02	609,01	12	12,84		1,89	3,23	2,56	237,8945
27	1250	1268,02	634,01	12,08	12,94		1,97	3,33	2,65	239,2491
28	1300	1318,02	659,01	12,17	13,05		2,06	3,44	2,75	239,64
29	1350	1368,02	684,01	12,27	13,17		2,16	3,56	2,86	239,1643
30	1400	1418,02	709,01	12,38	13,31		2,27	3,7	2,985	237,5243
31	1450	1468,02	734,01	12,52	13,47		2,41	3,86	3,135	234,134
32	1500	1518,02	759,01	12,62	13,57		2,51	3,96	3,235	234,6244
33	1550	1568,02	784,01	12,86	13,84		2,75	4,23	3,49	224,6447
34	1600	1618,02	809,01	13	14		2,89	4,39	3,64	222,2555
35	1650	1668,02	834,01	13,11	14,15		3	4,54	3,77	221,2228
36	1700	1718,02	859,01	13,23	14,31		3,12	4,7	3,91	219,6957
37	1750	1768,02	884,01	13,38	14,53	1A,2A	3,27	4,92	4,095	215,8755
38	1800	1818,02	909,01	13,52	14,77	3A	3,41	5,16	4,285	212,1377
39	1850	1868,02	934,01	13,63	14,88	4A	3,52	5,27	4,395	212,5165
40	1900	1918,02	959,01	13,74	15,02		3,63	5,41	4,52	212,1704
41	1950	1968,02	984,01	13,88	15,17	5A,6A	3,77	5,56	4,665	210,9346
42	2000	2018,02	1009,01	13,99	15,28		3,88	5,67	4,775	211,311
43	2050	2068,02	1034,01	14,25	15,52	7A,1B	4,14	5,91	5,025	205,7731
44	2100	2118,02	1059,01	14,37	15,62	5B	4,26	6,01	5,135	206,2337
45	2150	2168,02	1084,01	14,55	15,82	8A,9A	4,44	6,21	5,325	203,57
46	2200	2218,02	1109,01	14,61	15,9	5C	4,5	6,29	5,395	205,5626
47	2250	2268,02	1134,01	14,73	16,02	3B,10A	4,62	6,41	5,515	205,6228
48	2300	2318,02	1159,01	14,82	16,18	1C,3B	4,71	6,57	5,64	205,4982
49	2350	2368,02	1184,01	14,94	16,32		4,83	6,71	5,77	205,201

50	2400	2418,02	1209,01	15,07	16,41	6B	4,96	6,8	5,88	205,6139
51	2450	2468,02	1234,01	15,19	16,56		5,08	6,95	6,015	205,1554
52	2500	2518,02	1259,01	15,3	16,69		5,19	7,08	6,135	205,2176
53	2550	2568,02	1284,01	15,51	16,99	7B	5,4	7,38	6,39	200,9405
54	2600	2618,02	1309,01	16,89	19,54	1D,7C	6,78	9,93	8,355	156,6738
55	2650	2668,02	1334,01	17,15	19,89		7,04	10,28	8,66	154,0427
56	2700	2718,02	1359,01	18,17	20,18	4A	8,06	10,57	9,315	145,8948
57	2750	2768,02	1384,01	18,81	20,65	7D,2C	8,7	11,04	9,87	140,2239
58	2800	2818,02	1409,01	20,53	21,05	9B,5D	10,42	11,44	10,93	128,9122
59	2850	2868,02	1434,01	21,47	21,75	11A,1E	11,36	12,14	11,75	122,0434
60	2900	2918,02	1459,01	22,14	22,2		12,03	12,59	12,31	118,5223
61	2950	2968,02	1484,01	22,67	22,8	3C,9C	12,56	13,19	12,875	115,2629
62	3000	3018,02	1509,01	23,08	23,3	4B,2D	12,97	13,69	13,33	113,2041
63	3050	3068,02	1534,01	24,64	24,87		14,53	15,26	14,895	102,9883
64	3100	3118,02	1559,01	25,11	26,75	8B,10B	15	17,14	16,07	97,01369
65	3150	3168,02	1584,01	25,83	28,72		15,72	19,11	17,415	90,95665
66	3200	3218,02	1609,01	26,3	31,05	11B,12A,13A	16,19	21,44	18,815	85,51741
67	3006	3024,02	1512,01	26,75	31,27		16,64	21,66	19,15	78,95614
68	3030	3048,02	1524,01	27,08	31,75	12B	16,97	22,14	19,555	77,93454
69	3104	3122,02	1561,01	27,96	32,11	13B	17,85	22,5	20,175	77,37348
70	3100	3118,02	1559,01	28,5	32,59		18,39	22,98	20,685	75,36911
71	3110	3128,02	1564,01	29,46	33,24		19,35	23,63	21,49	72,7785

Sumber : Hasil Penelitian

Data Eksperimen Balok Beton Agergat Kasar Batu Pumice 1

BENDA UJI										
No.	Beban (Kg)	P+18,02	1/2P	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Keterangan	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Rata-rata	kekakuan
1	0	0	0	7,58	11,77					
2	18,02	18,02	9,01	7,58	11,77					
3	50	68,02	34,01	7,75	12,15		0,17	0,38	0,275	123,6727
4	100	118,02	59,01	7,78	12,19		0,2	0,42	0,31	190,3548
5	150	168,02	84,01	7,85	12,36		0,27	0,59	0,43	195,3721
6	200	218,02	109,01	7,92	12,51		0,34	0,74	0,54	201,8704
7	250	268,02	134,01	8	12,67		0,42	0,9	0,66	203,0455
8	300	318,02	159,01	8,08	12,82		0,5	1,05	0,775	205,1742
9	350	368,02	184,01	8,17	12,97		0,59	1,2	0,895	205,5978
10	400	418,02	209,01	8,26	13,13		0,68	1,36	1,02	204,9118
11	450	468,02	234,01	8,36	13,27		0,78	1,5	1,14	205,2719
12	500	518,02	259,01	8,46	13,43		0,88	1,66	1,27	203,9449
13	550	568,02	284,01	8,52	13,55		0,94	1,78	1,36	208,8309
14	600	618,02	309,01	8,61	13,64		1,03	1,87	1,45	213,1103
15	650	668,02	334,01	8,75	13,8		1,17	2,03	1,6	208,7563
16	700	718,02	359,01	8,82	13,93		1,24	2,16	1,7	211,1824
17	750	768,02	384,01	8,92	14,05		1,34	2,28	1,81	212,1602
18	800	818,02	409,01	8,99	14,18		1,41	2,41	1,91	214,1414
19	850	868,02	434,01	9,09	14,27		1,51	2,5	2,005	216,4638
20	900	918,02	459,01	9,18	14,39		1,6	2,62	2,11	217,5403
21	950	968,02	484,01	9,28	14,51		1,7	2,74	2,22	218,0225
22	1000	1018,02	509,01	9,38	14,66		1,8	2,89	2,345	217,0618
23	1050	1068,02	534,01	9,47	14,74		1,89	2,97	2,43	219,7572

