

PERPUSTAKAAN FTSP - UII	
FAKULTAS TEKNIK SIPIL	
TGL. TERIMA :	05-12-2007
NO. JUDUL :	2701
NO. INV. :	5120002701001
NO. INDUK. :	002701

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENAMPANG BETON BERTULANG
PADA BALOK YANG BERONGGA**

*THE ANALISYS OF REINFORCED CONCRETE PROFILE AT THE
HOLLOW BEAM*

Diajukan Kepada Univesitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil



ARISFAN
03 511 146

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2007**

TUGAS AKHIR

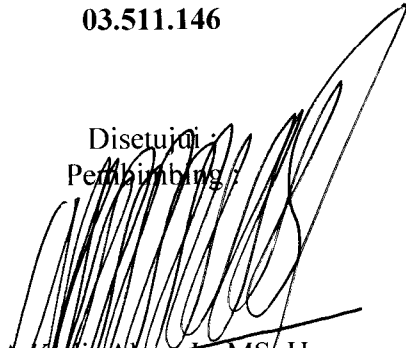
ANALISIS PENAMPANG BETON BERTULANG PADA BALOK YANG BERONGGA

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Jogjakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Sipil

Disusun Oleh :

Arisfan
03.511.146

Disetujui :
Pembimbing :


A. Kadir Abd. H. MS. H

Tanggal: 17/09-2007

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Dengan perasaan bahagia dan sujud syukur
Berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya
kupersembahkan Laporan Tugas Akhir ini kepada:*

- ~ Bapak tercinta*
- ~ Mamak tercinta*
- ~ Kedua kakakku tercinta*
- ~ Adikku tercinta*
- ~ Suci Pritari*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji dan syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, shalawat serta salam ditujukan kepada Rasulullah SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tentang **ANALISIS PENAMPANG BETON BERTULANG PADA BALOK YANG BERONGGA** ini dengan baik.

Tugas akhir ini dilakukan guna melengkapi salah satu syarat untuk mencapai Derajat Kesarjanaan (S1) di jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyelesaian laporan ini penyusun telah banyak mendapat bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, untuk itu penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, atas anugerah-Nya yang telah melapangkan hati dan pikiran serta rahmat-Nya.
2. Nabi Muhammad SAW, yang telah menunjukkan jalan yang lurus kepada umat manusia.
3. Bapak Ir. A. Kadir Aboe, MT, selaku dosen pembimbing yang penuh kesabaran dan ketekunan telah menuangkan waktunya untuk membimbing penulis, serta telah memberikan banyak sekali ide-ide dasar dan ilmu pengetahuan hingga selesainya penelitian penulis.

4. Bapak Ir. Tri Fajar Budiono, MT dan bapak Ir. H. Kasam, MT, selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan saran-saran dalam penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Ir. Ruzardi, MS selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Ir. Faisal, AM, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
7. Bapak dan Ibu tercinta, kakak dan adikku serta Uchai tersayang yang senantiasa memberikan doa, semangat dan dukungan baik moril maupun materil.
8. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (Mas Ndaru dan Mas Warno), Laboratorium Struktur (Mas Aris) dan seluruh lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
9. Rekan-rekan : Fikri, Alamsyah, Yogi Indra, Riki Emiliano, Mirwan, Mizam, Mbah, Eq serta semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu yang telah banyak memberikan bantuan ide-ide, dukungan dan tenaganya.

Penulis menyadari bahwa hasil karya penelitian tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis sangat terbuka dalam menerima kritik dan saran dari pembaca. Namun penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dipergunakan sebagai tambahan pustaka serta menjadi sumber ide-ide bagi peneliti yang akan datang. Amin.

Wabillahi taufik walhidayah

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, Juli 2007

Penulis

ABSTRAKSI

Di dalam pelaksanaan pembangunan gedung, sering sekali pelaksana pembangunan melaksanakan pekerjaan tidak sesuai dengan peraturan yang berlaku. Hal ini dikarenakan karena tuntutan waktu dan biaya yang akan dikeluarkan. Hal yang biasa terjadi dilapangan hasil pengecoran banyak terdapat pori atau rongga. Umumnya terjadi pada pertemuan balok dengan balok, balok dengan kolom, daerah dimana tulangan cukup rapat dan pada daerah penutup beton.

Sebagai salah satu elemen struktur dari bangunan gedung, balok mempunyai fungsi yang sangat penting didalam sistem struktur bangunan. Balok memikul beban dari plat lantai, kemudian diterima oleh kolom dan diteruskan ketanah melalui pondasi. Kegagalan balok akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan. Oleh karena itu dilakukan penelitian pengaruh rongga atau pori yang terdapat pada balok beton bertulang.

Pada penelitian ini dibuat benda uji balok beton bertulang sebanyak 3 tipe. Balok kontrol sebanyak 2 buah, balok herongga 10% sebanyak 3 buah dan balok berongga 20% sebanyak 3 buah. Penampang balok memiliki ukuran lebar (b) = 150 mm, tinggi (h) = 250 mm dan panjang balok (L) = 1000 mm. Sebagai bahan pembentuk rongga digunakan styrofoam.

Mutu beton yang digunakan untuk ketiga tipe balok tersebut sama. Yang membedakan adalah untuk balok yang herongga ketika melakukan pengecoran dimasukkan sterofom kedalam beton. Pengujian yang dilakukan dilaboratorium adalah pengujian kuat lentur balok.

Data dari pengujian yang diperoleh adalah beban, lendutan dan panjang retak. Dan setelah dianalisis diperoleh perbandingan kuat lentur masing-masing balok dimana kuat lentur balok BP10 dan BP20 mengalami penurunan terhadap balok BN sebesar 11,76% dan 24,80%. Kelengkungan yang terjadi mengalami kenaikan terhadap balok BN sebesar 69% dan 144%. Jika ditinjau dari kekakuan balok mengalami penurunan sebesar 55,74% dan 43,48%. Sedangkan jika ditinjau dari daktilitas yang terjadi mengalami penurunan sebesar 28% dan 45%.

Kata kunci : Rongga, pori

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAKSI	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Umum.....	4
2.2 Bahan Susun	6
2.2.1 Semen	6
2.2.2 Agregat Kasar.....	9
2.2.3 Agregat Halus (Pasir)	10
2.2.4 Air.....	10
2.2.5 Baja Tulangan.....	11
2.2.6 <i>Styrofoam</i>	12

2.3	Balok Terlentur	13
2.3.1	Keruntuhan Balok	13
2.3.2	Kegagalan Geser	14
2.4	Penelitian Terdahulu	15
BAB III	LANDASAN TEORI	17
3.1	Analisis Lentur	17
3.2.1	Kemungkinan a.....	18
3.2.2	Kemungkinan b	19
3.2	Analisis geser	19
3.2.1	Kuat Geser Yang Disumbangkan Beton	20
3.2.1	Kuat Geser Yang Disumbangkan Tulangan Geser.....	20
3.3	Hubungan Beban dan Lendutan	21
3.4	Analisis Momen-Kelengkungan.....	22
3.5.1	Kelengkungan Balok	22
3.3.2	Leleh dan Ultimit Momen-Kelengkungan	25
3.5	Kuat Lentur Balok	26
3.6	Kekakuan Balok	27
3.7	Daktilitas Balok	27
BAB IV	METODE PENELITIAN	28
4.1	Bahan Dan Benda Uji.....	28
4.1.1	Bahan.....	28
4.1.2	Benda Uji.....	29
4.2	Peralatan Penelitian	30
4.3	Perlakuan Penampang	32
4.3.1	Dimensi Penampang.....	32
4.3.2	Panjang Bentang.....	33
4.3.3	Jumlah Tulangan	33
4.4	Perlakuan Balok	34
4.3.1	Balok Beton Bertulang Normal (BN).....	34

4.3.2	Balok Beton Bertulang Pori 10%.....	34
4.3.3	Balok Beton Bertulang Pori 20%.....	34
4.5	Pelaksanaan Penelitian	35
4.5.1	Persiapan Bahan	35
4.5.2	Pembuatan Sampel	35
4.5.3	Perawatan Benda Uji	37
4.5.3	Proses Pengujian.....	38
4.6	Pengamatan	40
4.6.1	Pembebanan.....	40
4.6.2	Lendutan (<i>defleksi</i>).....	40
4.6.3	Retak.....	40
4.7	Bagan Alir Penelitian	41

BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	42
5.1	Pendahuluan	42
5.2	Agregat	42
5.3	Kuat Tarik Baja	43
5.4	Slump	44
5.5	Kuat Desak Beton	45
5.6	Balok Beton Bertulang	46
5.6.1	Hubungan Beban-Lendutan.....	46
5.6.2	Hubungan Momen-Kelengkungan	51
5.6.3	Analisa Kekakuan Balok	54
5.6.3	Analisa Daktilitas Simpangan dan daktilitas Kelengkungan.....	55
5.7	Analisa Retak Balok	56
5.7.1	Perilaku Pola Retak Balok.....	56
5.7.2	Hubungan Momen dan Panjang Retak	61
5.8	Pembahasan	62
5.8.1	Kuat Lentur Balok	62

5.8.2	Kuat Lentur Balok Ditinjau dari Hubungan Beban-Lendutan.....	63
5.8.3	Kuat Lentur Balok Ditinjau dari Hubungan Momen-Kelengkungan.....	63
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	65
6.1	Kesimpulan	65
6.2	Saran	65
	DAFTAR PUSTAKA	67
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Susunan Unsur dalam Semen	7
Tabel 2.2	Jenis dan kelas baja tulangan sesuai SII 0136-80.....	12
Tabel 5.1	Hasil pengujian material.....	43
Tabel 5.2	Hasil pengujian kuat tarik baja.....	43
Tabel 5.3	Hasil pengujian sifat mekanik beton	45
Tabel 5.4	Kuat lentur balok beton bertulang	51
Tabel 5.5	Hubungan momen-kelengkungan teoritis	52
Tabel 5.6	Hubungan momen-kelengkungan pengujian pada beban 12000 kg..	53
Tabel 5.7	Analisa kekakuan balok.....	54
Tabel 5.8	Analisa daktilitas balok	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh hasil pengecoran yang keropos pada kolom	2
Gambar 2.1	Hubungan umur dan kuat tekan pada unsur-unsur semen.....	8
Gambar 3.1	Blok tegangan ekuivalen Whitney tulangan rangkap.....	18
Gambar 3.2	Jarak spasi sengkang berdasarkan syarat kekuatan	21
Gambar 3.3	Defleksi balok terlentur	22
Gambar 3.4	Kelengkungan balok (Park dan Paulay, 1975).....	23
Gambar 3.5	Defleksi pada balok	24
Gambar 3.6	Kurva momen-kelengkungan	26
Gambar 4.1	Alat uji kuat tekan beton	31
Gambar 4.2	Penampang melintang balok uji	33
Gambar 4.3	Penampang memanjang balok uji.....	33
Gambar 4.4	Bagan alir penelitian	41
Gambar 5.1	Hubungan beban-lendutan balok normal	47
Gambar 5.2	Hubungan beban-lendutan balok pori 10%.....	48
Gambar 5.3	Hubungan beban-lendutan balok pori 20%.....	49
Gambar 5.4	Hubungan beban-lendutan balok BN, BP10% dan BP 20%.....	50
Gambar 5.5	Hubungan momen-kelengkungan teoritis	52
Gambar 5.6	Hubungan momen-kelengkungan pengujian.....	53
Gambar 5.7	Pola retak pada balok BN1 sisi kiri	56
Gambar 5.8	Pola retak pada balok BN1 sisi kanan	56
Gambar 5.9	Pola retak pada balok BN2 sisi kiri	57
Gambar 5.10	Pola retak pada balok BN2 sisi kanan	57

Gambar 5.11	Pola retak pada balok BP10-1 sisi kiri	57
Gambar 5.12	Pola retak pada balok BP10-1 sisi kanan	57
Gambar 5.13	Pola retak pada balok BP10-2 sisi kiri	58
Gambar 5.14	Pola retak pada balok BP10-2 sisi kanan	58
Gambar 5.15	Pola retak pada balok BP10-3 sisi kiri	58
Gambar 5.16	Pola retak pada balok BP10-3 sisi kanan	58
Gambar 5.17	Pola retak pada balok BP20-1 sisi kiri	59
Gambar 5.18	Pola retak pada balok BP20-1 sisi kanan	59
Gambar 5.19	Pola retak pada balok BP20-2 sisi kiri	59
Gambar 5.20	Pola retak pada balok BP20-2 sisi kanan	59
Gambar 5.21	Pola retak pada balok BP20-3 sisi kiri	60
Gambar 5.22	Pola retak pada balok BP20-3 sisi kanan	60
Gambar 5.23	Grafik Momen dan panjang retak untk daerah tumpuan kiri	61
Gambar 5.24	Grafik Momen dan panjang retak untk daerah tumpuan kanan	62

DAFTAR NOTASI

a	Tinggi blok tegangan
A	Luas benda uji
A_s	Luas tulangan tarik
A_s'	Luas tulangan tekan
b	Lebar balok
b_w	Lebar badan balok T atau L
c	Jarak sumbu netral penampang keserat paling tertekan
C_c	Gaya tekan beton
C_s	Gaya tekan baja
d	Tinggi efektif balok
d'	Jarak dari tepi serat tertekan ke pusat tulangan tekan
D	Diameter baja tulangan
E_c	Modulus elastis beton
E_s	Modulus elastis baja
f'_c	Kuat tekan beton
f'_s	Tegangan baja tekan
f_r	Modulus keruntuhan beton
f_u	Tegangan tarik ultimit
f_y	Tegangan leleh baja
h	tinggi balok
I	Inersia penampang
jd	lengan dari titik berat baja dan beton tekan ke titik berat tulangan dan beton tarik
k	factor tinggi garis netral
L	Panjang balok
M	Momen
M_{cr}	Momen retak dari beton
M_n	Momen nominal
M_y	Momen leleh pertama

P	Gaya, beban
P_u	Beban ultimit
P_y	Beban leleh
S	Momen statis dari bagian yang tergeser terhadap garis netral
T_s	Gaya tarik pada baja
V	Gaya lintang
V_c	Gaya geser beton
V_n	Gaya geser nominal total
V_s	Gaya geser yang ditahan oleh sengkang
Δ	Lendutan, defleksi
Δ_y	Lendutan leleh
β	Konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton
ϵ_c	Regangan beton
ϵ_s	Regangan baja tarik
ϵ_s'	Regangan baja tekan
ϵ_y	Regangan leleh baja
ρ	Rasio luas penampang tulangan tarik terhadap luas efektif penampang balok
ρ_b	Rasio tulangan seimbang
ϕ	Kelengkungan
ϕ_y	Kelengkungan leleh pertama

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A1	Hasil Pemeriksaan berat jenis Agregat Halus
Lampiran A2	Hasil Pemeriksaan berat jenis Agregat Kasar (Kerikil)
Lampiran A3	Data Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar
Lampiran A4	Data Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus
Lampiran A5	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja
Lampiran B	Perencanaan Adukan Beton
Lampiran C1	Pengujian Kuat Desak Silinder
Lampiran C2	Tabel Pengujian Desak Silinder
Lampiran C3	Grafik Kuat Desak Silinder
Lampiran D	Perhitungan Kapasitas Tampang
Lampiran E1	Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Balok BN1
Lampiran E2	Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Balok BN2
Lampiran E3	Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Balok BP10-1
Lampiran E4	Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Balok BP10-2
Lampiran E5	Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Balok BP10-3
Lampiran F6	Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Balok BP20-1
Lampiran E7	Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Balok BP20-2
Lampiran F8	Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Balok BP20-3
Lampiran E9	Grafik Hubungan Beban-Lendutan BN1, BN2, BP10-1
Lampiran E10	Grafik Hubungan Beban-Lendutan BP10-2, BP10-3, BP20-1
Lampiran E11	Grafik Hubungan Beban-Lendutan BP20-2, BP20-3

Lampiran E12	Grafik Hubungan Beban-Lendutan
Lampiran E13	Grafik Hubungan Beban-Lendutan Gabungan
Lampiran E14	Perhitungan Beban-Lendutan Teoritis
Lampiran F1	Perhitungan Momen Retak Secara Teoritis
Lampiran F2	Perhitungan Momen-Kelengkungan Secara Teoritis
Lampiran F3	Tabel Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok BN1
Lampiran F4	Tabel Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok BN2
Lampiran F5	Tabel Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok BP10-1
Lampiran F6	Tabel Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok BP10-2
Lampiran F7	Tabel Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok BP10-3
Lampiran F8	Tabel Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok BP20-1
Lampiran F9	Tabel Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok BP20-2
Lampiran F10	Tabel Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok BP20-3
Lampiran F11	Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Gabungan
Lampiran F12	Tabel Nilai Kelengkungan Masing-masing Balok

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan ilmu dibidang teknik sipil sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Hal ini dapat dilihat dengan semakin berkembangnya pengetahuan tentang analisis struktur dengan beberapa metode perhitungan. Pemakaian komputer yang semakin berkembang, lebih mamacu pemecahan hitungan-hitungan yang semakin rumit.