24	1100	1118,02	559,01	9,58	14,84		2	3,07	2,535	220,5168
25	1150	1168,02	584,01	9,67	14,97		2,09	3,2	2,645	220,7977
26	1200	1218,02	609,01	9,76	15,06		2,18	3,29	2,735	222,6728
27	1250	1268,02	634,01	9,86	15,18		2,28	3,41	2,845	222,8506
28	1300	1318,02	659,01	9,94	15,27		2,36	3,5	2,93	224,9181
29	1350	1368,02	684,01	10,11	15,44		2,53	3,67	3,1	220,6484
30	1400	1418,02	709,01	10,24	15,57		2,66	3,8	3,23	219,5077
31	1450	1468,02	734,01	10,37	15,71		2,79	3,94	3,365	218,1308
32	1500	1518,02	759,01	10,47	15,83	1A	2,89	4,06	3,475	218,4201
33	1550	1568,02	784,01	10,65	16,04		3,07	4,27	3,67	213,6267
34	1600	1618,02	809,01	10,78	16,17		3,2	4,4	3,8	212,8974
35	1650	1668,02	834,01	10,89	16,29		3,31	4,52	3,915	213,0294
36	1700	1718,02	859,01	11,07	16,48	2A	3,49	4,71	4,1	209,5146
37	1750	1768,02	884,01	11,24	16,67		3,66	4,9	4,28	206,5444
38	1800	1818,02	909,01	11,37	16,78		3,79	5,01	4,4	206,5932
39	1850	1868,02	934,01	11,55	16,95	3A	3,97	5,18	4,575	204,1552
40	1900	1918,02	959,01	11,78	17,14		4,2	5,37	4,785	200,4201
41	1950	1968,02	984,01	11,92	17,31		4,34	5,54	4,94	199,1923
42	2000	2018,02	1009,01	12,06	17,45		4,48	5,68	5,08	198,624
43	2050	2068,02	1034,01	12,27	17,61		4,69	5,84	5,265	196,3932
44	2100	2118,02	1059,01	12,43	17,78		4,85	6,01	5,43	195,0295
45	2150	2168,02	1084,01	12,61	17,9	1B	5,03	6,13	5,58	194,267
46	2200	2218,02	1109,01	12,75	18,05	4A	5,17	6,28	5,725	193,7135
47	2250	2268,02	1134,01	12,97	18,32		5,39	6,55	5,97	189,9514
48	2300	2318,02	1159,01	13,01	18,33		5,43	6,56	5,995	193,3294
49	2350	2368,02	1184,01	13,16	18,45		5,58	6,68	6,13	193,1501

50	2400	2418,02	1209,01	13,29	18,58		5,71	6,81	6,26	193,1326
51	2450	2468,02	1234,01	13,38	18,7	5A	5,8	6,93	6,365	193,8743
52	2500	2518,02	1259,01	13,62	18,85	3B, 6A	6,04	7,08	6,56	191,9223
53	2550	2568,02	1284,01	13,81	19	8A, 2B	6,23	7,23	6,73	190,789
54	2600	2618,02	1309,01	13,97	19,17	4B, 9A, 10A, 5B	6,39	7,4	6,895	189,8492
56	2650	2668,02	1334,01	16,68	20,43	5C, 11A, 11B	9,1	8,66	8,88	150,2264
57	2700	2718,02	1359,01	17,91	21,27	4C, 7C, 8B, 12A	10,33	9,5	9,915	137,0661
58	2612	2630,02	1315,01	19,6	23,43		12,02	11,66	11,84	111,065
59	2630	2648,02	1324,01	20,1	23,93	6B, 8C, 13A	12,52	12,16	12,34	107,2942
60	2658	2676,02	1338,01	20,6	24,43	9C	13,02	12,66	12,84	104,2064
61	2667	2685,02	1342,51	21,1	24,93		13,52	13,16	13,34	100,6379
62	2673	2691,02	1345,51	21,6	25,43	11C	14,02	13,66	13,84	97,21893

Sumber : Hasil Penelitian

Data Eksperimen Balok Beton Agergat Kasar Batu Pumice 2

BENDA UJI										
No.	Beban (Kg)	P+18,02	1/2P	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Keterangan	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Rata-rata	kekakuan
1	0	0	0	6,49	10,68					
2	18,02	18,02	9,01	6,59	10,77		0,1	0,09	0,095	94,84211
3	50	68,02	34,01	6,68	11,07		0,19	0,39	0,29	117,2759
4	100	118,02	59,01	6,72	11,28		0,23	0,6	0,415	142,1928
5	150	168,02	84,01	6,77	11,45		0,28	0,77	0,525	160,019
6	200	218,02	109,01	6,84	11,61		0,35	0,93	0,64	170,3281
7	250	268,02	134,01	6,91	11,76		0,42	1,08	0,75	178,68
8	300	318,02	159,01	7	11,92		0,51	1,24	0,875	181,7257
9	350	368,02	184,01	7,07	12,05		0,58	1,37	0,975	188,7282
10	400	418,02	209,01	7,15	12,2		0,66	1,52	1,09	191,7523