Salah satu cabang ilmu dibidang teknik sipil, adalah analisis dan desain beton bertulang. Sekarang ini semakin banyak ragam struktur beton bertulang yang digunakan sebagai elemen struktur, antara lain untuk konstruksi bangunan gedung, konstruksi jembatan dan lain sebagainya.

Prinsip yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung adalah kekuatan yang ditimbulkan struktur harus mampu menahan kekuatan yang berasal dari luar. Oleh karena itu, dalam merencanakan struktur balok harus memperhitungkan secara cermat dengan memberikan tambahan cadangan kekuatan yang lebih tinggi dari pada untuk komponen struktur yang memberikan beban kepadanya.

Di dalam pelaksanaan pembangunan gedung, sering sekali pelaksana pembangunan melaksanakan pekerjaan tidak sesuai dengan peraturan yang berlaku. Ini dapat menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan struktur yang dihasilkan, karena sering terjadi hasil pengecoran kurang baik atau beton keropos. Hal ini dikarenakan karena tuntutan waktu dan biaya yang akan dikeluarkan. Yang biasa terjadi dilapangan hasil pengecoran banyak terdapat pori atau rongga. Umumnya terjadi pada pertemuan balok dengan balok, balok dengan kolom. daerah dimana tulangan cukup rapat dan pada daerah penutup beton. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Contoh hasil pengecoran yang keropos pada kolom

Berdasarkan hal ini, akan diadakan suatu penelitian tentang pengaruh rongga atau pori yang terdapat didalam balok beton bertulang. Karena sebagai salah satu elemen struktur dari bangunan gedung, balok mempunyai fungsi yang sangat penting didalam sistem struktur bangunan. Balok memikul beban dari plat lantai, kemudian diterima oleh kolom dan diteruskan ketanah melalui pondasi. Kegagalan balok akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang masalah tersebut diatas maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana cara meneliti balok yang mempunyai rongga-rongga.
- b. Seberapa jauh pengaruh rongga di dalam balok terhadap kekuatan balok itu sendiri.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pori pada balok beton bertulang terhadap kekuatannya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

- a. Manfaat teoritis, untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dalam bidang struktur beton bertulang khususnya balok.
- b. Manfaat praktis, untuk mengetahui batasan pengaruh rongga udara didalam balok beton bertulang.

1.5 Batasan masalah

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh rongga terhadap pengurangan kekuatan balok, maka pada penelitian ini ditentukan batasan masalah sebagai berikut :

- a. Balok yang akan di analisa adalah balok dari beton bertulang penampang persegi dengan ukuran penampang $b = 150$ mm, $h = 250$ mm dan panjangnya 1000 mm.
- b. Diameter baja tulangan yang dipakai untuk tulangan tekan adalah P6,5 mm, sedangkan untuk diameter tulangan tarik D11,5 mm dan diameter sengkang yang digunakan P8,3 mm.
- c. Kuat tarik beton diabaikan.
- d. Peraturan-peraturan yang digunakan dalam analisis ini berdasarkan peraturan yang berlaku di Indonesia.
- e. Tegangan beton yang digunakan dalam perhitungan adalah $f_c = 25$ MPa. Kuat tarik baja untuk tulangan tekan adalah 416,59 MPa, untuk tulangan tarik 348,55 MPa dan kuat tarik baja untul sengkang adalah 321,47 MPa.
- f. Volume rongga yang dianalisis yaitu 10% dan 20%.
- g. Pengujian yang dilakukan di laboratorium yaitu pengujian lentur balok.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada saat beton segar dituangkan dalam bekisting, maka diantara dinding dan beton, juga didalam campuran beton sendiri terdapat banyak udara. Jika pemadatan yang dilakukan kurang baik, maka udara itu akan membentuk banyak ruang kosong dalam beton atau beton kurang padat. Ruang kosong ini sangat merugikan bagi kualitas beton. Karenanya, beton segar yang baru dicor harus segera dipadatkan. Tujuan pemadatan adalah untuk menghilangkan rongga-rongga dan untuk mencapai kepadatan yang maksimal. Pemadatan juga menjamin suatu pelekatan yang baik antara beton dengan permukaan antara beton dengan permukaan baja tulangan atau sarana lain yang ikut dicor.

Metode pemadatan beton itu banyak dan berbeda-beda pula yaitu :

1. Pemadatan dengan tangan

Pemadatan dengan tangan ada dua cara yaitu dengan cara menusuk-nusuk dan memukul. Cara menusuk-nusuk yaitu dengan menggunakan sepotong kayu atau batang lain (misalnya diameter 16 mm) yang dinamakan batang tusukan atau rojokan, dapat ditusuk-tusukkan kedalam beton segar. Cara menusuk-nusuk ini didapatkan spesi beton yang cukup padat dan kelecakan harus cukup pula agar mendapat hasil yang baik. Karena tenaga tusukan yang digunakan kecil, maka pemadatan spesi beton yang kurang lecek tidak begitu baik. Sedangkan memukul yakni dengan menggunakan palu yang terbuat dari kayu, yaitu dengan cara mengetuk-ngetuk bekisting. Metode ini dapat digunakan bila spesi yang dipakai kental, misalkan pada lantai yang tidak begitu tebal. Beton dapat dipadatkan dengan menumbuk untuk tebal lapisan setinggi-tingginya 100 mm.

2. Pemadatan dengan menggunakan alat

Disamping pemadatan menggunakan tangan, untuk pekerjaan beton skala besar biasanya digunakan pemadatan mekanis. Mesin-mesin yang sesuai untuk penggunaan dilapangan ada tiga jenis utama, yaitu mesin getar yang digunakan secara *intern*, mesin getar yang ditempelkan pada acuan (*form work*), mesin getar permukaan (*surface vibration*). Yang umum digunakan untuk struktur gedung adalah mesin getar yang digunakan secara *intern* yaitu jarum penggetar (*vibrator*). Cara penggunaannya adalah masukkan jarum penggetar dalam arah vertikal kedalam spesi beton. Bila tampak permukaan spesi disekitar jarum penggetar mulai licin, tarik perlahan-lahan sehingga lubang yang ditinggalkan jarum penggetar akan menutup dengan sendirinya. Pada saat melakukan penggetaran jangan sampai menggetarkan konstruksi bangunan. Hindarkan singgungan antara alat penggetar dan bekisting. Pengangkutan/pemindahan spesi beton dengan menggunakan alat penggetar tidak diizinkan.

Pada pembuatan beton Kelas III penggunaan alat-alat penggetar ini adalah diwajibkan. Dalam hal ini digunakan alat penggetar, maka slump dari betonnya harus disesuaikan dengan itu dan pada umumnya tidak boleh digunakan slump yang lebih dari 12,5 cm (PBI 1971 Bab 6.4).

Agar diperoleh kepadatan maksimal, disini perlu penggunaan suatu campuran yang mempunyai kemudahan pengerjaan, sehingga memungkinkan operator untuk mengecor pada suatu posisi tanpa mengalami kesukaran, dengan peralatan yang telah dimilikinya. Dipihak lain, penting agar campuran jangan terlalu basah, karena tak disangsikan lagi agar terjadi segregasi (pemisahan butiran), "laitance" (bagian beton yang jelek kualitasnya), timbul secara berlebihan dibagian atas yang dicor, lemah, dan kepadatan yang rendah, karena ruang yang ditempati oleh air yang berlebihan. Suatu indikasi/petunjuk kehilangan kekuatan yang disebabkan oleh adanya rongga-rongga.

Rongga-rongga termasuk volume udara yang terperangkap, dan rongga-rongga yang terbentuk oleh pengeringan air yang berlebihan, sehingga jelaslal,

bahwa rongga yang terbentuk tergantung pada keadaan pengecoran, antara penyediaan workabilitas yang memadai dan perlu pengurangan faktor air semen sebanyak mungkin (Murdock dan Brook, 1986).

2.2 Bahan Susun

2.2.1 Semen

Semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16 (Edward G Nawi, 1998).

Semen portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982).

Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat, walaupun semen hanya kira-kira mengisi sepuluh persen saja dari volume beton (Kardiyono, 1992).

Ketika semen dan agregat dicampur dengan air, timbullah reaksi kimia antara campuran-campurannya dengan air. Pada tingkat awal, sejumlah kecil dari "retarder" (gyps) cepat terlarut, dan dapat berpengaruh terhadap reaksi-reaksi kimia lain yang sedang mulai. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan.

Menurut Murdock dan Brook, ada empat macam senyawa yang paling penting di dalam semen yaitu:

1. Tricalcium Aluminate (tiga molekul kapur terikat pada satu alumina) C_3A
Senyawa ini mengalami hidrasi secara cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas, menyebabkan pengerasan awal, tetapi kurang kontribusinya pada kekuatan batas. Kurang ketahanannya terhadap agresi kimiawi, paling menonjol mengalami disintegrasi oleh sulfat air tanah dan tendensinya sangat besar untuk retak-retak oleh perubahan volume.

2. Tricalcium silikat (tiga molekul kapur pada satu silikat) C_3S
Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam, dengan melepas sejumlah panas. Kwantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruhnya terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama dalam 14 hari pertama.
3. Dicalcium Silicat (duamolekul kapur pada satu silikat) C_2S
Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat. Senyawa ini berpengaruh terhadap progres peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 sampai 28 hari, dan seterusnya. Semen yang mempunyai proporsi dicalcium silicat banyak mempunyai ketahanan terhadap agresi kimia yang relatif tinggi, penyusutan kering yang relatif rendah, oleh karenanya merupakan semen portland yang paling awet.
4. Tetra calcium aluminoferrite (empat molekul kapur pada satu alumina dan satu besi oksida) C_4AF
Reaksi senyawa aluminoferrite kurang penting karena tidak tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen keras lainnya.

Unsur-unsur pokok yang terdapat dalam semen portland dapat dilihat dalam Tabel 2.1. Oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan (Kardiyono, 1992).

Tabel 2.1 Susunan Unsur Dalam Semen (Nevile,1975)

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60 – 65
Silika, SiO ₂	17 – 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
Magnesia, MgO	0,5 – 4
Sulfur, SO ₃	1 – 2
Soda / potash Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1

Semen portland di Indonesia (PUBI-1982) dibagi menjadi 5 jenis, yaitu:

Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti diisyaratkan pada jenis-jenis lain.

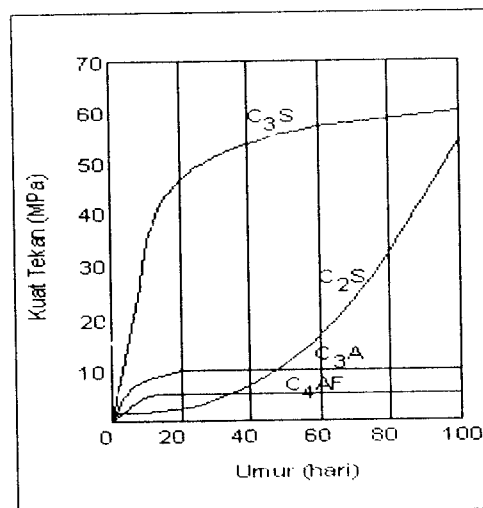
Jenis II : Semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

Jenis III : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.

Jenis IV : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.

Jenis V : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Penyimpanan semen tidak boleh terganggu sampai semen tersebut dipakai. Akibat tidak sempurnanya penyimpanan semen dalam jangka waktu lama, dapat menyebabkan kualitas semen menjadi buruk. Semen yang telah disimpan lebih dari 6 bulan sejak dibuat, atau semen dalam kantong-kantong penyimpanan lokal (penyalur) lebih dari 3 bulan, perlu diuji sebelum digunakan (Kardiyono, 1992).



Gambar 2.1 Hubungan umur dan kuat tekan pada unsur-unsur semen

(Sumber: Kardiyono Tjokrodimoeljo, 1992)

2.2.2 Agregat Kasar

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi 6mm. Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen (Edward G Nawi, 1998).

Jenis agregat kasar yang umum adalah :

1. Batu pecah alami

Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari gunung api, jenis sedimen, atau jenis metamorf. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.

2. Kerikil alami

Kerikil didapat dari proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah dari pada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.

3. Agregat kasar buatan

Terutama berupa *slag* yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain seperti dari *blast-furnace* dan lain-lain.

4. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat

Dengan adanya tuntutan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini, juga untuk pelindung dari radiasi nuklir sebagai akibat dari semakin banyaknya pembangkit atom dan stasiun tenaga nuklir, maka perlu ada beton yang dapat melindungi dari sinar x, sinar gamma, dan neutron. Agregat kasar yang diklasifikasikan disini misalnya baja pecah, barit, magnetit, dan limonit. Sifat beton penahan radiasi yang berbobot berat ini bergantung

pada kerapatan dan kepadatannya, hampir tidak tergantung pada sektor air semennya.

2.2.3 Agregat Halus (Pasir)

Agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolik. (SK SNI 03-2847-2002).

Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. (SK SNI 03-2847-2002).

Pasir adalah bahan batuan berukuran kecil dengan ukuran diameter butirnya antara 0,15 mm sampai 5 mm. (Kardiyono Tjokrodimoeljo, 1992).

Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat keringnya. Apabila kadar lumpur melebihi 5%, maka pasirnya harus dicuci. Lumpur pada pasir dapat menghalangi ikatan dengan pasta semen. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan pengujian warna dari Abrams-Harder. Pasir yang tidak memenuhi pengujian warna ini dapat juga dipakai asal kuat desak adukan dengan pasir tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% kuat desak adukan dengan pasir yang sama, tetapi telah dicuci dalam larutan NaOH 3% yang kemudian dicuci dengan air hingga bersih. Bahan-bahan organik itu dapat mengadakan reaksi dengan senyawa-senyawa dari semen Portland, hingga berakibat berkurangnya kualitas adukan. (Gideon Kusuma, 1993).

2.2.4 Air

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya akan berkurang, sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran, tetapi kekuatan hancur beton menjadi rendah. Proporsi air ini dinyatakan dalam rasio air-semen (*water-cement ratio*), yaitu angka yang

menyatakan perbandingan antara berat air (kg) dibagi dengan berat semen (kg) dalam adukan beton tersebut. (L. Wahyudi dan Syahril A. Rahim, 1997).

Air pada campuran mortar berfungsi sebagai media untuk mengaktifkan pada reaksi semen, pasir, dan kapur agar saling menyatu. Air juga berfungsi sebagai pelumas antara butir-butir pasir yang berpengaruh pada sifat mudah dikerjakan (*workability*) adukan mortar. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya 30% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air ini dipakai sebagai pelumas. (Kardiyono Tjokrodimoeljo, 1992).

2.2.5 Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan bahan yang digunakan sebagai tulangan pada konstruksi beton bertulang dan merupakan bahan utama yang dihitung untuk memikul kekuatan tarik pada konstruksi beton bertulang. Sifat fisik baja tulangan yang paling penting yang paling penting digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah tegangan luluh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s). Tegangan luluh adalah tegangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya.

Disamping usaha standarisasi yang telah dilakukan oleh masing-masing negara produsen baja, kebanyakan produksi baja tulangan beton pada dewasa ini masih berorientasi pada spesifikasi teknis yang ditetapkan ASTM. Di Indonesia produksi baja tulangan dan baja struktur telah diatur sesuai dengan Standar Industri Indonesia (SII 0136-80).

Tabel 2.2 Jenis dan kelas baja tulangan sesuai SII 0136-80

JENIS	KELAS	SIMBOL	BATAS ULUR MINIMUM N/mm ² (kgf/mm ²)	KUAT TARIK MINIMUM N/mm ² (kgf/mm ²)
polos	1	BJTP24	235 (24)	382 (39)
	2	BJTP30	294 (30)	480 (49)
defor- masian	1	BJTD24	235 (24)	382 (39)
	2	BJTD30	294 (30)	480 (49)
	3	BJTD35	343 (35)	490 (50)
	4	BJTD40	392 (40)	559 (57)
	5	BJTD50	490 (50)	610 (63)

2.2.6 Styrofoam

Styrofoam termasuk dalam kategori polimer sintetik dengan berat molekul tinggi. Polimer sintetik berbahan baku monomer berbasis *etilena* serta berbagai turunannya yang berasal dari perengkahan minyak bumi. *Styrofoam* hanya sebuah nama dalam dunia perdagangan, nama sesungguhnya adalah *polystyrene* atau *poli(feniletena)* dalam bentuk *foam*. *Feniletena* atau *styrene* dapat dipolimerkan dengan menggunakan panas, sinar ultraviolet, atau katalis. *Poli(feniletena)* merupakan bahan termo plastik yang bening (kecuali jika ditambahkan pewarna atau pengisi), dan dapat dilunakkan pada suhu sekitar 100° C. *Poli(feniletena)* tahan terhadap asam, basa dan zat pengarat (korosif) lainnya, tetapi mudah larut dalam hidrokarbon aromatik dan berklor. Dalam propanon (*aseton*) *poli(feniletena)* hanya mengembang. Penyinaran dalam waktu lama oleh sinar ultra-ungu, sinar putih, atau panas, sedikit mempengaruhi kekuatan dan ketahanan

polimer terhadap panas. *Poli(feniletena)* berbusa atau *styrofoam* diperoleh dari pemanasan *poli(feniletena)* yang menyerap hidrokarbon volatil. Ketika dipanasi oleh kukus (steam), butiran akan melunak, dan penguapan hidrokarbon didalam butiran akan menyebabkan butiran mengembang.

2.3 Balok Terlentur

2.3.1 Keruntuhan Balok

Menurut SNI T-15-1991-03 berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami oleh balok, dapat dikelompokkan menjadi tiga keruntuhan yaitu :

1) Keruntuhan tarik (*tension failure*)

Keruntuhan tarik akan terjadi bila prosentase baja tulangan suatu penampang balok relatif kecil ($\rho < \rho_b$) sehingga tulangan ini lebih dulu mencapai regangan lelehnya sebelum regangan beton tekan mencapai maksimum. Pada tahap ini, regangan baja tulangan $\epsilon_s = \epsilon_{sy}$ dan regangan beton $\epsilon_c < \epsilon_{cu}$. Peningkatan beban luar berikutnya akan memperbesar deformasi baja tulangan secara plastis, yang kemudian memperlebar retak pada daerah tarik beton. Selama proses deformasi, tegangan baja tetap konstan sebesar (f_y). Tetapi, untuk mengimbangi peningkatan beban tersebut, tegangan tekan beton akan bertambah bersama dengan naiknya sumbu netral dan resultan tegangan tekan C (bila daerah tarik terletak dibawah), yang menyebabkan bertambahnya jarak antara kedua resultan gaya internal z , dan momen internal Tz. Proses ini terus berlanjut hingga daerah tekan beton retak atau regangan serat tekan beton $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$.

Penampang balok yang memiliki prosentase tulangan seperti ini disebut sebagai balok perkuatan-kurang (*underreinforced beams*). Penampang akan mengalami deformasi plastis yang cukup besar sehingga menimbulkan retak-retak pada daerah tarik yang merupakan tanda bahwa balok tersebut hancur. Keruntuhan inilah yang disebut keruntuhan tarik (*tension failure*).

2) Keruntuhan Imbang (*balance failure*)

Keadaan seimbang terpenuhi bila regangan pada tulangan tarik tepat mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh yang ditentukan f_y

dan pada saat yang sama, bagian beton yang tertekan mencapai regangan batas 0,003. Jika beton maupun baja tulangan mencapai regangan atau tegangan maksimumnya secara bersamaan, keruntuhan penampang ini merupakan keruntuhan imbang (*balance failure*).

3) Keruntuhan tekan (*compression failure*)

Jika prosentase tulangan cukup besar ($\rho > \rho_b$) sehingga tegangan di serat beton lebih dulu mencapai kapasitas maksimumnya sebelum tegangan pada baja tulangan meleleh, disebut perkuatan berlebihan (*overreinforced*). Pada kondisi ini regangan beton $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$ dan regangan baja tulangan $\epsilon_s < \epsilon_{sy}$, keruntuhannya akan terjadi di daerah tekan beton sehingga disebut keruntuhan tekan (*compression failure*). Keruntuhan semacam ini terjadi secara tiba-tiba, bahkan sering disertai bunyi ledakan beton hancur, dan sebelumnya tidak ada tanda-tanda berupa defleksi yang besar.

2.3.2 Kegagalan geser

Menurut Phil M. Ferguson (1986) di dalam penentuan kuat geser balok menempati posisi penting pada nilai banding bentang geser dan tinggi efektif (a/d). Berdasarkan nilai a/d , cara keruntuhan geser balok dapat diketahui tipe-tipe kegagalannya (Ferguson, 1986) :

1. Kegagalan Tarik Diagonal

Dalam masalah yang sederhana kegagalan tarik diagonal terjadi apabila bentang geser lebih besar dari $3d$ atau $4d$. Retak diagonal selalu berada dalam daerah sebesar a/d diatas 2, dan kadang-kadang pada nilai a/d yang lebih rendah. Retak seperti itu tidak segera menimbulkan kegagalan, walaupun dalam beberapa bentang geser yang lebih panjang.

2. Kegagalan Tekan-Geser

Kejadian pada kegagaian tekan geser apabila bentang geser adalah dari d sampai $2,5d$, dengan suatu pengaruh penurunan secara cepat dalam daerah nilai $2,5d$ sampai $4d$. Apabila bentang geser kecil, kekuatan geser bertambah

dengan geser ultimit lebih besar dua kali untuk $a = 1,5 d$ atau $a = 3,0d$. Retak diagonal selalu berada dalam daerah sebesar a/d sebesar 1,5 sampai 2,0.

3. Kegagalan Belah

Kejadian pada kegagalan belah atau kegagalan tekan dititik perletakan yang biasanya menyerupai pembelahan vertikal terjadi apabila bentang geser lebih kecil dari tebal efektif d .

2.4 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini dicantumkan beberapa hasil penelitian yang berhubungan dan digunakan sebagai tinjauan pustaka, antara lain :

1. Penelitian Hari Purwanto dan Cholis Yudianto (2000)

Penelitian yang berjudul **Penulangan Geser Minimum Dalam Balok Mutu Normal dan Balok Beton Mutu Tinggi (Studi Eksperimental)** membahas mengenai perbedaan perilaku balok mutu tinggi dan beton mutu normal dalam menahan lentur dan geser dengan menggunakan tulangan geser minimum jarak sengkang yang minimum ($d/2$) menurut SK-SNI. Dengan menggunakan benda uji berupa balok dengan ukuran lebar (b) = 150 mm, tinggi (h) = 200 mm dan panjang (L) = 2000 mm dengan menggunakan $2P_6$ untuk tulangan tekan, $5D_{12}$ untuk tulangan tarik dan diameter 6 untuk tulangan geser dengan jarak 100 mm dengan bentang geser sebesar 600 mm. Dari hasil pengujian lentur dan geser untuk balok mutu tinggi diperoleh kekuatan lentur sebesar 70-80 kN dan kekuatan gesernya sebesar 35-40 kN sedangkan untuk balok mutu normal diperoleh kekuatan lenturnya sebesar 55-70 kN dan kekuatan gesernya sebesar 27,5-35 kN. Dari hasil pengujian pada balok dapat diketahui peningkatan kemampuan balok dalam menerima gaya lentur dan gaya geser pada beton mutu tinggi dibandingkan dengan beton mutu normal. Dari hasil penelitian juga diperoleh kesimpulan bahwa balok uji seperti diatas dengan menggunakan tulangan geser minimum dan jarak maksimum ($d/2$)

ternyata balok masih mampu menahan geser yang terjadi, ini terbukti dari jenis keruntuhan yang terjadi yaitu balok runtuh karena lentur.

2. **Indra Saputra dan Heri Sulistiyo (2006)**

Penelitian yang berjudul **Analisis Kuat Geser dan Lentur Pada Balok Beton Bertulang Dengan Penempatan Kawat Strimin Bentuk Persegi Dua Lapis** membahas mengenai mencari alternatif lain untuk menggantikan peran sengkang pada daerah lentur maupun geser dengan kawat strimin tegak satu lapis. Dengan menggunakan benda uji berupa balok dengan ukuran lebar (b) = 150 mm, tinggi (h) = 300 mm dan panjang (L) = 1920 mm. Dari hasil pengujian pada balok dapat diketahui peningkatan kemampuan balok dalam menerima gaya lentur sangat kecil selisihnya. Dan penggunaan kawat strimin dapat meningkatkan kekakuan balok itu sendiri. Tetapi daktilitas simpangan yang terjadi mengalami penurunan dari pada balok yang tidak menggunakan kawat strimin.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Analisis lentur

Kekuatan lentur atau momen tahanan penampang balok adalah kapasitas tegangan-tegangan dalam yang membentuk sebuah momen kopel sebagai perlawanan dari momen lentur luar yang timbul sebagai akibat beban luar (Istimawan Dipohusodo, 1994). Tegangan didefinisikan sebagai intensitas gaya persatuan luas permukaan tempatnya bekerja (Timoschenko dan Gere, 1987).

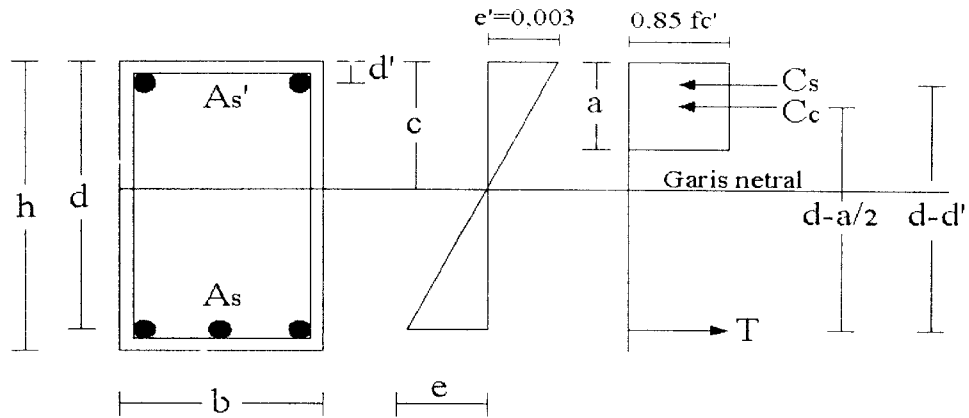
Besaran-besaran didalam menentukan persegi yang bertulangan rangkap adalah b , d , A_s' dan A_s . Luas A_s diperoleh dari gabungan sejumlah luas tulangan tarik balok. Karena kekuatan tarik beton diabaikan dalam perhitungan lentur, maka bentuk dari penampang didaerah tarik dan besarnya selimut beton tidak mempengaruhi kekuatan lentur (Wang dan Salmon, 1993).

Balok mempunyai tulangan rangkap apabila mempunyai tulangan tarik dan tulangan desak sekaligus. Pemakaian tulangan desak ini dikarenakan tulangan nominal lentur (M_n) yang ada belum mencukupi untuk mendukung momen yang terjadi dan juga bermanfaat untuk pembebanan bolak-balik.

Pada balok bertulang rangkap, penampangnya secara teoritis dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Bagian yang bertulangan tunggal, termasuk balok segi empat ekuivalen dengan luas tulangan tarik adalah A_s .
2. Bagian bertulangan ganda, dengan asumsi baja tulangan tarik dan desak, ekuivalen luasnya sama.

Dipohusodo (1994) mengemukakan analisis momen kapasitas balok tulangan rangkap dengan mengacu pada Gambar 3.1 adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Blok tegangan ekuivalen Whitney tulangan rangkap

Ada dua kemungkinan yang akan dialami oleh penampang balok tulangan rangkap :

- Apabila $\epsilon'_s \geq \epsilon_y$ dan $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, maka baja tekan dan tarik leleh.
- Apabila $\epsilon'_s < \epsilon_y < \epsilon_s$, maka baja tarik telah leleh, tetapi baja tekan belum leleh.

3.1.1 Kemungkinan a

Menganggap semua tulangan telah leleh, sehingga gaya-gaya dalam dari Gambar 3.1 dihitung dengan rumus :

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

$$C_s = A_s' \cdot f_y \quad (3.2)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.3)$$

Persamaan keseimbangan didapat :

$$C_c + C_s = T_s \quad (3.4)$$

$$0,85 f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_y = A_s \cdot f_y \quad (3.5)$$

Sehingga dari persamaan 3.5 didapat nilai a:

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (3.6)$$

Sehingga momen nominal untuk tulangan rangkap dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_n = (A_s - A_s') \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (3.7)$$

3.1.2 Kemungkinan b

Apabila $\epsilon'_s < \epsilon_y < \epsilon_s$, baja tekan belum leleh maka dicari nilai momen nominal dari persamaan keseimbangan dan diagram tegangan pada Gambar 3.1 sehingga didapat nilai a :

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot b) \cdot a^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot a - (600 \cdot 0,85 \cdot d' \cdot A_s') = 0 \quad (3.8)$$

Nilai tegangan baja tekan dicari dengan persamaan :

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \left\{ \frac{(a - \beta_1 \cdot d)}{a} \right\} \cdot E_s \quad (3.9)$$

dengan :

f_s' = tegangan baja tekan

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi kelas kuat beton

Maka momen nominal dapat dicari dengan persamaan :

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d') \quad (3.10)$$

3.2 Analisis Geser

Dalam membahas balok terlentur hendaknya mempertimbangkan pula bahwa pada saat yang sama balok juga menahan gaya geser akibat lenturan. Oleh karena itu perencanaan geser merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan beton bertulang. Kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan kekuatan tekannya, maka desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton. Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena runtuh geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok yang terkena keruntuhan geser langsung hancur tanpa ada peringatan terlebih dahulu, juga retak diagonalnya lebih besar dibandingkan retak lentur (Dipohusodo, 1994).

3.2.1 Kuat Geser Yang Disumbangkan Beton

Dasar pemikiran perencanaan penulangan geser adalah usaha menyediakan sejumlah tulangan baja untuk menahan tarik arah tegak lurus terhadap retak tarik diagonal sehingga mampu mencegah bukaan retak yang lebih besar. Perencanaan geser untuk komponen-komponen struktur lentur dilaksanakan berdasarkan anggapan bahwa beton menahan sebagian gaya geser, sedangkan selebihnya dilimpahkan ke tulangan baja. Tegangan geser beton biasanya dinyatakan dalam fungsi dari $\sqrt{f_c'}$ dan kapasitas beton dalam menerima geser menurut SKSNI T-15-1991-03 adalah sebesar :

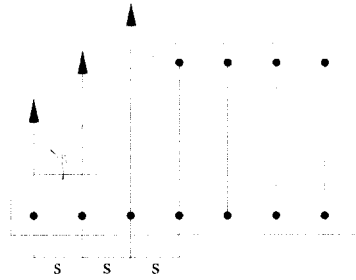
$$V_c = \left(\frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right) \quad (3.11)$$

3.2.2 Kuat Geser Yang Disumbangkan Tulangan Geser

Untuk menggambarkan kuat geser yang disumbangkan tulangan geser dapat dilihat pada Gambar 3.5 menjadi yang menunjukkan *free body* antara ujung balok dan retakan miring, proyeksi horizontal retak diambil sebagai d , dengan retak membentuk bidang 45° . Jika s adalah jarak sengkang, jumlah sengkang diambil dari retakan d/s . Pengamsusian bahwa semua sengkang leleh saat runtuh, gaya geser yang ditahan oleh sengkang adalah :

$$V_s = \frac{(A_v \cdot f_y \cdot d)}{s} \quad (3.12)$$

Persamaan 3.14 dapat diuraikan dengan menganggap bahwa sengkang menahan komponen vertikal dari gaya tarik diagonal yang bekerja didaerah $\frac{1}{2} s$ kanan dan kiri dari sengkang yang bersangkutan Gambar 3.5. Sedangkan komponen horizontal dimasukkan dalam perencanaan tulangan pokok memanjang.



Gambar 3.2 Jarak spasi sengkang berdasarkan syarat kekuatan
(Dipohusodo, 1994)

3.3 Hubungan Beban dan Lendutan

Pada balok yang melentur akibat menahan beban akan terjadi lendutan, besarnya lendutan yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah metode integrasi ganda.

$$E.Iy = \iint M.dx + c_1 + c_2 \quad (3.13)$$

Dengan demikian apabila kurva lendutan didefinisikan sebagai $y-y(x)$, maka :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\left(\frac{d^2y}{dx^2} \right)}{\left(1 + (dy/dx)^2 \right)^{3/2}} \quad (3.14)$$

dy/dx adalah kemiringan elemen struktur disuatu titik. Untuk lendutan kecil, kuadrat suku ini dapat diabaikan. Dengan demikian :

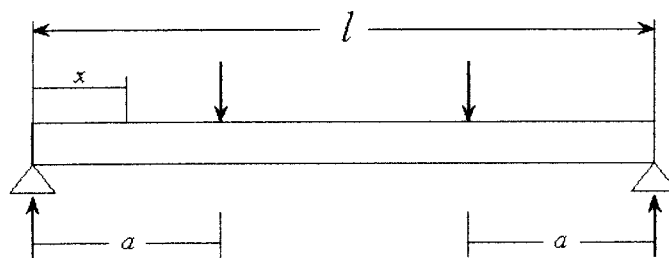
$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.15)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{E.I} \text{ atau } \frac{d^2y}{dx^2} = M \quad (3.16)$$

$$E.I \frac{dy}{dx} = \int M.dx + c \quad (3.17)$$

$$E.Iy = \iint M.dx + c_1 + c_2 \quad (3.18)$$

Menurut Nawy lendutan pada balok dapat dihitung secara teoritis dengan rumus sebagai berikut.