11	450	468,02	234,01	7,23	12,33		0,74	1,65	1,195	195,8243
12	500	518,02	259,01	7,34	12,5		0,85	1,82	1,335	194,015
13	550	568,02	284,01	7,42	12,62		0,93	1,94	1,435	197,9164
14	600	618,02	309,01	7,49	12,76		1	2,08	1,54	200,6558
15	650	668,02	334,01	7,58	12,88		1,09	2,2	1,645	203,0456
16	700	718,02	359,01	7,67	12,96		1,18	2,28	1,73	207,5202
17	750	768,02	384,01	7,77	13,1		1,28	2,42	1,85	207,573
18	800	818,02	409,01	7,84	13,19		1,35	2,51	1,93	211,9223
19	850	868,02	434,01	7,92	13,29		1,43	2,61	2,02	214,8564
20	900	918,02	459,01	8	13,43		1,51	2,75	2,13	215,4977
21	950	968,02	484,01	8,11	13,55		1,62	2,87	2,245	215,5947
22	1000	1018,02	509,01	8,18	13,63		1,69	2,95	2,32	219,4009
23	1050	1068,02	534,01	8,27	13,74		1,78	3,06	2,42	220,6653
24	1100	1118,02	559,01	8,35	13,8		1,86	3,12	2,49	224,502
25	1150	1168,02	584,01	8,48	13,94		1,99	3,26	2,625	222,48
26	1200	1218,02	609,01	8,59	14,09		2,1	3,41	2,755	221,0563
27	1250	1268,02	634,01	8,71	14,21		2,22	3,53	2,875	220,5252
28	1300	1318,02	659,01	8,82	14,33		2,33	3,65	2,99	220,4047
29	1350	1368,02	684,01	8,94	14,45		2,45	3,77	3,11	219,9389
30	1400	1418,02	709,01	9,05	14,6		2,56	3,92	3,24	218,8302
31	1450	1468,02	734,01	9,19	14,72		2,7	4,04	3,37	217,8071
32	1500	1518,02	759,01	9,34	14,87		2,85	4,19	3,52	215,6278
33	1550	1568,02	784,01	9,48	15,02		2,99	4,34	3,665	213,9181
34	1600	1618,02	809,01	9,64	15,23		3,15	4,55	3,85	210,1325
35	1650	1668,02	834,01	9,8	15,38		3,31	4,7	4,005	208,2422
36	1700	1718,02	859,01	9,93	15,52		3,44	4,84	4,14	207,4903

37	1750	1768,02	884,01	10,14	15,73		3,65	5,05	4,35	203,2207
38	1800	1818,02	909,01	10,21	15,83	1A	3,72	5,15	4,435	204,9628
39	1850	1868,02	934,01	10,4	16	2A	3,91	5,32	4,615	202,3857
40	1900	1918,02	959,01	10,51	16,17	3A	4,02	5,49	4,755	201,6845
41	1950	1968,02	984,01	10,65	16,3		4,16	5,62	4,89	201,229
42	2000	2018,02	1009,01	10,77	16,44	4A	4,28	5,76	5,02	200,998
43	2050	2068,02	1034,01	10,92	16,6		4,43	5,92	5,175	199,8087
44	2100	2118,02	1059,01	11,05	16,73	1B, 4B	4,56	6,05	5,305	199,6249
45	2150	2168,02	1084,01	11,15	16,85		4,66	6,17	5,415	200,1865
46	2200	2218,02	1109,01	11,37	17	5A, 2B	4,88	6,32	5,6	198,0375
47	2250	2268,02	1134,01	11,53	17,15	6A, 7A	5,04	6,47	5,755	197,0478
48	2300	2318,02	1159,01	11,7	17,32	8A	5,21	6,64	5,925	195,6135
49	2350	2368,02	1184,01	11,85	17,46	9A, 10 A	5,36	6,78	6,07	195,0593
50	2400	2418,02	1209,01	11,99	17,61		5,5	6,93	6,215	194,531
51	2450	2468,02	1234,01	12,12	17,72	4C	5,63	7,04	6,335	194,7924
52	2500	2518,02	1259,01	12,25	17,83	7B	5,76	7,15	6,455	195,0442
53	2550	2568,02	1284,01	12,36	18	11A	5,87	7,32	6,595	194,6945
54	2600	2618,02	1309,01	12,52	18,13	12A	6,03	7,45	6,74	194,2151
55	2650	2668,02	1334,01	12,72	18,3	9B	6,23	7,62	6,925	192,6368
56	2700	2718,02	1359,01	12,86	18,52	4D	6,37	7,84	7,105	191,2752
57	2750	2768,02	1384,01	12,99	18,71	3B	6,5	8,03	7,265	190,5038
58	2800	2818,02	1409,01	13,3	18,95	4E	6,81	8,27	7,54	186,8714
59	2850	2868,02	1434,01	15,02	19,73	4C, 12B	8,53	9,05	8,79	163,1411
60	2900	2918,02	1459,01	15,89	20,23	1C, 8B	9,4	9,55	9,475	153,9852
61	2950	2968,02	1484,01	18,27	22,68	6B, 8C, 12C, 14A	11,78	12	11,89	124,8116
62	3000	3018,02	1509,01	19,31	23,41	12D, 14B, 15A	12,82	12,73	12,775	118,1221

63	3100	3118,02	1559,01	20,9	24,93		14,41	14,25	14,33	108,7934
64	3150	3168,02	1584,01	23,48	26,9	6C, 12E	16,99	16,22	16,605	95,39356
65	3200	3218,02	1609,01	27,71	30,62		21,22	19,94	20,58	78,18319
66	3200	3218,02	1609,01	30,48	33,47		23,99	22,79	23,39	68,79051
67	3220	3238,02	1619,01	32,54	34,83	8D, 11D	26,05	24,15	25,1	64,50239
68	3144	3162,02	1581,01	33,04	35,33		26,55	24,65	25,6	61,7582
69	3104	3122,02	1561,01	33,54	35,83		27,05	25,15	26,1	59,80881
70	3110	3128,02	1564,01	34,04	36,33		27,55	25,65	26,6	58,79737
71	3118	3136,02	1568,01	34,54	36,83		28,05	26,15	27,1	57,86015
72	3134	3152,02	1576,01	35,04	37,33		28,55	26,65	27,6	57,10181

Sumber : Hasil Penelitian

Data Eksperimen Balok Beton Agergat Kasar Batu Pumice 3

BENDA UJI										
No.	Beban (Kg)	P+18,02	1/2P	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Keterangan	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Rata-rata	kekakuan
1	0	0	0	7,79	8,68					
2	18,02	18,02	9,01	7,82	8,76		0,03	0,08	0,055	163,8182
3	50	68,02	34,01	7,96	8,96		0,17	0,28	0,225	151,1556
4	100	118,02	59,01	8,02	9,06		0,23	0,38	0,305	193,4754
5	150	168,02	84,01	8,26	9,58		0,47	0,9	0,685	122,6423
6	200	218,02	109,01	8,42	9,87		0,63	1,19	0,91	119,7912
7	250	268,02	134,01	8,54	10,05		0,75	1,37	1,06	126,4245
8	300	318,02	159,01	8,65	10,22		0,86	1,54	1,2	132,5083
9	350	368,02	184,01	8,76	10,38		0,97	1,7	1,335	137,8352
10	400	418,02	209,01	8,85	10,51		1,06	1,83	1,445	144,6436
11	450	468,02	234,01	8,97	10,66		1,18	1,98	1,58	148,1076
12	500	518,02	259,01	9,06	10,79		1,27	2,11	1,69	153,2604

13	550	568,02	284,01	9,17	10,92		1,38	2,24	1,81	156,9116
14	600	618,02	309,01	9,26	11,04		1,47	2,36	1,915	161,3629
15	650	668,02	334,01	9,38	11,17		1,59	2,49	2,04	163,7304
16	700	718,02	359,01	9,45	11,26		1,66	2,58	2,12	169,3443
17	750	768,02	384,01	9,57	11,41		1,78	2,73	2,255	170,2927
18	800	818,02	409,01	9,68	11,54		1,89	2,86	2,375	172,2147
19	850	868,02	434,01	9,72	11,75		1,93	3,07	2,5	173,604
20	900	918,02	459,01	9,92	11,83		2,13	3,15	2,64	173,8674
21	950	968,02	484,01	9,98	11,97		2,19	3,29	2,74	176,646
22	1000	1018,02	509,01	10,07	12		2,28	3,32	2,8	181,7893
23	1050	1068,02	534,01	10,19	12,14		2,4	3,46	2,93	182,256
24	1100	1118,02	559,01	10,27	12,24		2,48	3,56	3,02	185,1026
25	1150	1168,02	584,01	10,39	12,38		2,6	3,7	3,15	185,4
26	1200	1218,02	609,01	10,49	12,46		2,7	3,78	3,24	187,966
27	1250	1268,02	634,01	10,59	12,6		2,8	3,92	3,36	188,6935
28	1300	1318,02	659,01	10,71	12,71		2,92	4,03	3,475	189,6432
29	1350	1368,02	684,01	10,81	12,84		3,02	4,16	3,59	190,532
30	1400	1418,02	709,01	10,95	12,97		3,16	4,29	3,725	190,3383
31	1450	1468,02	734,01	11,04	13,07		3,25	4,39	3,82	192,1492
32	1500	1518,02	759,01	11,2	13,22		3,41	4,54	3,975	190,9459
33	1550	1568,02	784,01	11,34	13,38		3,55	4,7	4,125	190,063
34	1600	1618,02	809,01	11,48	13,51		3,69	4,83	4,26	189,9085
35	1650	1668,02	834,01	11,62	13,66		3,83	4,98	4,405	189,3326
36	1700	1718,02	859,01	11,78	13,79	1A	3,99	5,11	4,55	188,7934
37	1750	1768,02	884,01	11,91	13,93	2A	4,12	5,25	4,685	188,6894
38	1800	1818,02	909,01	12,06	14,07	3A	4,27	5,39	4,83	188,2008

39	1850	1868,02	934,01	12,13	14,18	1B	4,34	5,5	4,92	189,8394
40	1900	1918,02	959,01	12,31	14,34	4A	4,52	5,66	5,09	188,4106
41	1950	1968,02	984,01	12,42	14,46		4,63	5,78	5,205	189,0509
42	2000	2018,02	1009,01	12,57	14,6		4,78	5,92	5,35	188,6
43	2050	2068,02	1034,01	12,71	14,73	5A, 6A	4,92	6,05	5,485	188,516
44	2100	2118,02	1059,01	12,76	14,82	7A	4,97	6,14	5,555	190,6409
45	2150	2168,02	1084,01	13	15,13	8A	5,21	6,45	5,83	185,9365
46	2200	2218,02	1109,01	13,13	15,31	9A	5,34	6,63	5,985	185,2982
47	2250	2268,02	1134,01	13,23	15,39	10A	5,44	6,71	6,075	186,6683
48	2300	2318,02	1159,01	13,43	15,61		5,64	6,93	6,285	184,4089
49	2350	2368,02	1184,01	13,52	15,7		5,73	7,02	6,375	185,7271
50	2400	2418,02	1209,01	13,6	15,81	7B, 9B	5,81	7,13	6,47	186,864
51	2450	2468,02	1234,01	13,75	15,94		5,96	7,26	6,61	186,6884
52	2500	2518,02	1259,01	13,91	16,12	11A	6,12	7,44	6,78	185,6947
53	2550	2568,02	1284,01	14,14	16,25		6,35	7,57	6,96	184,4842
54	2600	2618,02	1309,01	14,35	16,44	12A	6,56	7,76	7,16	182,8226
55	2650	2668,02	1334,01	14,56	16,55		6,77	7,87	7,32	182,2418
56	2700	2718,02	1359,01	14,81	16,73	2B, 3B,10B,13A	7,02	8,05	7,535	180,3597
57	2750	2768,02	1384,01	15,11	16,95	7C, 9C, 12B,13B	7,32	8,27	7,795	177,551
58	2800	2818,02	1409,01	17,44	19,06	5B,6B, 18A	9,65	10,38	10,015	140,69
59	2850	2868,02	1434,01	18,09	19,76	6C, 7D	10,3	11,08	10,69	134,145
60	2900	2918,02	1459,01	19,77	21,09	10C	11,98	12,41	12,195	119,64
61	2950	2968,02	1484,01	23,3	23,68	13C	15,51	15	15,255	97,28024
62	2492	2510,02	1255,01	27,12	24,67	14A	19,33	15,99	17,66	71,06512
63	2460	2478,02	1239,01	27,62	25,17	15A	19,83	16,49	18,16	68,22742
64	2436	2454,02	1227,01	28,12	25,67		20,33	16,99	18,66	65,75616