Gambar 3.3 Defleksi balok terlentur

$$\Delta_{\max} \text{ (ditengah)} = \frac{P.a}{24.E.I} (3.l^2 - 4.a^2) \quad (3.19)$$

$$\Delta_x \text{ (Jika } x < a) = \frac{P.x}{6.E.I} (3.l.a - 3.a^2 - x^2) \quad (3.20)$$

$$\Delta_x \text{ (Jika } a < x < (l-a)) = \frac{P.a}{6.E.I} (3.l.x - 3.x^2 - a^2) \quad (3.21)$$

Dimana :

$$E = 4700 \times \sqrt{f'c} \quad (3.22)$$

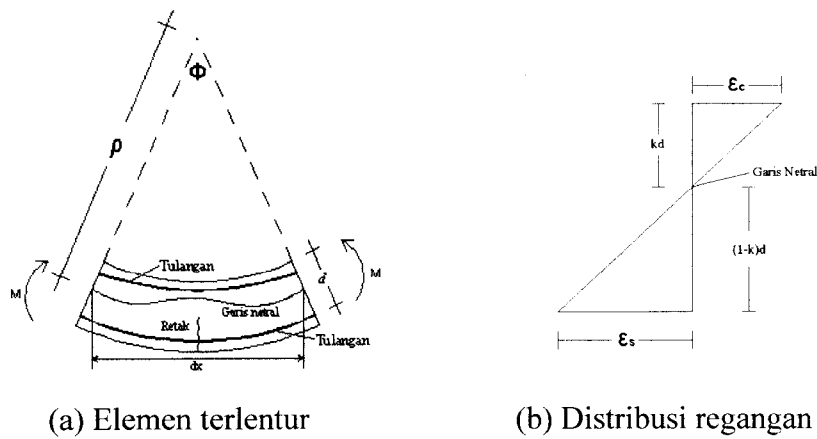
$$I = \frac{1}{12} .b.h^3 \quad (3.23)$$

3.4 Analisis Momen – Kelengkungan

Hubungan momen-kelengkungan menurut Park and Paulay, (1975) pada beton normal.

3.4.1 Kelengkungan Balok

Menurut Park dan Paulay (1975), kelengkungan balok didapat dengan mengambil sebuah elemen lurus dari sebuah balok beton bertulang dengan momen-momen ujung dan gaya aksial. Jari-jari kelengkungan ρ , diukur dari garis netral. Adanya retak-retak pada beton akibat terjadi penambahan tegangan akan merubah jari-jari kelengkungan (ρ), tinggi garis netral (k_d), regangan beton (ϵ_s). Berdasarkan teori tersebut, retak beton akan bertambah jika dilakukan penambahan pembebanan.



(a) Elemen terlentur

(b) Distribusi regangan

Gambar 3.4 Kelengkungan balok (Park dan Paulay, 1975)

Popov (1983) mengemukakan kelengkungan suatu garis dalam koordinat Cartesian dinyatakan dalam persamaan (3.26),

$$\frac{1}{\rho} = \phi = \frac{d^2y/dx^2}{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.24)$$

Jika $\frac{dy}{dx}$ kecil, maka $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \approx 0$ sehingga persamaan 3.26 akan menjadi :

$$\phi = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.25)$$

Dengan menganggap sebuah elemen kecil dengan panjang dx dari balok dan menggunakan notasi seperti pada Gambar 3.7, maka rotasi diantara ujung-ujung dari elemen diberikan oleh :

$$\frac{dx}{\rho} = \frac{\epsilon_c dx}{k.d} = \frac{\epsilon_s .dx}{d(1-k)} \quad (3.26)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\epsilon_c}{k.d} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} \quad (3.27)$$

dengan $\frac{1}{\rho} = \phi$

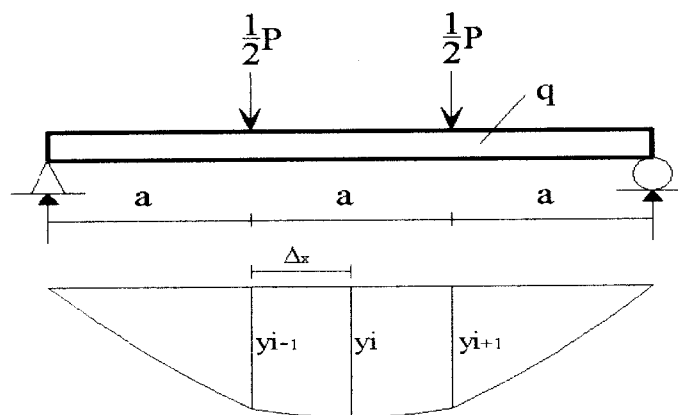
dari Gambar 3.7 b, jika regangan dijumlahkan diperoleh :

$$\varphi = \frac{\varepsilon_c}{k.d} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} \quad (3.28)$$

Kelengkungan balok dapat diperoleh dari analisa data perpindahan titik diskert (segmen) dalam sebuah balok. Perpindahan titik diskert (segmen) pada balok dapat diketahui dari pengujian kuat lentur. Hubungan momen, kelengkungan dan faktor kekakuan lentur dinyatakan dengan persamaan :

$$\varphi = \frac{M}{E.I} \quad (3.29)$$

Dengan φ , M dan EI berturut-turut menyatakan kelengkungan, momen dan faktor kekakuan. Jika nilai EI pada elemen balok berkurang, maka kelengkungannya meningkat. Peningkatan kelengkungan ini digunakan untuk menentukan kuat lentur balok beton bertulang. Kelengkungan balok diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan metode central difference. Mengacu kepada Gambar 3.8.



Gambar 3.5 Defleksi pada balok

Standart kemiringan (sloop) didekati dengan persamaan :

$$f(y_{i+1}) = f(y_i) + f'(y_i).\Delta x + \frac{f''(y_i)}{2}.\Delta x^2 + \dots \quad (3.30)$$

Untuk mendapatkan turunan kedua digunakan $f(y_{i+2})$ sehingga deret Taylor adalah sebagai berikut :

$$f(y_{i+2}) = f(y_i) + f'(y_i).2\Delta x + \frac{f''(y_i)}{2} .(2\Delta x)^2 + \dots \quad (3.31)$$

Dari persamaan 3.33 dikurangi 3.32 didapatkan :

$$f(y_{i+2}) - f(y_{i+1}) = -f(y_i) + f''(y_i).\Delta x^2 \quad (3.32)$$

$$f''(y_i) = \frac{f(y_{i+2}) - 2f(y_{i+1}) + f(y_i)}{\Delta x^2} \quad (3.33)$$

Untuk bentang tengah :

$$f''(y_i) = \frac{f(y_{i+1}) - 2f(y_i) + f(y_{i-1}))}{\Delta x^2} \quad (3.34)$$

$$\text{Dimana : } f''(y_i) = \frac{d^2 y}{dx^2} = \varphi$$

$$\text{Maka : } \varphi = \frac{(y_{i+1}) - 2(y_i) + (y_{i-1}))}{\Delta x^2} \quad (3.35)$$

3.4.2 Leleh dan ultimit momen – kelengkungan

Gambar 3.7 menunjukkan kasus umum dari sebuah penampang persegi bertulangan ganda pada leleh baja dari tegangan baja dan regangan ultimit beton. Momen-kelengkungan pada leleh pertama dari baja ($M_y - \Phi_y$), dicari dengan persamaan :

$$M_y = T_c.j.d \quad (3.36)$$

$$\Phi_y = \frac{f_y / E_s}{(d - kd)} \quad (3.37)$$

$$k = \sqrt{\left[(\rho + \rho')^2 . n^2 + 2 \left(\rho + \frac{(\rho' . d')}{d} \right) n \right]} - (\rho + \rho') . n \quad (3.38)$$

dengan :

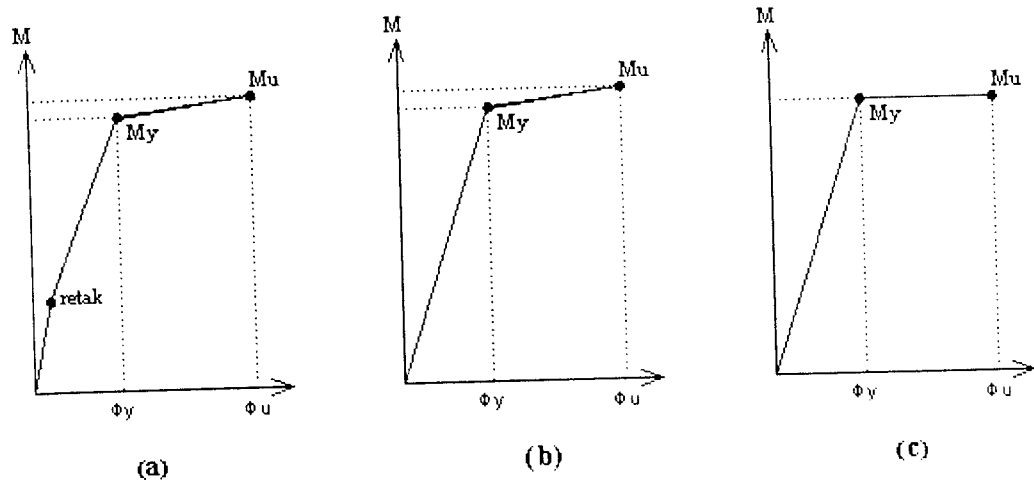
$$n = \frac{E_s}{E_c}, \quad \rho = \frac{A_s}{b.d}, \quad \rho' = \frac{A_s'}{b.d}$$

Kelengkungan ultimit dan momen dari penampang bertulang rangkap dicari dengan persamaan :

$$M_u = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d')$$
(3.39)

$$\Phi_u = \frac{\epsilon_c}{c}$$
(3.40)

Dari perhitungan secara teoritis dan dari perhitungan data pengujian balok beton bertulang maka akan diperoleh kurva momen-kelengkungan. Gambar kurva momen kelengkungan untuk uji lentur ditunjukkan oleh gambar (3.9).



Gambar 3.6 Kurva momen-kelengkungan

Untuk Gambar 3.9 (a) menunjukkan kurva momen-kelengkungan tri-linier untuk beton bertulang. Sedangkan Gambar 3.9 (b) dan (c) adalah kurva momen-kelengkungan bi-linier untuk beton bertulang.

3.5 Kuat Lentur Balok

Dengan menggunakan prinsip keseimbangan statika dapat ditentukan besar momen dan geser yang terjadi pada setiap penampang balok yang bekerja menahan beban. Menurut Istimawan (1996) kuat lentur balok dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$f = \frac{M \cdot c}{I}$$
(3.41)

Shingga berdasarkan rumus lenturan tersebut, dihitung momen maksimum yang dapat disediakan oleh penampang balok, atau dalam hal ini disebut sebagai momen tahanan.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Bahan dan Benda Uji

4.1.1 Bahan

Sebelum melaksanakan penelitian, perlu diadakan persiapan bahan yang akan digunakan sebagai sarana untuk mencapai maksud dan tujuan dari penelitian. Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji penelitian ini adalah :

a. Semen

Semen PC (*Portland Cement*) yang digunakan dalam pembuatan benda uji ini adalah merk Semen Holcym. Semen jenis ini dipilih karena sudah umum digunakan dan tidak memerlukan persyaratan khusus, sedangkan dalam penelitian ini penilaian kualitas semen hanya dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap kekuatan kemasan dan kehalusan butirnya.

b. Agregat Kasar (Split)

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah batuan pecah dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Dengan memperhatikan ukuran penampang model dipilih batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm. Penyelidikan batu pecah bertujuan memperoleh data tentang berat jenis dan berat volume dalam keadaan SSD. Batu pecah sebelum digunakan dicuci dahulu dan fraksi batu-batu pecah dipisahkan menggunakan ayakan.

c. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang diambil dari lereng Gunung Merapi, Sleman, Yogyakarta yang berdiameter lolos saringan 4.8 mm. Pasir sebelum digunakan terlebih dahulu harus dicuci. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang terkandung didalam butiran-butiran pasir tersebut. Selain itu dilakukan pula penyelidikan pasir yang

- a. Satu mm per b. Satu mm per dida Voli sebe c. Satu mm. hany
- Kese ngan pen tu beton ng diguna n tegangar Peml nggunaka tu beton ngan mehj rasi seme mpel silinc awatan d ari sebelu
- d. Baja Tulangan
bertujuan untuk memperoleh distribusi ukuran butir (gradasi) dan berat volume dalam keadaan jenuh kering muka (SSD).
Diameter baja tulangan yang dipakai untuk tulangan tekan adalah P6.5 mm, sedangkan untuk diameter tulangan tarik D11,5 mm dan diameter sengkang yang digunakan P8,3 mm. Baja tulangan diperoleh dari baja tulangan yang ada dipasaran Daerah Istimewa Yogyakarta.
- e. Air
Air yang digunakan berdasarkan pengamatan visual tampak jernih, tidak berbau, dan tidak berwarna. Air dalam pengujian ini adalah air bersih dari instalasi air di Laboratorium Bahan Konstruksi (BKT). Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- f. Kawat Bendrat
Kawat bendrat berdiameter 0,8 mm digunakan untuk merangkai tulangan – tulangan baja, yaitu tulangan pokok dan sengkang.
- g. Kayu Lapis
Dalam pembuatan sampel agar didapat ukuran yang tepat dan permukaan yang rata sesuai dengan apa yang telah direncanakan menggunakan cetakan dari kayu lapis dengan ketebalan 12 mm.
- h. *Styrofoam*
Dalam pembuatan pori-pori agar sesuai dengan volume pori yang direncanakan didalam pengecoran digunakan styrofoam dengan ketebalan 1 cm.

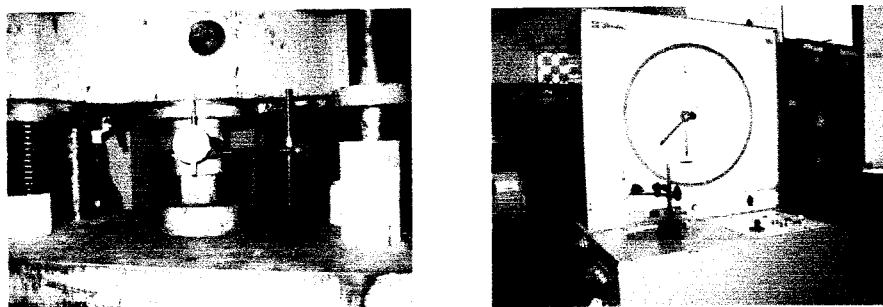
4.1.2 Benda Uji

Benda uji berupa balok beton bertulang dengan luas tampang 37500 mm^2 dengan luas tulangan sama $A_s' = 66,366 \text{ mm}^2$, $A_s = 207,738 \text{ mm}^2$, serta f_y untuk tulangan desak 416,59 MPa, untuk tulangan tarik $f_y = 348,55 \text{ Mpa}$ dan untuk sengkang $f_y = 321,47 \text{ MPa}$. Mutu beton yang digunakan $f'_c = 25,938 \text{ MPa}$. Panjang balok 1 meter dengan 3 macam variasi yaitu :

Peral
Untuk
gunakan se
an digunak

1. Mesin Uji Desak

Mesin uji desak digunakan untuk mengetahui kuat desak silinder – silinder beton yang telah dibuat agar diketahui kuat desak karakteristik silinder beton (f'_c). Dalam penelitian ini digunakan mesin uji desak merk *Controls* dengan kapasitas 1000 kN. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Alat uji kuat tekan beton

2. Mistar dan Kaliper

Mistar dari logam digunakan untuk mengukur dimensi cetakan benda uji, sedangkan kaliper digunakan untuk mengukur diameter tulangan.

3. Mesin aduk beton (molen)

Mesin aduk beton digunakan untuk mengaduk campuran beton yang akan dibuat.