65	2462	2480,02	1240,01	28,62	26,17		20,83	17,49	19,16	64,71868
66	2478	2496,02	1248,01	29,12	26,67		21,33	17,99	19,66	63,47965
67	2470	2488,02	1244,01	29,62	27,17		21,83	18,49	20,16	61,70685

Sumber : Hasil Penelitian

Data Eksperimen Balok Beton Agergat Kasar Batu Pumice Cat 1

BENDA UJI										
No.	Beban (Kg)	P+18,02	1/2P	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Keterangan	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Rata-rata	kekakuan
1	0	0	0	9,64	7,69					
2	18,02	18,02	9,01	9,81	7,93		0,17	0,24	0,205	43,95122
3	50	68,02	34,01	9,88	8,03		0,24	0,34	0,29	117,2759
4	100	118,02	59,01	10	8,18		0,36	0,49	0,425	138,8471
5	150	168,02	84,01	10,09	8,29		0,45	0,6	0,525	160,019
6	200	218,02	109,01	10,19	8,41		0,55	0,72	0,635	171,6693
7	250	268,02	134,01	10,29	8,54		0,65	0,85	0,75	178,68
8	300	318,02	159,01	10,41	8,69		0,77	1	0,885	179,6723
9	350	368,02	184,01	10,53	8,8		0,89	1,11	1	184,01
10	400	418,02	209,01	10,63	8,94		0,99	1,25	1,12	186,6161
11	450	468,02	234,01	10,77	9,1		1,13	1,41	1,27	184,2598
12	500	518,02	259,01	10,86	9,22		1,22	1,53	1,375	188,3709
13	550	568,02	284,01	10,96	9,36		1,32	1,67	1,495	189,9732
14	600	618,02	309,01	11,07	9,48		1,43	1,79	1,61	191,9317
15	650	668,02	334,01	11,19	9,61		1,55	1,92	1,735	192,513
16	700	718,02	359,01	11,28	9,72		1,64	2,03	1,835	195,6458
17	750	768,02	384,01	11,34	9,84		1,7	2,15	1,925	199,4857
18	800	818,02	409,01	11,45	9,99		1,81	2,3	2,055	199,0316
19	850	868,02	434,01	11,62	10,12		1,98	2,43	2,205	196,8299

20	900	918,02	459,01	11,75	10,26		2,11	2,57	2,34	196,1581
21	950	968,02	484,01	11,87	10,41		2,23	2,72	2,475	195,5596
22	1000	1018,02	509,01	11,97	10,54		2,33	2,85	2,59	196,529
23	1050	1068,02	534,01	12,09	10,65		2,45	2,96	2,705	197,4159
24	1100	1118,02	559,01	12,18	10,77		2,54	3,08	2,81	198,9359
25	1150	1168,02	584,01	12,32	10,91		2,68	3,22	2,95	197,9695
26	1200	1218,02	609,01	12,43	11,03		2,79	3,34	3,065	198,6982
27	1250	1268,02	634,01	12,56	11,16		2,92	3,47	3,195	198,4382
28	1300	1318,02	659,01	12,67	11,28		3,03	3,59	3,31	199,0967
29	1350	1368,02	684,01	12,79	11,44		3,15	3,75	3,45	198,2638
30	1400	1418,02	709,01	12,92	11,58		3,28	3,89	3,585	197,7713
31	1450	1468,02	734,01	13,05	11,71		3,41	4,02	3,715	197,5801
32	1500	1518,02	759,01	13,16	11,86		3,52	4,17	3,845	197,4018
33	1550	1568,02	784,01	13,29	11,98		3,65	4,29	3,97	197,4836
34	1600	1618,02	809,01	13,42	12,1		3,78	4,41	4,095	197,5604
35	1650	1668,02	834,01	13,55	12,26		3,91	4,57	4,24	196,7005
36	1700	1718,02	859,01	13,66	12,38		4,02	4,69	4,355	197,2468
37	1750	1768,02	884,01	13,76	12,5		4,12	4,81	4,465	197,9866
38	1800	1818,02	909,01	13,92	12,68		4,28	4,99	4,635	196,1187
39	1850	1868,02	934,01	14,08	12,84		4,44	5,15	4,795	194,7883
40	1900	1918,02	959,01	14,22	13		4,58	5,31	4,945	193,9353
41	1950	1968,02	984,01	14,37	13,13		4,73	5,44	5,085	193,5123
42	2000	2018,02	1009,01	14,48	13,26		4,84	5,57	5,205	193,854
43	2050	2068,02	1034,01	14,6	13,38		4,96	5,69	5,325	194,1803
44	2100	2118,02	1059,01	14,73	13,52		5,09	5,83	5,46	193,9579
45	2150	2168,02	1084,01	14,86	13,63		5,22	5,94	5,58	194,267

46	2200	2218,02	1109,01	14,98	13,75		5,34	6,06	5,7	194,5632
47	2250	2268,02	1134,01	15,1	13,89		5,46	6,2	5,83	194,5129
48	2300	2318,02	1159,01	15,23	14,01		5,59	6,32	5,955	194,628
49	2350	2368,02	1184,01	15,38	14,15		5,74	6,46	6,1	194,1
50	2400	2418,02	1209,01	15,51	14,31		5,87	6,62	6,245	193,5965
51	2450	2468,02	1234,01	15,63	14,41		5,99	6,72	6,355	194,1794
52	2500	2518,02	1259,01	15,77	14,57		6,13	6,88	6,505	193,545
53	2550	2568,02	1284,01	15,91	14,72		6,27	7,03	6,65	193,0842
54	2600	2618,02	1309,01	16,03	14,82	1A	6,39	7,13	6,76	193,6405
55	2650	2668,02	1334,01	16,24	15,03	2A	6,6	7,34	6,97	191,3931
56	2700	2718,02	1359,01	16,43	15,22	3A	6,79	7,53	7,16	189,8059
57	2750	2768,02	1384,01	16,62	15,39		6,98	7,7	7,34	188,5572
58	2800	2818,02	1409,01	16,79	15,59	4A,5A	7,15	7,9	7,525	187,2439
59	2850	2868,02	1434,01	16,99	15,81	5B, 6A	7,35	8,12	7,735	185,3924
60	2900	2918,02	1459,01	19,47	17,21	7A, 8A	9,83	9,52	9,675	150,8021
61	2950	2968,02	1484,01	21,47	18,39	7B,9A	11,83	10,7	11,265	131,7364
62	3000	3018,02	1509,01	23,3	19,82	8B, 10A, 11A	13,66	12,13	12,895	117,0229
63	3050	3068,02	1534,01	24,6	21,49	4B, 4C, 9B, 9C	14,96	13,8	14,38	106,6766
64	3100	3118,02	1559,01	32,37	33,38	12A, 13A, 14A	22,73	25,69	24,21	64,39529
65	2962	2980,02	1490,01	37,24	39,66	12B, 13B	27,6	31,97	29,785	50,02552
66	3038	3056,02	1528,01	37,74	40,72		28,1	33,03	30,565	49,99215
67	3066	3084,02	1542,01	38,24	41,76		28,6	34,07	31,335	49,21047
68	3018	3036,02	1518,01	38,74	42,14		29,1	34,45	31,775	47,77372
69	3026	3044,02	1522,01	39,24	42,24		29,6	34,55	32,075	47,4516