4. Cetakan silinder beton

Cetakan silinder beton digunakan untuk membuat benda uji silinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

5. Timbangan

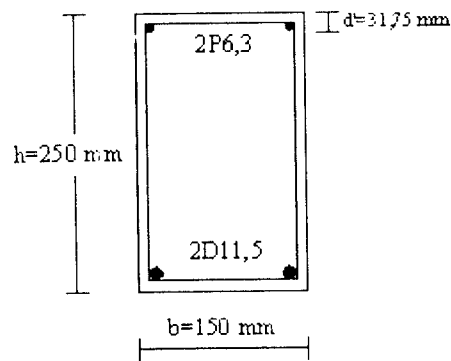
Timbangan dipakai untuk mengukur berat bahan penyusun beton yaitu semen, kerikil, pasir, air dan benda uji. Timbangan yang digunakan :

- a. Timbangan merk "OHAUS" dengan kapasitas 20 kg,
 - b. Timbangan merk "FAGANI" dengan kapasitas 100 kg.
6. Gelas Ukur
- Gelas ukur digunakan untuk menakar jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan adukan beton atau pasta semen. Kapasitas gelas ukur yang dipakai adalah 1000 ml.
7. Cetok, talam baja dan ember
- Cetok digunakan sebagai alat untuk memasukkan benda uji kedalam kerucut abrams dan cetakan benda uji. Talam digunakan sebagai alas pengujian *slump* dan menampung adukan beton dari mesin pengaduk (molen). Ember digunakan sebagai wadah pengambilan dan penimbangan bahan-bahan adukan beton.
8. Saringan
- Saringan ini digunakan untuk menyaring pasir dan kerikil agar diperoleh diameter yang dibutuhkan.
9. Kerucut abrams
- Kerucut ini digunakan untuk kecacakn pada percobaan *slump*. Kerucut ini mempunyai dua lubang pada ujungnya, dengan diameter atas 100 mm, dan diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm. Alat ini dilengkapi tongkat pemadat dari baja dengan panjang 600 mm dan berdiameter 16 mm, yang ujungnya berbentuk bulat.

4.3 Pelaksanaan Penelitian

4.3.1 Dimensi Penampang

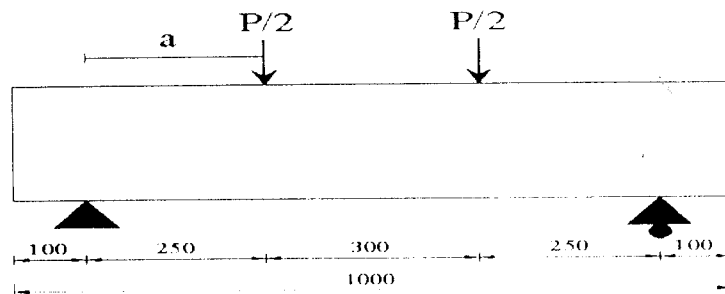
Dalam perencanaan balok ini digunakan dimensi yang tidak besar. Agar kuat lentur yang mampu ditahan oleh balok tidak besar. Karena kemampuan alat untuk pengujian terbatas. Ukuran yang dipakai pada balok adalah $b = 150$ mm dan $h = 250$ mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Penampang melintang balok uji

4.3.2 Panjang Bentang

Dalam perencanaan bentang balok dikehendaki gagal dalam lentur. Jika ditentukan panjang balok yang akan diuji sebesar 1000 mm, jarak antara beban titik sebesar 300 mm dan jarak tumpuan ketepi balok 100 mm, maka a sebesar 250 mm. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Penampang memanjang balok uji

4.3.3 Jumlah Tulangan

Dalam pelaksanaan pembuatan balok menggunakan tulangan yang tersiri dari :

- a. Tulangan memanjang atas (tulangan tekan) memakai 2 BJTP dengan diameter 6,5 mm.

- b. Tulangan memanjang bawah (tulangan tarik) memakai 2 BJTD dengan diameter 11,53 mm.
- c. Tulangan sengkang memakai BJTP dengan diameter 8,3 mm. Pada penulangan sengkang memakai jarak 100 mm.

4.4 Perlakuan Balok

Pada percobaan penelitian ini akan menggunakan 3 model benda uji, yaitu:

4.4.1 Balok Beton Bertulang Normal (BN)

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat lentur yang dapat ditahan oleh balok. Hasil kuat lentur pada pengujian pada balok ini digunakan sebagai kontrol terhadap balok tipe lainnya. Tulangan tekan yang digunakan pada balok ini adalah P6,5 mm dan tulangan tarik yang digunakan D11,53 mm. Sedangkan untuk sengkang digunakan P8,3mm. Mutu beton yang dipakai $f'c$ 25,938 MPa.

4.4.2 Balok Beton Bertulang Pori 10% (BP10)

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat lentur yang dapat ditahan oleh balok pori 10%. Hasil kuat lentur pada pengujian pada balok ini akan dibandingkan dengan hasil pengujian kuat lentur balok normal. Jumlah tulangan dan mutu beton yang digunakan pada balok ini sama seperti balok normal. Sebagai pengganti pori pada balok ini, digunakan sterofoam dengan ketebalan 10 mm, dengan volume 10% dari volume beton normal.

4.4.3 Balok Beton Bertulanga Pori 20% (BP20)

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat lentur yang dapat ditahan oleh balok pori 20%. Hasil kuat lentur pada pengujian pada balok ini akan dibandingkan dengan hasil pengujian kuat lentur balok normal dan balok pori 10%. Jumlah tulangan dan mutu beton yang digunakan pada balok ini sama seperti balok normal. Dan untuk pengganti pori pada balok ini, sama seperti balok

BP10, yaitu menggunakan sterofoam dengan volume 20% dari volume balok normal.

4.5 Pelaksanaan Penelitian

4.5.1 Persiapan Bahan

Kegiatan persiapan bahan meliputi : uji sifat-sifat teknis bahan penyusun beton (pasir, agregat dan semen), perencanaan adukan beton, uji kuat tarik baja tulangan. Sedangkan uji sifat-sifat teknis bahan penyusun beton dan uji pendahuluan yang perlu dilakukan antara lain :

a. Uji pasir

Uji pasir bertujuan memperoleh berat jenis keadaan SSD dan modulus kehalusan pasir, didapat berat jenis SSD 2.6.

b. Uji Agregat (batu pecah)

Uji batu pecah bertujuan mendapatkan berat jenis dan berat volume batu pecah keadaan SSD. Didapat berat jenis SSD 2,72.

c. Perencanaan adukan beton

Perencanaan campuran adukan beton menggunakan cara yang direkomendasikan oleh DOE (Departement of Environment), hasil perhitungannya dilampirkan pada lampiran B. Kuat desak rencana penyusun sebagai berikut (1 m³) : semen 523,26 kg, pasir 600,04 kg, batu pecah 1021,7 kg, dan air 225 liter.

4.5.2 Pembuatan sampel

a. Tahapan pembuatan campuran beton adalah sebagai berikut :

- 1) Menentukan kuat desak beton.
- 2) Menentukan faktor air semen.
- 3) Menetapkan nilai *slump*.
- 4) Menetapkan kebutuhan air.
- 5) Menentukan kebutuhan semen.
- 6) Menetapkan volume agregat kasar per meter kubik beton.
- 7) Menghitung volume pasir.

b. Langkah-langkah pembuatan benda uji silinder dan balok :

- 1) Setelah alat dan bahan disiapkan serta rencana campuran beton telah dibuat, dilakukan penimbangan bahan-bahan sesuai proporsi yang telah ditentukan. Untuk agregat kasar yang digunakan terlebih dahulu dicuci untuk menghilangkan kandungan lumpur yang menempel. Pada saat penimbangan, kondisi pasir dan kerikil adalah jenuh kering permukaan (SSD).
- 2) Bahan susun beton diaduk menjadi satu berturut-turut, agregat kasar, agregat halus, semen dan air sedikit demi sedikit sampai campuran rata. Proporsi bahan-bahan ini disesuaikan dengan kapasitas mesin pengaduk yang dipakai.
- 3) Pada saat molen mulai berputar diusahakan selalu dalam keadaan miring sekitar 45° , agar terjadi adukan beton yang merata. Setelah adukan beton terlihat merata, kemudian dituang secukupnya ketalam.
- 4) Untuk mengetahui kelecakan adukan beton, maka dilakukan pengukuran *slump* dengan kerucut abrams dengan diameter atas 100 mm, diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm, yang dilengkapi tongkat penumbuk dari baja diameter 16 mm. Pelaksanaan percobaan *slump* dilakukan dengan cara kerucut ditekan kebawah pada penyokong-penyokong kakinya sambil diisi adukan beton. Pengisian adukan beton dibuat tiga lapis adukan, dan tiap lapis ditumbuk sebanyak ± 25 kali. Bagian atas kerucut diratakan dan didiamkan ± 30 detik, kemudian kerucut abrams diangkat perlahan-lahan secara tegak lurus dan diletakkan disamping adukan tersebut, selisih tinggi tersebut dinamakan *slump*.
- 5) Sebelum dilakukan pengecoran, terlebih dahulu disiapkan cetakan silinder beton dan cetakan balok. Untuk tulangan pokok pada daerah tarik dipakai tulangan ulir D11.53 mm dan untuk daerah desak dipakai tulangan polos P6,5 mm, sedangkan untuk begel dipakai tulangan polos P8.3 mm.

- 6) Adukan beton dimasukkan kedalam cetakan silinder dan dipadatkan dengan menggunakan tongkat penumbuk dan palu karet. Untuk pengecoran balok, cetakan dibersihkan kemudian diolesi oli dan ditutupi dengan selotip setiap sisi sudut setiap bagian dalam cetakan balok agar adukan beton tidak menetes/merembes keluar. Sisi bekisting balok diketuk-ketuk atau digetarkan dengan menggunakan palu karet, sehingga terjadi pemadatan yang sempurna dan gelembung udara yang terperangkap akan keluar. Sedangkan untuk balok uji I dan II pada saat pengecoran dimasukkan sterofoam dengan volume yang telah ditetapkan. Adukan yang telah tercetak didiamkan dan diletakkan ditempat yang terlindung dari hujan dan sinar matahari.
- 7) Cetakan dibuka setelah terjadi pengerasan, yaitu setelah 1 hari kemudian dilakukan perawatan beton.

4.5.3 Perawatan Benda Uji

Perawatan beton sangat diperlukan agar permukaan beton tetap dalam keadaan lembab. Penguapan dapat menyebabkan kehilangan air yang cukup berarti sehingga dapat mengakibatkan proses hidrasi berjalan tidak sempurna, dengan konsekuensi berkurangnya kekuatan beton. Penguapan dapat juga menyebabkan penyusutan kering terlalu awal dan cepat, sehingga berakibat timbulnya tegangan tarik yang menyebabkan retak, kecuali bila beton telah mencapai kekuatan yang cukup untuk menahan tegangan ini.

Oleh karena itu direncanakan suatu perawatan untuk mempertahankan beton supaya terus menerus berada dalam keadaan basah selama periode beberapa hari dan bahkan beberapa minggu (Murdock dan Brook, 1986).

Pada penelitian ini, perawatan untuk silinder beton dilakukan dengan cara merendam silinder didalam bak perendam. Sedangkan untuk balok dilakukan dengan cara menutupi balok dengan karung basah sampai sehari sebelum benda uji tersebut dilakukan pengujian. Perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki beberapa segi dari kualitasnya. Disamping lebih kuat dan lebih awet terhadap agresinya kimia, beton ini juga lebih tahan terhadap arus dan lebih kedap air.

4.5.4 Proses pengujian

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik baja tulangan, kuat desak dan kuat lentur balok yang dilakukan pada umur 28 hari.

1. Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Pengujian kuat tarik tulangan baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Data yang diambil pada pengujian tarik tulangan baja adalah beban maksimum, beban patah dan batas luluh awal. Tegangan tarik tulangan naja dapat diketahui dengan cara membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari diameter tulangan baja. Untuk perhitungan perencanaan balok, data yang dipakai adalah tagangan leleh baja.

2. Pengujian Kuat Desak Silinder

Pengujian kuat desak dilakukan dengan benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

- a. Mencatat dimensi benda uji yaitu diameter dan tingginya kemudian menimbang benda uji.
- b. Meletakkan benda uji diatas mesin penguji desak, lalu dihidupkan dan dilakukan pembebanan secara berangsur-angsur.
- c. Mencatat penurunan yang dialami silinder, dan mencatat beban maksimum terjadi pada silinder, dimana benda uji mulai atau telah mengalami kehancuran.

Kuat desak beton dapat diketahui dengan cara membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan bagian yang didesak, secara sistematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$f_c' = \frac{P}{\Lambda} \quad (4.1)$$

3. Penyetelan balok Uji

Setelah balok mencapai umur 28 hari, kemudian dilakukan beberapa perlakuan sebelum pengujian.

- a) Permukaan balok dicat putih, agar retak yang terjadi pada balok dapat terlihat dengan jelas.
- b) Untuk mengetahui posisi tumpuan dan beban titik, diberi garis dengan menggunakan spidol. Jarak dari tepi balok ke tumpuan adalah 100 mm baik dari kiri ataupun kanan. Jumlah titik pembebanan ada dua dengan jarak dari tepi kiri dan kanan adalah 350 mm.
- c) Pada tengah-tengah bentang diletakkan dial, dengan ketelitian 10^{-2} mm.

4. Pengujian Kuat Lentur Balok

Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Benda uji diletakkan pada mesin pemberi gaya transversal dengan kekuatan maksimum 30 ton dengan perletakan sendi dan rol.
2. Pengujian siap dilakukan, gaya/beban diberikan secara perlahan-lahan beban konstan dan beban dinaikkan secara berangsur-angsur hingga pada batas tertentu sampai pada tegangan maksimum, sehingga benda uji akan mengalami retak, lendutan maksimum dan patah.
3. Retak yang terjadi ditandai pada benda uji saat pengujian, sehingga retakan yang terjadi dapat terekam dengan baik menurut jenjang-jenjang prosesi pemberian beban dilakukan. Lendutan dan beban-beban dicatat agar bisa diperoleh hubungan dengan retakan yang terjadi.

4.6 Pengamatan

4.6.1 Pembebanan

Pada pelaksanaan pengujian pembebanan, perlu diperhatikan kemungkinan balok menggeser atau mengguling. Setiap komponen struktur harus memiliki cukup kekuatan struktural untuk mendukung beban yang bekerja pada balok. Balok yang telah diberi beban akan diperiksa kekuatannya berdasarkan alat uji dengan melihat seberapa kuat balok menahan beban tersebut. Beban diberikan setiap 500 kg secara berangsur-angsur sampai beban yang menyebabkan balok runtuh.

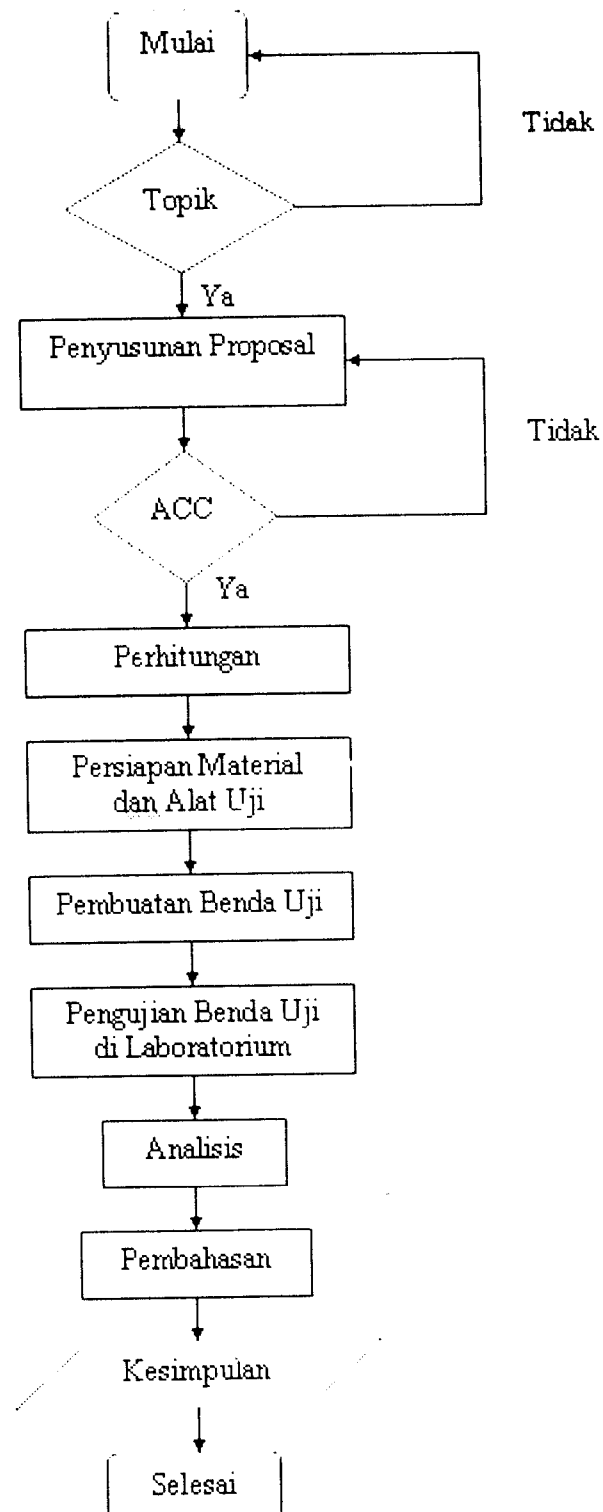
4.6.2 Lendutan (*defleksi*)

Pada suatu elemen balok, kerapian maupun penampilannya tidak boleh terganggu oleh lendutan yang terjadi. Balok yang diberi beban secara berangsur-angsur dengan beban 500 kg akan diperiksa lendutannya. Pencatatan beban dilakukan setiap interval beban 500 kg, sampai beban yang menyebabkan balok runtuh.