Sumber : Hasil Penelitian

Data Eksperimen Balok Beton Agergat Kasar Batu Pumice Cat 2

BENDA UJI

No.	Beban (Kg)	P+18,02	1/2P	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Keterangan	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Rata-rata	kekakuan
1	0	0	0	10,65	6,6					
2	18,02	18,02	9,01	10,75	6,68		0,1	0,08	0,09	100,1111
3	50	68,02	34,01	11,17	7,23		0,52	0,63	0,575	59,14783
4	100	118,02	59,01	11,29	7,36		0,64	0,76	0,7	84,3
5	150	168,02	84,01	11,38	7,52		0,73	0,92	0,825	101,8303
6	200	218,02	109,01	11,49	7,68		0,84	1,08	0,96	113,5521
7	250	268,02	134,01	11,6	7,77		0,95	1,17	1,06	126,4245
8	300	318,02	159,01	11,7	7,9		1,05	1,3	1,175	135,3277
9	350	368,02	184,01	11,8	8,02		1,15	1,42	1,285	143,1984
10	400	418,02	209,01	11,91	8,18		1,26	1,58	1,42	147,1901
11	450	468,02	234,01	12,04	8,33		1,39	1,73	1,56	150,0064
12	500	518,02	259,01	12,1	8,43		1,45	1,83	1,64	157,9329
13	550	568,02	284,01	12,21	8,56		1,56	1,96	1,76	161,3693
14	600	618,02	309,01	12,31	8,69		1,66	2,09	1,875	164,8053
15	650	668,02	334,01	12,43	8,83		1,78	2,23	2,005	166,5885
16	700	718,02	359,01	12,51	8,91		1,86	2,31	2,085	172,1871
17	750	768,02	384,01	12,62	9,05		1,97	2,45	2,21	173,7602
18	800	818,02	409,01	12,71	9,15		2,06	2,55	2,305	177,4447
19	850	868,02	434,01	12,81	9,28		2,16	2,68	2,42	179,343
20	900	918,02	459,01	12,92	9,41		2,27	2,81	2,54	180,7126
21	950	968,02	484,01	13	9,51		2,35	2,91	2,63	184,0342
22	1000	1018,02	509,01	13,11	9,65		2,46	3,05	2,755	184,7586
23	1050	1068,02	534,01	13,24	9,78		2,59	3,18	2,885	185,0988
24	1100	1118,02	559,01	13,33	9,87		2,68	3,27	2,975	187,9025

25	1150	1168,02	584,01	13,49	10,05		2,84	3,45	3,145	185,6948
26	1200	1218,02	609,01	13,55	10,12		2,9	3,52	3,21	189,7227
27	1250	1268,02	634,01	13,68	10,25		3,03	3,65	3,34	189,8234
28	1300	1318,02	659,01	13,8	10,4		3,15	3,8	3,475	189,6432
29	1350	1368,02	684,01	13,92	10,54		3,27	3,94	3,605	189,7393
30	1400	1418,02	709,01	13,98	10,6		3,33	4	3,665	193,4543
31	1450	1468,02	734,01	14,1	10,74		3,45	4,14	3,795	193,415
32	1500	1518,02	759,01	14,22	10,84		3,57	4,24	3,905	194,3688
33	1550	1568,02	784,01	14,31	11,02		3,66	4,42	4,04	194,0619
34	1600	1618,02	809,01	14,44	11,19		3,79	4,59	4,19	193,0811
35	1650	1668,02	834,01	14,53	11,27		3,88	4,67	4,275	195,0901
36	1700	1718,02	859,01	14,69	11,42		4,04	4,82	4,43	193,9074
37	1750	1768,02	884,01	14,84	11,58		4,19	4,98	4,585	192,8048
38	1800	1818,02	909,01	14,94	11,71		4,29	5,11	4,7	193,4064
39	1850	1868,02	934,01	15,06	11,82		4,41	5,22	4,815	193,9792
40	1900	1918,02	959,01	15,23	12		4,58	5,4	4,99	192,1864
41	1950	1968,02	984,01	15,35	12,11	1A	4,7	5,51	5,105	192,7542
42	2000	2018,02	1009,01	15,51	12,25		4,86	5,65	5,255	192,0095
43	2050	2068,02	1034,01	15,58	12,42		4,93	5,82	5,375	192,374
44	2100	2118,02	1059,01	15,72	12,52		5,07	5,92	5,495	192,7225
45	2150	2168,02	1084,01	15,83	12,67		5,18	6,07	5,625	192,7129
46	2200	2218,02	1109,01	15,97	12,78		5,32	6,18	5,75	192,8713
47	2250	2268,02	1134,01	16,09	12,94		5,44	6,34	5,89	192,5314
48	2300	2318,02	1159,01	16,14	13,02		5,49	6,42	5,955	194,628
49	2350	2368,02	1184,01	16,35	13,19		5,7	6,59	6,145	192,6786
50	2400	2418,02	1209,01	16,46	13,3		5,81	6,7	6,255	193,287

51	2450	2468,02	1234,01	16,58	13,43		5,93	6,83	6,38	193,4185
52	2500	2518,02	1259,01	16,73	13,55	2A	6,08	6,95	6,515	193,2479
53	2550	2568,02	1284,01	16,89	13,76	3A	6,24	7,16	6,7	191,6433
54	2600	2618,02	1309,01	16,98	13,8		6,33	7,2	6,765	193,4974
55	2650	2668,02	1334,01	17,12	13,99	2B, 3B	6,47	7,39	6,93	192,4978
56	2700	2718,02	1359,01	17,28	14,16	4A	6,63	7,56	7,095	191,5447
57	2750	2768,02	1384,01	17,39	14,26	5A, 6A	6,74	7,66	7,2	192,2236
58	2800	2818,02	1409,01	17,54	14,89	7A	6,89	8,29	7,59	185,6403
59	2850	2868,02	1434,01	20,38	20,94	8A	9,73	14,34	12,035	119,1533
60	2900	2918,02	1459,01	20,09	22,52	5B	9,44	15,92	12,68	115,0639
61	2950	2968,02	1484,01	21,86	24,36	6B, 7B	11,21	17,76	14,485	102,4515
62	3000	3018,02	1509,01	23,67	29,64	8B, 9A	13,02	23,04	18,03	83,6944
63	2650	2668,02	1334,01	27,26	37,95		16,61	31,35	23,98	55,63011
64	2822	2840,02	1420,01	27,76	39,11	10A	17,11	32,51	24,81	57,23539
65	2714	2732,02	1366,01	28,26	40,33		17,61	33,73	25,67	53,21426
66	2670	2688,02	1344,01	28,76	41,95	11A	18,11	35,35	26,73	50,28096
67	2760	2778,02	1389,01	29,26	43,35		18,61	36,75	27,68	50,181

Sumber : Hasil Penelitian

Data Eksperimen Balok Beton Agergat Kasar Batu Pumice Cat 3

BENDA UJI										
No.	Beban (Kg)	P+18,02	1/2P	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Keterangan	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	Rata-rata	kekakuan
1	0	0	0	8,09	6,39					
2	18,02	18,02	9,01	8,21	6,54		0,12	0,15	0,135	66,74074
3	50	68,02	34,01	8,4	6,73		0,31	0,34	0,325	104,6462
4	100	118,02	59,01	8,57	6,88		0,48	0,49	0,485	121,6701
5	150	168,02	84,01	8,67	7,03		0,58	0,64	0,61	137,7213

6	200	218,02	109,01	8,8	7,18		0,71	0,79	0,75	145,3467
7	250	268,02	134,01	8,91	7,25		0,82	0,86	0,84	159,5357
8	300	318,02	159,01	9,01	7,35		0,92	0,96	0,94	169,1596
9	350	368,02	184,01	9,17	7,54		1,08	1,15	1,115	165,0314
10	400	418,02	209,01	9,26	7,64		1,17	1,25	1,21	172,7355
11	450	468,02	234,01	9,37	7,77		1,28	1,38	1,33	175,9474
12	500	518,02	259,01	9,53	7,98		1,44	1,59	1,515	170,9637
13	550	568,02	284,01	9,61	8,07		1,52	1,68	1,6	177,5063
14	600	618,02	309,01	9,72	8,19		1,63	1,8	1,715	180,1808
15	650	668,02	334,01	9,85	8,31		1,76	1,92	1,84	181,5272
16	700	718,02	359,01	9,94	8,53		1,85	2,14	1,995	179,9549
17	750	768,02	384,01	10,03	8,58		1,94	2,19	2,065	185,9613
18	800	818,02	409,01	10,12	8,67		2,03	2,28	2,155	189,7958
19	850	868,02	434,01	10,22	8,78		2,13	2,39	2,26	192,0398
20	900	918,02	459,01	10,38	9,01		2,29	2,62	2,455	186,9695
21	950	968,02	484,01	10,45	9,1		2,36	2,71	2,535	190,931
22	1000	1018,02	509,01	10,56	9,24		2,47	2,85	2,66	191,3571
23	1050	1068,02	534,01	10,68	9,31		2,59	2,92	2,755	193,833
24	1100	1118,02	559,01	10,81	9,48		2,72	3,09	2,905	192,4303
25	1150	1168,02	584,01	10,83	9,52		2,74	3,13	2,935	198,9813
26	1200	1218,02	609,01	10,92	9,62		2,83	3,23	3,03	200,9934
27	1250	1268,02	634,01	11,06	9,75		2,97	3,36	3,165	200,3191
28	1300	1318,02	659,01	11,16	9,85		3,07	3,46	3,265	201,8407
29	1350	1368,02	684,01	11,32	10,03		3,23	3,64	3,435	199,1295
30	1400	1418,02	709,01	11,38	10,09		3,29	3,7	3,495	202,8641
31	1450	1468,02	734,01	11,45	10,18		3,36	3,79	3,575	205,3175

32	1500	1518,02	759,01	11,57	10,32		3,48	3,93	3,705	204,861
33	1550	1568,02	784,01	11,7	10,43		3,61	4,04	3,825	204,9699
34	1600	1618,02	809,01	11,83	10,59		3,74	4,2	3,97	203,7809
35	1650	1668,02	834,01	11,92	10,68		3,83	4,29	4,06	205,4212
36	1700	1718,02	859,01	12,09	10,82		4	4,43	4,215	203,7983
37	1750	1768,02	884,01	12,2	10,95		4,11	4,56	4,335	203,9239
38	1800	1818,02	909,01	12,33	11,09		4,24	4,7	4,47	203,3579
39	1850	1868,02	934,01	12,46	11,23		4,37	4,84	4,605	202,8252
40	1900	1918,02	959,01	12,56	11,33		4,47	4,94	4,705	203,8278
41	1950	1968,02	984,01	12,71	11,53		4,62	5,14	4,88	201,6414
42	2000	2018,02	1009,01	12,86	11,71		4,77	5,32	5,045	200,002
43	2050	2068,02	1034,01	13,03	11,92		4,94	5,53	5,235	197,5186
44	2100	2118,02	1059,01	13,13	12,04		5,04	5,65	5,345	198,131
45	2150	2168,02	1084,01	13,25	12,17	1A	5,16	5,78	5,47	198,1737
46	2200	2218,02	1109,01	13,4	12,34	2A, 3A, 1B	5,31	5,95	5,63	196,9822
47	2250	2268,02	1134,01	13,64	12,54	4A	5,55	6,15	5,85	193,8479
48	2300	2318,02	1159,01	13,82	12,68	5A, 6A	5,73	6,29	6,01	192,8469
49	2350	2368,02	1184,01	13,99	12,87	7A, 6B	5,9	6,48	6,19	191,2779
50	2400	2418,02	1209,01	14,14	13,01	1C	6,05	6,62	6,335	190,8461
51	2450	2468,02	1234,01	14,28	13,15	2B, 8A	6,19	6,76	6,475	190,5807
52	2500	2518,02	1259,01	14,49	13,38	4B	6,4	6,99	6,695	188,0523
53	2550	2568,02	1284,01	14,59	13,49	3B, 9A	6,5	7,1	6,8	188,825
54	2600	2618,02	1309,01	14,81	13,74	5B, 10A	6,72	7,35	7,035	186,0711
55	2650	2668,02	1334,01	14,92	13,93	11A	6,83	7,54	7,185	185,666
56	2700	2718,02	1359,01	15,15	14,16	4C,7B, 12A	7,06	7,77	7,415	183,2785
57	2750	2768,02	1384,01	15,84	14,85	1D, 4D, 12B	7,75	8,46	8,105	170,76