4.6.3 Retak

Beton mempunyai kekuatan cukup untuk menahan gaya tekan akan tetapi kurang untuk menahan gaya tarik. Sehingga komponen struktur beton bertulang cenderung mengalami retak yang tidak bisa dihindari ditempat-tempat yang mengalami gaya tarik. Oleh karena itu pengetahuan perilaku retak perlu mendapatkan perhatian secukupnya. Didalam memperhatikan retak beton, pada pengujian ini lebih diutamakan pada panjang retak dan pola retak yang terjadi. Balok yang diberi beban akan diamati retaknya. Pengamatan retak dilakukan dengan memberi batas pada saat terjadi retak dan mencatat beban yang terjadi. Kemudian arah retak dilukis dengan menggunakan spidol.

4.7 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.4 Bagan alir penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Hasil penelitian disajikan berupa data yang telah dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil penelitian dimulai dari data-data bahan yang mencakup pengujian agregat dan baja tulangan. Pengujian karakteristik beton terdiri dari 2 macam, pertama pengujian beton segar, pengujian yang dilakukan adalah pengujian slump. Kedua pengujian mekanik beton yang meliputi kuat desak silinder beton dan kuat lentur beton bertulang. Data yang dihasilkan dari pengujian diatas adalah kuat tarik baja tulangan dan kuat mekanis beton. Pengujian yang paling utama dari penelitian ini adalah pengujian kuat lentur beton bertulang yang terdiri dari 3 model. Balok kontrol berjumlah 2 buah dengan kode BN, sedangkan 3 balok memiliki volume pori 10% dengan kode BP10 dan 3 balok lagi memiliki volume pori 20% dengan kode BP20. Data yang diperoleh dari pengujian utama adalah beban, lendutan, dan panjang retak. Sehingga dari data tersebut dianalisa untuk mendapatkan grafik beban-lendutan ($P-\Delta$), Grafik momen-kelengkungan ($M-\phi$), grafik panjang retak-momen (l_e-M).

5.2 Agregat

Pengujian agregat ini meliputi pasir sebagai agregat halus dan kerikil sebagai agregat kasar. Menurut peraturan SK-SNI –T-15-1990-03, kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar. Ayakan yang digunakan untuk mengelompokkan pasir ini terdiri dari 6 ayakan. Ayakan ini disusun secara urut dari lubang 4.8, 2.4, 1.2, 0.6, 0.3 dan 0.15 mm. Hasil pengujian mendapatkan bahwa pasir yang digunakan masuk daerah gradasi II yaitu pasir agak kasar. Sedangkan kerikil yang digunakan lolos

saringan 20 mm dan tertahan saringan 5 mm. Rangkuman data yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan hasil selengkapnya bisa dilihat pada Lampiran A.

Tabel 5.1 Hasil pengujian material

Penelitian	Pasir	Kerikil
Modulus halus butir (%)	2,6	6,5
Berat jenis SSD	2,6	2,72
Penyerapan air (%)	5,73	1,41
Ukuran agregat maksimum (mm)	4,8	20

5.3 Kuat Tarik Baja

Baja yang digunakan pada pengujian ini adalah baja tulangan polos dan baja tulangan ulir. Baja tulangan polos terdiri dari 2 baja tulangan yaitu, tulangan berdiameter 6,5 mm dan 8,3 mm. Sedangkan baja tulangan ulir yang digunakan berdiameter 11,53 mm. Pengujian ini menggunakan baja tulangan dengan panjang 50 – 70 cm. Hasil rangkuman dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A5

Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik baja

No	Diameter (mm)	Tegangan leleh f_y (MPa)	Tegangan ultimit f_u (MPa)	f_y/f_u (%)
1	6,5	416,59	-	-
2	8,3	321,47	477,16	67,37
3	11,53	348,55	527,06	66,13

Pada umumnya besar tegangan leleh baja (f_y) adalah 60% dari kuat tariknya (f_u). Berdasarkan peraturan perencanaan bangunan baja Indonesia (PPBBI) 1983 dan hasil uji kuat tarik baja yang dipakai dalam penelitian ini termasuk dalam golongan :

a) Untuk baja tulangan diameter 6,5 mm

Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter 6,5 mm. Dari hasil pengujian didapatkan nilai tegangan leleh sebesar 416,59 MPa. Sedangkan untuk nilai tegangan ultimit tidak diperoleh. Karena diameter tulangan yang terlalu kecil, jadi pada saat pengujian cengkraman alat terhadap baja tulangan tidak kuat. Sehingga sebelum baja mencapai tegangan ultimit, data yang dihasilkan sudah berubah-ubah.

b) Untuk baja tulangan diameter 8,3 mm

1. Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter 8,3 mm. Tegangan tarik ultimit (f_u) sebesar 477,16 MPa dan tegangan leleh (f_y) sebesar 321,47 MPa.
2. Rasio antara tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) sebesar 67,37%.
3. Berdasarkan SII 0136-80 dan hasil uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, mutu baja ini termasuk dalam golongan BJTP 24 dengan batas ulur minimum 235 MPa dan kuat tarik minimum 382 MPa.

c) Untuk baja tulangan diameter 11,53 mm.

1. Tulangan yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter nominal 11,53 mm. Tegangan tarik ultimit (f_u) sebesar 527,06 MPa dan tegangan leleh (f_y) sebesar 348,55 MPa.
2. Rasio antara tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) sebesar 66,13%.
3. Berdasarkan SII 0136-80 dan hasil uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, mutu baja ini termasuk dalam golongan BJTD 35 dengan batas ulur minimum 343 MPa dan kuat tarik minimum 490 MPa.

5.4 Slump

Pengujian Slump merupakan salah satu cara untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran adukan beton. Nilai slump menandakan kepadatan atau kecairan suatu campuran beton. Nilai slump ini berpengaruh pada kuat desak beton dan kemudahan dalam pengerjaan, bila nilai slump kecil berarti adukan

beton memiliki kuat desak yang tinggi tetapi sulit dalam pengerjaannya karena kurangnya air. Nilai slump dalam pengujian ini diambil seketika sebelum dimasukkan kedalam cetakan beton. Berdasarkan PBI, 1971 menetapkan bahwa nilai slump untuk pelat, kolom balok dan dinding sebesar 7,5 sampai 15 cm. Dan nilai slump yang diperoleh untuk pembuatan adukan pertama adalah 14 cm, dan untuk pembuatan adukan selanjutnya diusahakan agar nilai slump yang diperoleh 14 cm. Dengan nilai slump tersebut pelaksanaan pembuatan benda uji lebih mudah dikerjakan, karena tidak terlalu kental. Alat yang dipakai dalam pengujian slump adalah besi tulangan yang mempunyai diameter 16 mm. Besi tulangan digunakan untuk menusuk-nusuk campuran beton yang berada didalam kerucut abrams, sehingga mengisi tempat yang masih kosong dan beton tersebut menjadi lebih padat.

5.5 Kuat Desak Beton

Beton mempunyai nilai kuat tarik yang lebih rendah dibandingkan kuat desaknya. Kuat desak beton dipengaruhi oleh komposisi dan kekuatan masing-masing bahan susun dan lekatan pasta semen pada agregat. Nilai kuat beton didapatkan melalui tata-cara pengujian standart, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai benda uji tersebut hancur. Hasil rangkuman dari pengujian kuat desak beton dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel 5.3 Hasil pengujian sifat mekanik beton

No	Kode silinder Beton	Kuat Tekan (MPa)
1	S I	25,289
2	S II	26,588
3	Rata-rata	25,938



Mutu beton sendiri dapat dibedakan menjadi 3 yaitu :

- a. Beton mutu rendah $f'_c < 125 \text{ kg/cm}^2$ (12,259 MPa)
- b. Beton mutu sedang $125 \text{ kg/cm}^2 \leq f'_c < 225 \text{ kg/cm}^2$
- c. Beton mutu tinggi $f'_c \geq 225 \text{ kg/cm}^2$ (22,065 MPa)

Pada hasil pengujian kuat desak didapatkan kuat desak rata-rata 25,938 MPa lebih besar dari yang direncanakan yaitu sebesar 25 MPa. Berdasarkan PBI 1971 beton hasil pengujian termasuk beton mutu tinggi.

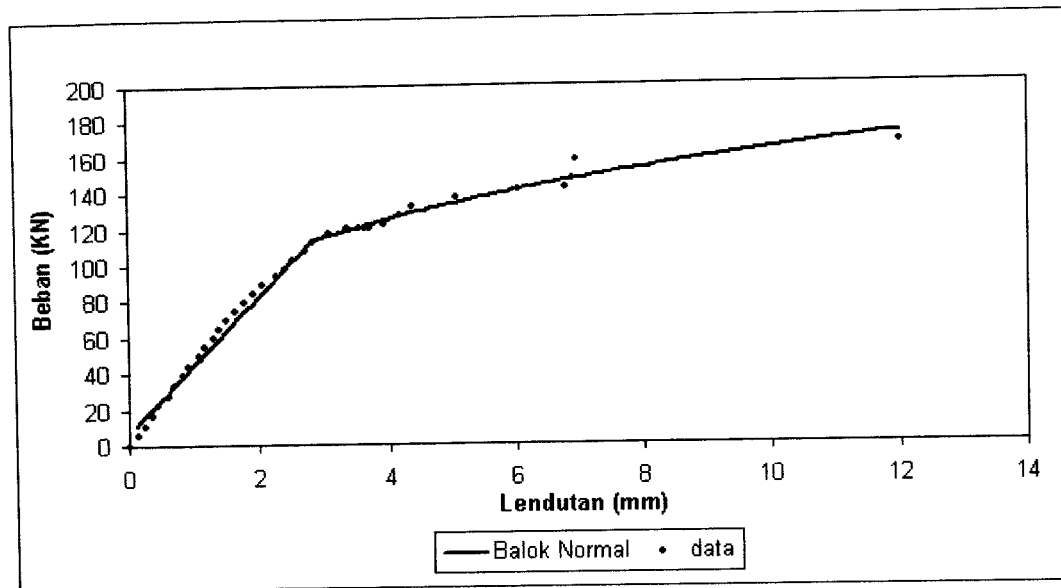
5.6 Balok Beton Bertulang

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kuat lentur yang dimiliki oleh tiap model balok. Pengujian ini membahas antara lain : hubungan beban dan lendutan ($P-\Delta$), hubungan momen dan kelengkungan ($M-\Phi$) dan hubungan panjang retak dan momen ($lc-M$).

5.6.1 Hubungan beban dan lendutan

Pelaksanaan uji lentur dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Pada setiap balok diberi 2 titik pembebanan secara bertahap dengan jarak antara titik 30 cm, dan interval pembebanan 500 kg pada setiap tahap pembebanan. Untuk mencatat lendutan yang terjadi pada balok dipasang dial pada bagian bawah balok. Lendutan yang terjadi dicatat, dan hasil selengkapnya disajikan dalam Lampiran E.

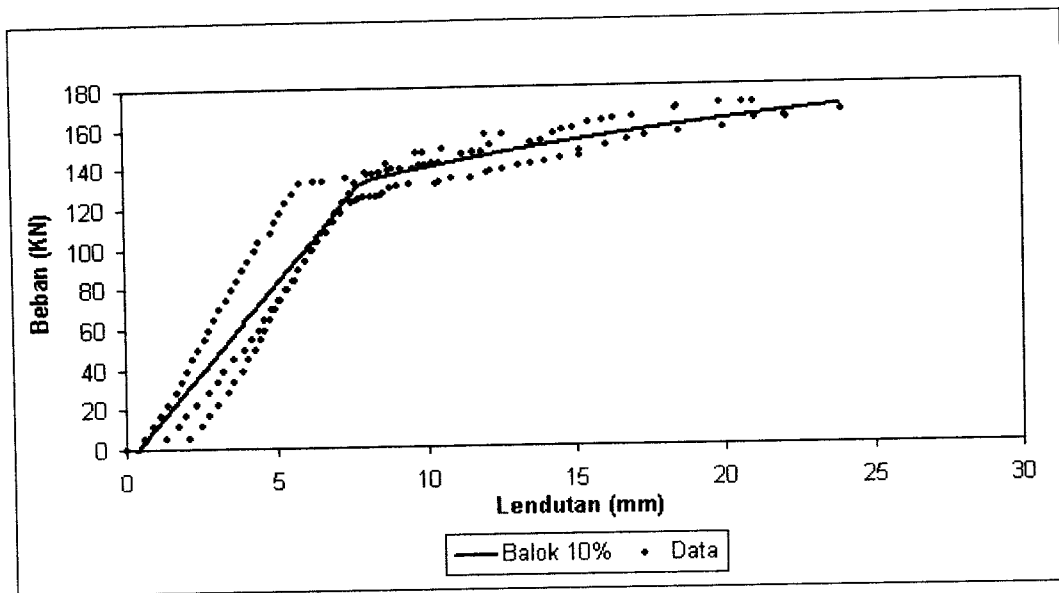
1. Hubungan beban-lendutan balok normal



Gambar 5.1 Hubungan beban-lendutan balok normal

Dari Gambar 5.1 diatas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan beban-lendutan pada balok normal. Balok normal ini dipakai sebagai balok kontrol terhadap balok pori 10% dan 20%. Berdasarkan Gambar 5.1 diatas dapat diamati bahwa balok BN mempunyai nilai lendutan sebesar 12 mm, dan beban ultimit sebesar 166,00 kN. Nilai beban pada saat balok mengalami retak pertama adalah 69,35 kN dan nilai beban pada saat baja mengalami leleh sebesar 120,39 kN. Sedangkan nilai kuat lentur pada saat mencapai beban maksimum untuk balok normal adalah $25042,53 \text{ kN/m}^2$. Semua nilai-nilai ini dijadikan pembandingan terhadap balok BP10 dan BP20.

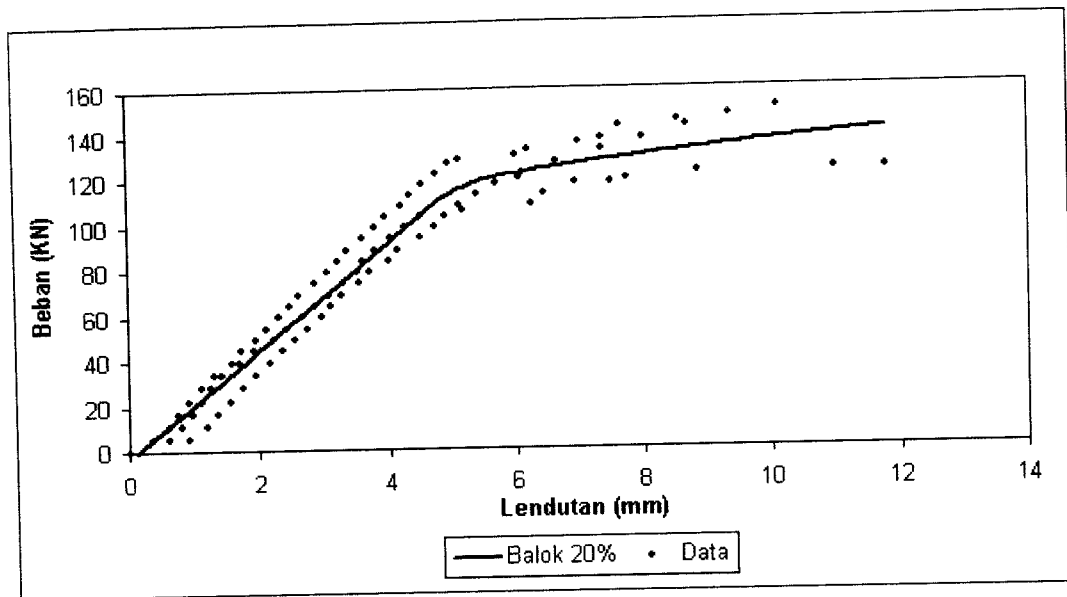
2. Hubungan beban-lendutan balok pori 10%



Gambar 5.2 Hubungan beban-lendutan balok pori 10%

Dari Gambar 5.2 diatas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan beban-lendutan pada balok pori 10%. Gambar 5.2 didapatkan dari hasil regresi 3 buah balok BP10. Nilai beban pada saat balok mengalami retak pertama dan pada saat baja mengalami leleh didapatkan dari hasil rerata 3 buah balok tersebut. Dimana besar beban pada saat baja mengalami retak pertama adalah 74,94 kN dan beban pada saat baja mengalami leleh sebesar 131,68 kN. Berdasarkan Gambar 5.2 diatas dapat diamati bahwa beban ultimit yang dapat ditahan oleh balok BP10 sebesar 162,00 kN, dan lendutan maksimum yang terjadi sebesar 23,96 mm. Hal ini berarti balok BP10 mengalami penurunan kekakuan dibandingkan balok BN. Sedangkan kuat lentur yang terjadi pada saat beban ultimit pada balok BP10 adalah 22096,98 kN/m². Jika dibandingkan dengan balok BN, semua nilai yang dihasilkan oleh balok BP10 mengalami penurunan.

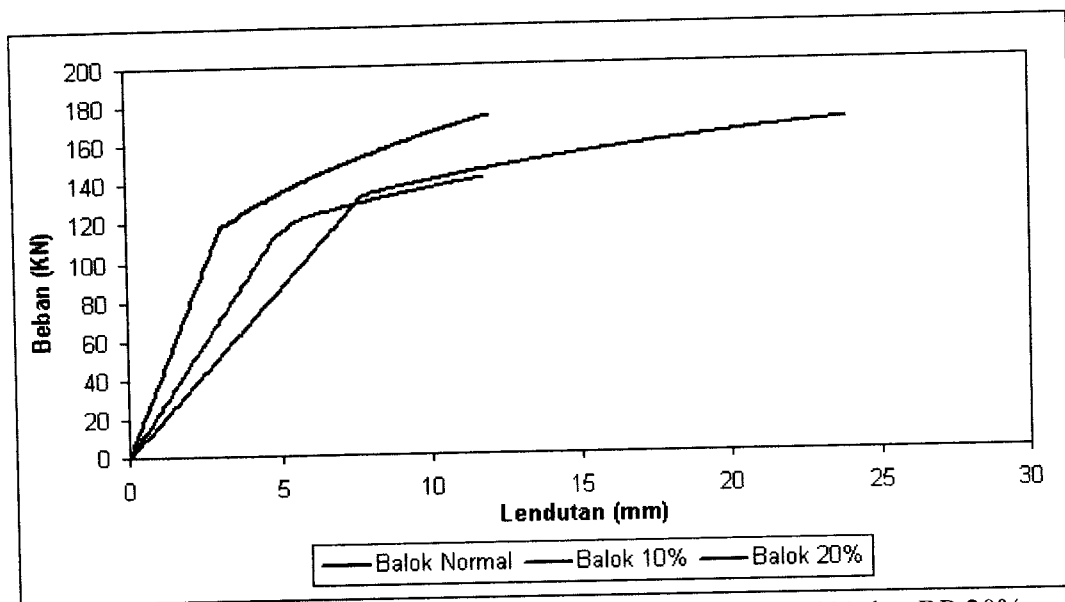
3. Hubungan beban-lendutan balok pori 20%



Gambar 5.3 Hubungan beban-lendutan balok pori 20%

Gambar 5.3 didapatkan dari hasil regresi 3 buah balok BP20. Nilai beban pada saat balok mengalami retak pertama dan pada saat baja mengalami leleh didapatkan dari hasil rerata 3 buah balok tersebut. Besar beban pada saat baja mengalami retak pertama adalah 71,00 kN dan beban pada saat baja mengalami leleh sebesar 117,33 kN. Berdasarkan Gambar 5.3 diatas dapat diamati bahwa beban ultimit yang dapat ditahan oleh balok BP20 sebesar 138,66 kN, dan lendutan maksimum yang terjadi sebesar 11,8 mm. Hal ini berarti balok BP20 mengalami penurunan kekakuan dibandingkan balok BN. Sedangkan kuat lentur yang terjadi pada balok BP20 adalah 18831,70 kN/m². Jika dibandingkan dengan balok BN dan balok BP10, semua nilai yang dihasilkan oleh balok BP20 mengalami penurunan.

4. Hubungan beban-lendutan balok normal, balok pori 10% dan balok pori 20%



Gambar 5.4 Hubungan beban-lendutan balok BN, BP10% dan BP 20%

Berdasarkan Gambar 5.4 diatas dapat diamati hubungan antara ketiga balok tersebut. Beban maksimum yang diterima oleh ketiga balok tersebut berbeda-beda. Untuk balok normal beban maksimum yang mampu ditahan yaitu 166,00 kN, balok BP10 yaitu 162,00 kN dan balok BP20 yaitu 138,66 kN. Hal ini menyatakan bahwa pada masing-masing tipe balok mengalami penurunan kekuatan terhadap balok BN.

Untuk mengetahui penurunan kekuatan yang lebih spesifik, dibandingkan berdasarkan kuat lentur yang terjadi. Jika dibandingkan berdasarkan beban ultimit yang diterima oleh balok, dimensi masing-masing balok tidak sama sehingga beban ultimit tidak mewakili kekuatan masing-masing balok. Kuat lentur yang terjadi pada balok BN sebesar 25042,53 kN/m², untuk balok BP10 22096,98 kN/m² dan balok BP20 18831,70 kN/m². Penurunan kuat lentur balok BP10 dan BP20 balok terhadap BN sebesar 11,76% dan 24,80%. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.4 Kuat lentur balok beton bertulang

No	Nama Balok	Kuat Lentur Retak pertama (kN/m ²)	Kuat Lentur leleh (kN/m ²)	Kuat Lentur Beban maximum (kN/m ²)	Kuat Lentur retak rerata (kN/m ²)	Kuat Lentur leleh rerata (kN/m ²)	Kuat Lentur ultimit rerata (kN/m ²)	Kuat Lentur Beban max (%)
1	BN-1	9938,83	17197,39	23767,28	9909,41	18182,88	25042,53	100
2	BN-2	9879,98	19168,38	26317,78				
3	BP10-1	9358,45	17862,10	20961,72	10043,41	17740,46	22096,98	88,24
4	BP10-2	11394,31	16920,46	22432,71				
5	BP10-3	9377,46	18438,82	22896,52				
6	BP20-1	11412,61	17422,86	20405,34	9649,49	15900,08	18831,70	75,20
7	BP20-2	8728,80	15874,36	19289,23				
8	BP20-3	8807,07	14403,03	16800,53				

Terjadinya perbedaan ini karena pengaruh keroposnya balok yang digantikan oleh sterofom. Oleh karena itu didalam balok terbentuk rongga yang menyebabkan ikatan antara agregat tidak maksimal. Pada saat balok menerima beban, karakteristik distribusi beban pada masing-masing balok tidak sama. Sehingga terjadi penurunan beban ultimit yang diterima balok. Sedangkan terjadinya penurunan lendutan, karena volume beton berkurang oleh keropos yang menyebabkan beton tidak mempunyai kekuatan untuk menahan lendutan.

5.6.2 Hubungan Momen dan Kelengkungan

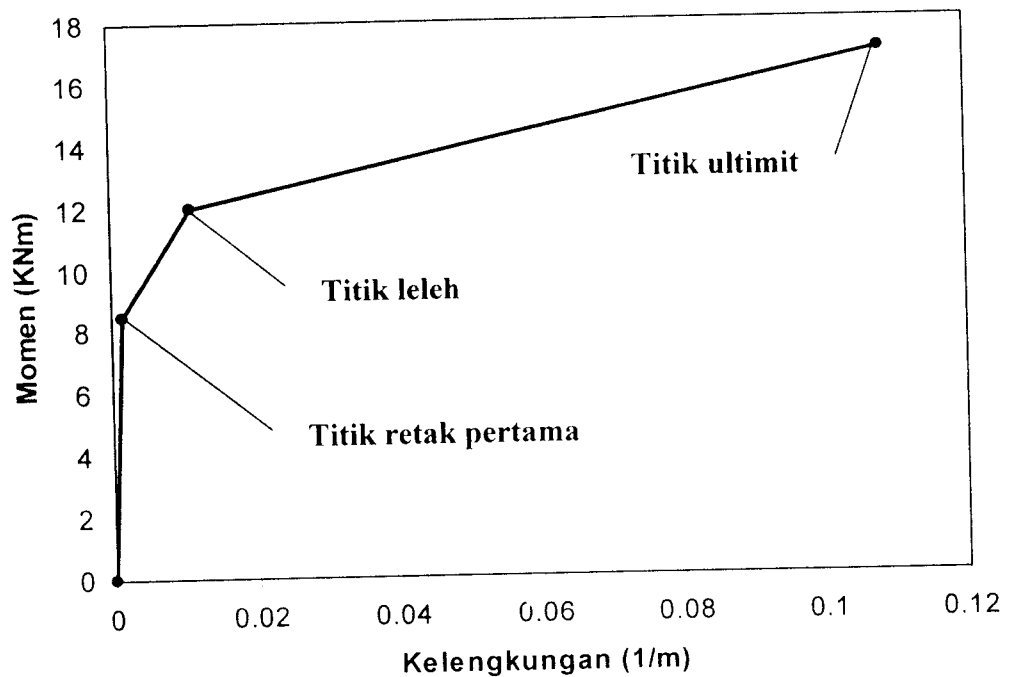
1. Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

Perilaku struktur yang mengalami lentur yang dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi yaitu : saat kondisi sebelum retak, setelah retak pada saat leleh pertama dan retak pada saat beban maksimum (ultimit).

Dari hasil perhitungan teoritis momen-kelengkungan pada balok BN (Lampiran F2), diperoleh data sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Hubungan momen-kelengkungan teoritis

M_{rt} (kNm)	Φ_{rt} (1/m)	M_y (kNm)	Φ_y (1/m)	M_u (kNm)	Φ_u (1/m)
8,457	0,00151	12	0.011	16,974	0.108



Gambar 5.5 Hubungan momen-kelengkungan teoritis

Dari Tabel 5.5 dan Gambar 5.5 didapatkan bahwa saat kondisi sebelum retak pertama momen yang terjadi sebesar 8,457 kNm dengan kelengkungan 0,00151 1/m. Saat kondisi leleh pertama momen yang terjadi sebesar 12 kNm dengan kelengkungan 0,011 1/m, sedangkan saat kondisi balok mencapai beban maksimum momen yang terjadi sebesar 16,974 kNm dengan kelengkungan 0,108 1/m. Maka dari grafik momen-kelengkungan teoritis, sebelum terjadi retak pertama garis bersifat elastis penuh. Setelah terjadi retak pertama sampai titik

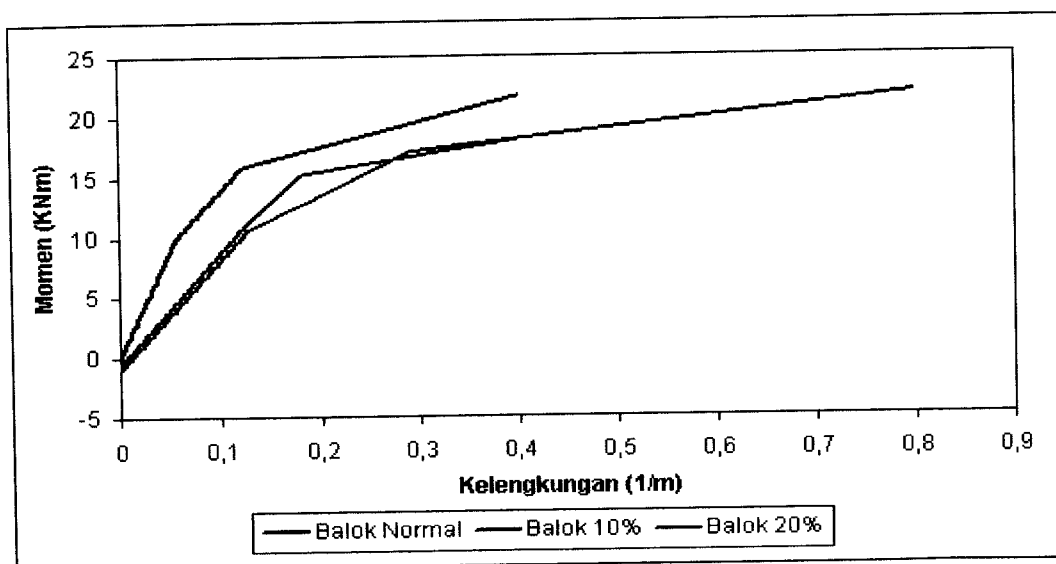
leleh garis tetap elastis meskipun tidak elastis penuh. Dan sebelum terjadi titik ultimit garis menjadi lebih landai dari pada sebelum terjadi retak dan leleh.

2. Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian

Hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) penelitian dapat dicari, setelah hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) didapatkan dari hasil pengujian kuat lentur balok beton. Peningkatan kelengkungan terjadi bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur balok beton. Kelengkungan balok beton diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan *finite difference method*. Dari data pembacaan dial dapat dicari momen-kelengkungan. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada lampiran F

Tabel 5.6 Hubungan momen-kelengkungan pengujian pada saat beban 12000 kg (120 kN)

Type balok	Momen (kNm)	Φ uji (1/m)	Φ uji / Φ teori	Rasio Φ thdp Balok normal (%)
BN	15,353	0,131	1,210	100
BP10	15,354	0,221	2,050	169
BP20	15,350	0,318	2,948	244



Gambar 5.6 Hubungan momen-kelengkungan pengujian

Dari Tabel 5.6 dapat disimpulkan bahwa kelengkungan balok BP10 dan BP20 mengalami kenaikan terhadap balok BN. Tetapi jika diamati pada saat balok mencapai beban ultimit, nilai kelengkungan balok berbeda. Karena beban ultimit pada masing-masing tipe balok tidak sama, juga lendutan maksimum pada yang terjadi berbeda. Sehingga dalam perhitungan kelengkungan yang menggunakan data lendutan, menyebabkan nilai kelengkungan yang dihasilkan berbeda-beda.

Pada saat mencapai beban ultimit nilai momen balok BN sebesar 20,87 kNm dan kelengkungannya sebesar 0,400 1/m. Untuk balok BP10 nilai momennya sebesar 20,59 kNm dan kelengkungannya sebesar 0,64 1/m. Sedangkan untuk balok BP20-3 nilai momennya sebesar 17,45 kNm dan kelengkungannya sebesar 0,35 1/m. Untuk mengetahui peningkatan yang terjadi pada masing-masing tipe balok, diamati pada saat beban 12000 kg. Pada saat beban 12000 kg balok BP10 mengalami peningkatan kelengkungan sebesar 69% dan balok BP20 sebesar 144% terhadap balok normal. Hal ini berarti pori didalam balok menambah kelengkungan balok. Ini disebabkan oleh berkurangnya volume beton karena terdapat pori didalam beton yang menyebabkan lendutan semakin besar.

5.6.3 Analisa Kekakuan dan Faktor Kekakuan

Kekakuan balok (k) diketahui dari nilai banding momen dan sudut perpindahan. Kekakuan pada balok juga dapat diamati dari sudut kemiringan balok setelah diberi beban, semakin besar sudut kemiringan yang dibentuk maka semakin kaku balok tersebut. Nilai kekakuan untuk semua balok disajikan lampiran I dan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Analisa kekakuan balok

Model Balok	Momen (kNm)	θ (°)	Kekakuan (M/ θ)	Rasio kekakuan (%)
BN	12,97	0,36	36,04	100,00
BP10	12,97	0,81	15,95	44,26
BP20	12,97	0,64	20,37	56,52

Dari Tabel 5.7 pada balok normal dapat diamati bahwa kekakuan yang terbesar terjadi pada BN dengan nilai kekakuan sebesar 36,04 kN/mm, sedangkan untuk balok BP10 nilai kekakuannya 15,95 kN/mm dan BP20 kekakuannya sebesar 20,37 kN/mm.

Jika dibandingkan dengan balok BN rasio kekakuan balok BP10 dan BP20 sebesar 44,26% dan 56,52%. Terjadinya penurunan kekakuan balok ini disebabkan oleh adanya rongga didalam balok yang menyebabkan lendutan yang terjadi semakin besar sehingga kekakuannya bertambah. Sedangkan terjadinya perbedaan kekakuan antara BP10 dan BP20, karena rongga tidak merata dan juga mutu beton pada setiap lapisan tidak sama atau campuran tidak homogen, yang menyebabkan terjadinya perbedaan kekuatan.