58	2800	2818,02	1409,01	18,07	16,45	2C, 9B, 10B, 12C	9,98	10,06	10,02	140,6198
59	2850	2868,02	1434,01	21,73	21,45		13,64	15,06	14,35	99,93101
60	2900	2918,02	1459,01	25,59	24,44	2D, 4E, 6C	17,5	18,05	17,775	82,08214
61	2950	2968,02	1484,01	27,42	26,12	10C, 11B, 12D	19,33	19,73	19,53	75,98618
62	3000	3018,02	1509,01	35,62	33,12	9C	27,53	26,73	27,13	55,62145
63	2768	2786,02	1393,01	41,66	36,13		33,57	29,74	31,655	44,006
64	2784	2802,02	1401,01	42,16	36,33	11C	34,07	29,94	32,005	43,77472
65	2830	2848,02	1424,01	42,66	36,73	9D, 11D	34,57	30,34	32,455	43,87644
66	2872	2890,02	1445,01	43,16	37,22	13A	35,07	30,83	32,95	43,85463
67	2900	2918,02	1459,01	43,66	37,67		35,57	31,28	33,425	43,65026

Sumber : Hasil Penelitian



LAMPIRAN IV

Hasil Regresi Beban dan Lendutan Eksperimen

Hasil Regresi Beban dan Lendutan Eksperimen

Benda uji	Beban Maks. (kg)	Lendutan Aktual Rata-rata (mm)
BBN-1	1659,01	14,88
BBN-2	1594,01	18,25
BBN-3	1609,01	18,815
BBP-1	1359,01	9,915
BBP-2	1619,01	25,1
BBP-3	1484,01	15,255
BBPC-1	1559,01	24,21
BBPC-2	1509,01	18,03
BBPC-3	1509,01	27,13

LAMPIRAN V

Hasil Regresi Beban dan Kekakuan Eksperimen

Hasil Regresi Beban dan Kekakuan Eksperimen

Nama Benda Uji	P Maks. Aktual (kg)	Kekakuan (kg/mm)	Rata-Rata Kekakuan Aktual (kg/mm)
BBN-1	1659,01	201,79	213,9202
BBN-2	1594,01	225,942	
BBN-3	1609,01	214,024	
BBP-1	1359,01	196,763	187,287
BBP-2	1619,01	191,923	
BBP-3	1484,01	173,174	
BBPC-1	1559,01	185,181	179,406
BBPC-2	1509,01	174,787	
BBPC-3	1509,01	178,249	

LAMPIRAN VI

Hasil Regresi Beban dan Lendutan Teoritis

Hasil Regresi Beban dan Lendutan Teoritis

Benda uji	Beban Maks. (kg)	Lendutan Teoritis (mm)
BBN-1	1659,01	0,343441
BBN-2	1594,01	0,329985
BBN-3	1609,01	0,33309
BBP-1	1359,01	0,304372
BBP-2	1619,01	0,362603
BBP-3	1484,01	0,332368
BBPC-1	1559,01	0,367777
BBPC-2	1509,01	0,355982
BBPC-3	1509,01	0,355982

LAMPIRAN VII

Hasil Regresi Beban dan Kekakuan Teoritis

Hasil Regresi Beban dan Kekakuan Teoritis

Nama Benda Uji	P Maks. Aktual (kg)	Kekakuan Teoritis (kg/mm)
BBN-1	1659,01	43068,542
BBN-2	1594,01	
BBN-3	1609,01	
BBP-1	1359,01	40249,295
BBP-2	1619,01	
BBP-3	1484,01	
BBPC-1	1559,01	38506,846
BBPC-2	1509,01	
BBPC-3	1509,01	

LAMPIRAN VIII

Dokumentasi Eksperimen dan Pengujian Benda Uji

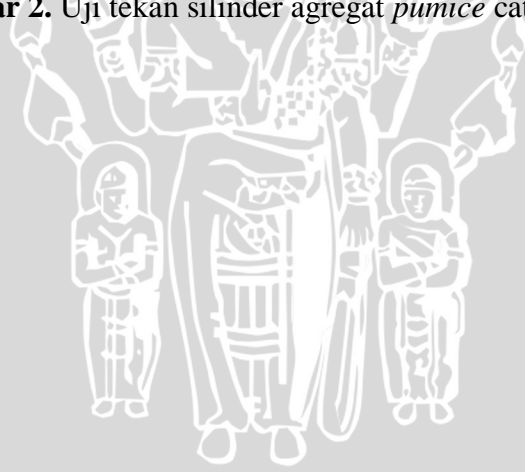


Gambar 1. Uji tekan silinder agregat kerikil





Gambar 2. Uji tekan silinder agregat *pumice* cat





Gambar 3. Uji tekan silinder agregat pumice



Gambar 4. Uji pembebanan beton agregat kerikil 1



Gambar 5. Uji pembebanan beton agregat kerikil 2





Gambar 6. Uji pembebanan beton agregat kerikil 3



Gambar 7. Uji pembebanan beton agregat *pumice* 1



Gambar 10. Uji pembebanan beton agregat *pumice* cat 1



Gambar 11. Uji pembebanan beton agregat *pumice* cat 2



Gambar 12. Uji pembebanan beton agregat *pumice* cat 3