5.6.4 Analisa Daktilitas Simpangan dan Daktilitas Kelengkungan

Daktilitas simpangan merupakan nilai banding antara lendutan pada saat lendutan ultimit dengan lendutan pada beban leleh pertama. Daktilitas juga dapat ditentukan dari data kelengkungan dengan kondisi sama dengan lendutan dan dikenal sebagai daktilitas kelengkungan. Hasil perhitungan kedua daktilitas dapat dilihat pada lampiran J dan pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Analisa daktilitas balok

Model Balok	Daktilitas Simpangan	Persentase	Daktilitas kelengkungan	Persentase
	Δ_u/Δ_y	(%)	Φ_u/Φ_y	(%)
BN	3,571	100	3,571	100
BP10	2,555	72	2,555	72
BP20	1,980	55	1,980	55

Dari Tabel 5.8 dapat diketahui bahwa tingkat daktilitas simpangan yang terbesar pada balok BN adalah dengan nilai daktilitas simpangan dan daktilitas kelengkungan sebesar 3,571. Untuk balok BP10 daktilitas simpangan dan

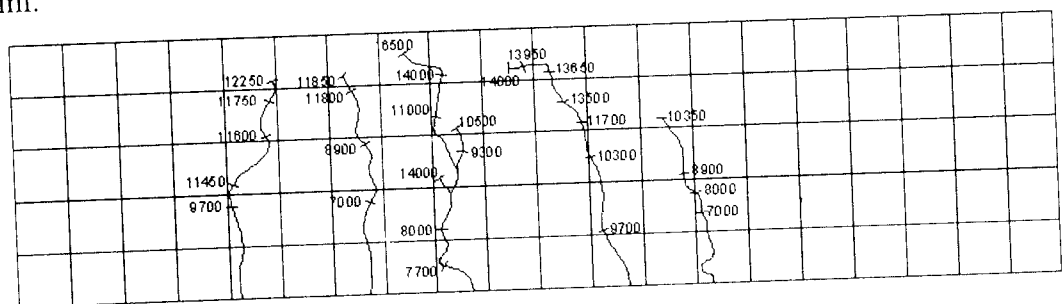
daktilitas kelengkungan sebesar 2,555. Sedangkan untuk balok BP20 daktilitas simpangan dan daktilitas kelengkungan sebesar 1,980.

Jika dibandingkan dengan balok BN rasio daktilitas simpangan dan daktilitas kelengkungan balok BP10 dan BP20 sebesar 28% dan 45%. Penurunan nilai daktilitas ini menyebabkan bahwa proses balok BP10 dan BP20 mengalami runtuh menjadi lebih cepat.

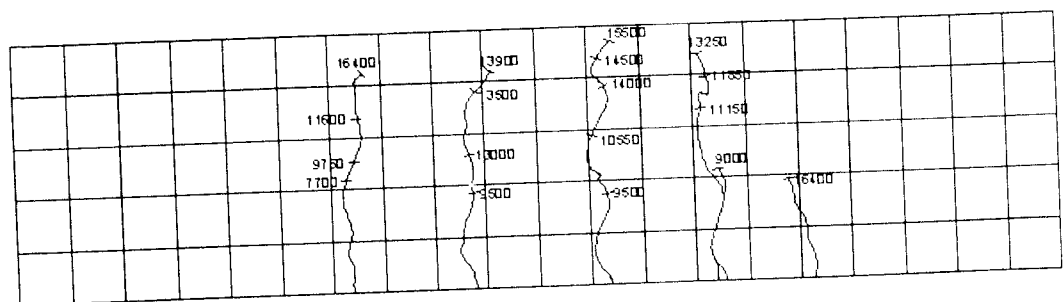
5.7 Analisa Retak Balok

5.7.1 Perilaku Pola Retak Balok

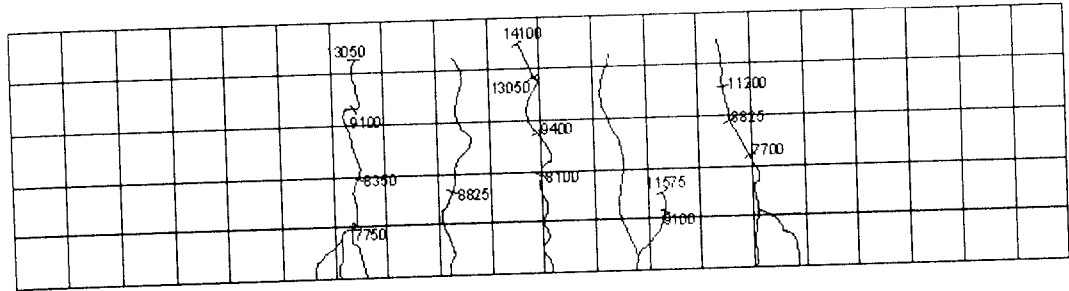
Retak tegak lurus pada sumbu longitudinal akan terjadi pada balok jika terjadi pembebanan. Hal ini disebabkan regangan tarik yang terjadi pada sisi bawah penampang sudah melebihi regangan tarik beton. Dari hasil penelitian didapatkan data-data pembebanan, pola retak dan panjang retak. Retak yang terjadi pada masing-masing balok dapat dilihat pada Gambar 5.7 – 5.22 berikut ini.



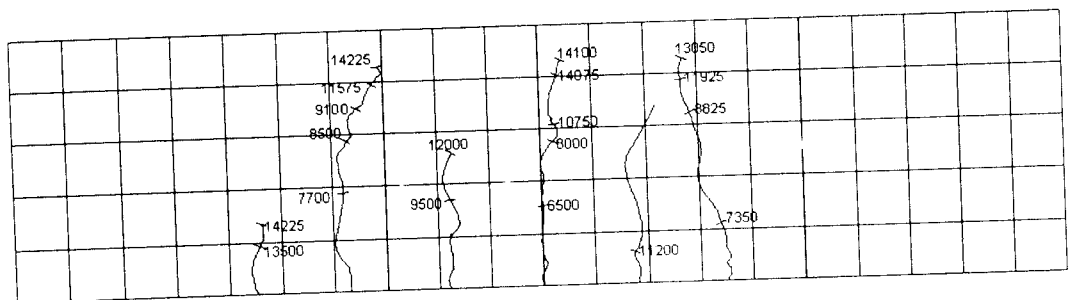
Gambar 5.7 Pola retak pada balok BN1 sisi kiri



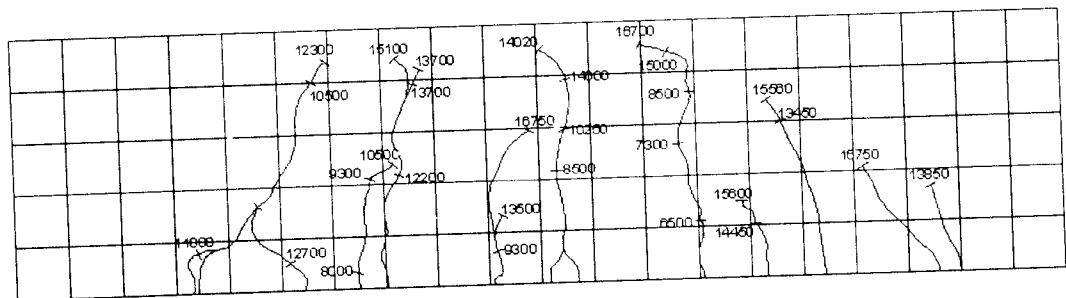
Gambar 5.8 Pola retak pada balok BN1 sisi kanan



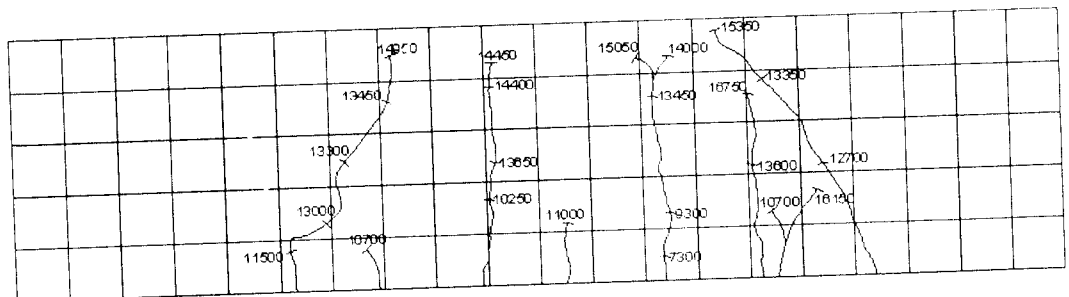
Gambar 5.9 Pola retak pada balok BN2 sisi kiri



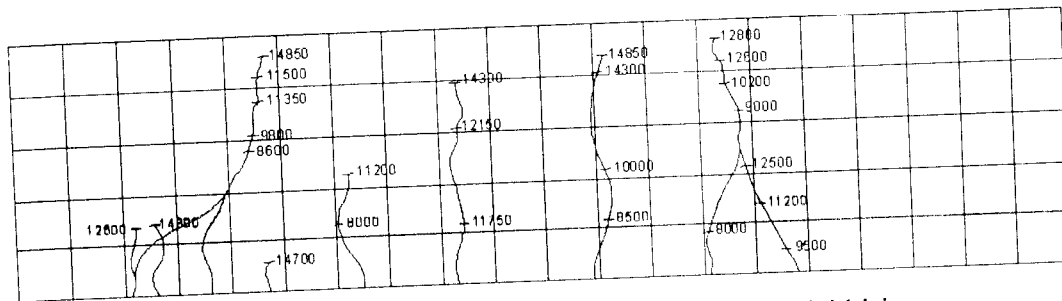
Gambar 5.10 Pola retak pada balok BN2 sisi kanan



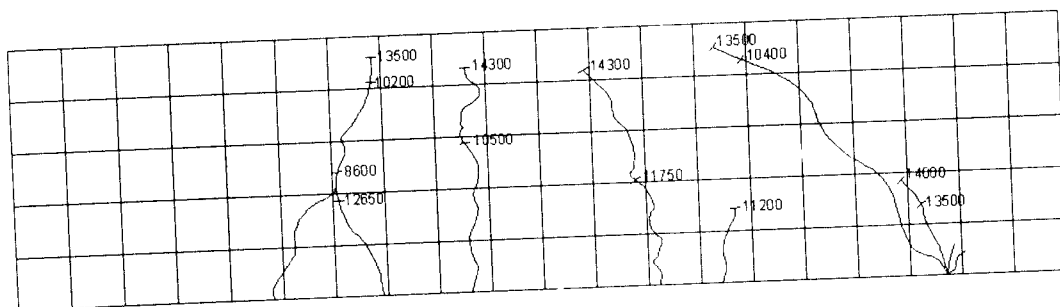
Gambar 5.11 Pola retak pada balok BP10-1 sisi kiri



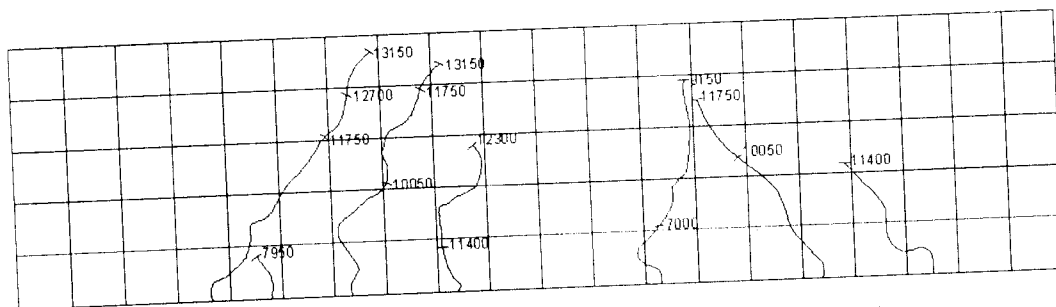
Gambar 5.12 Pola retak pada balok BP10-1 sisi kanan



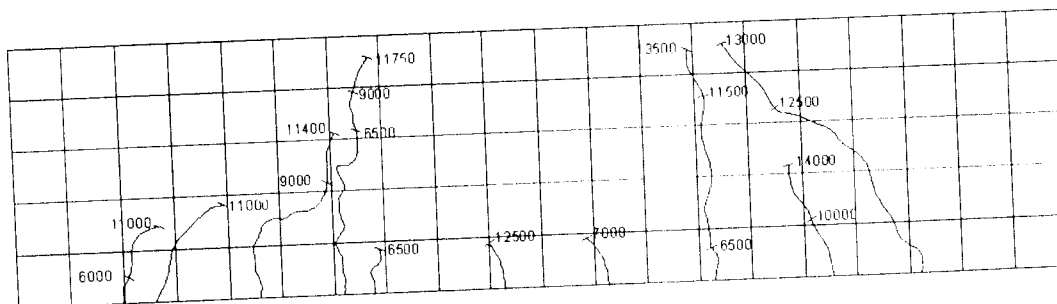
Gambar 5.17 Pola retak pada balok BP20-1 sisi kiri



Gambar 5.18 Pola retak pada balok BP20-1 sisi kanan



Gambar 5.19 Pola retak pada balok BP20-2 sisi kiri



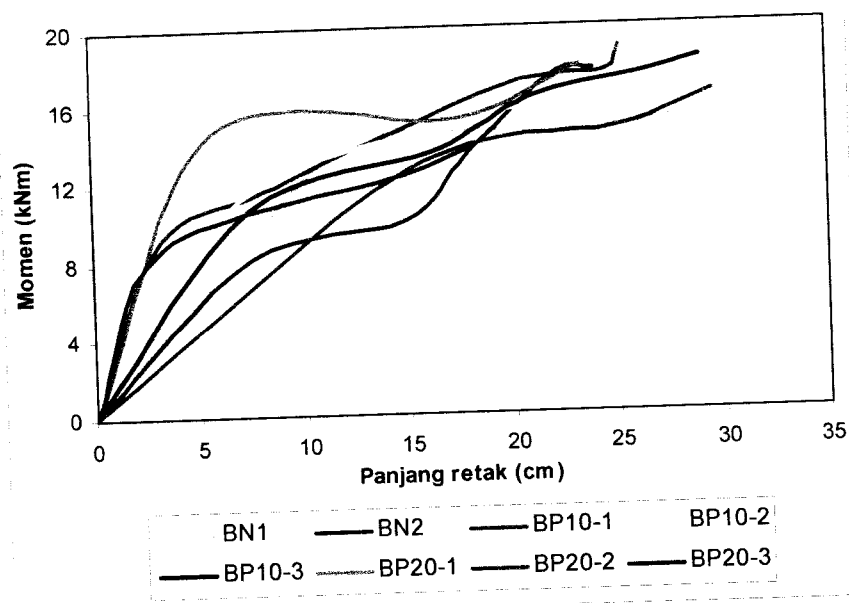
Gambar 5.20 Pola retak pada balok BP20-2 sisi kanan

Terjadinya retak geser ini karena berkurangnya volume beton atau karena adanya pori, dalam hal ini pengganti pori berupa sterofoam. Selain itu juga disebabkan oleh adanya pori pada daerah tumpuan, sehingga pada saat penyaluran beban tumpuan tidak mampu menahan beban yang menyebabkan terjadinya retak geser.

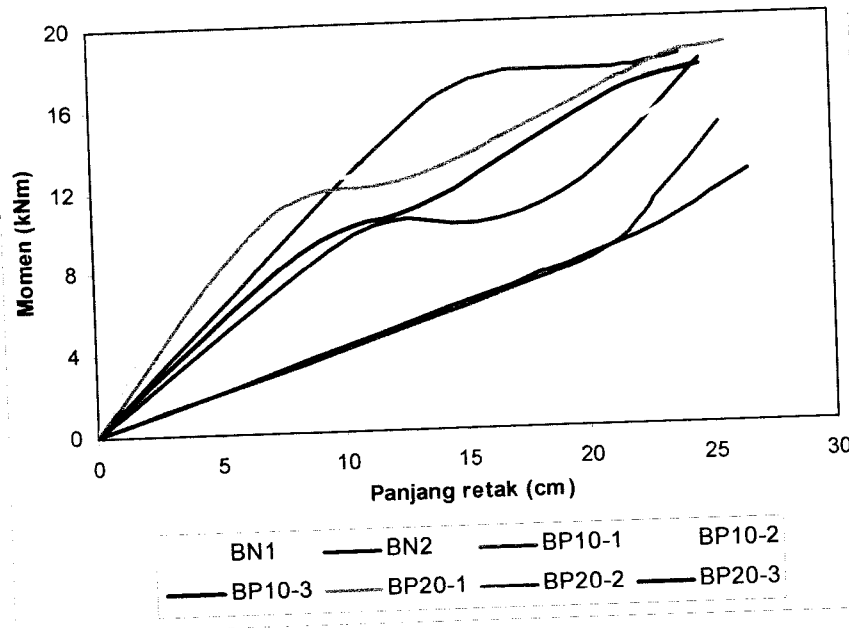
Berdasarkan Gambar 5.7 sampai Gambar 5.22 dapat juga dilihat bahwa retak lentur terjadi terlebih dahulu dibandingkan retak gesernya. Retak lentur merambat sesuai dengan pertambahan beban, sedangkan retak geser mulai timbul ketika retak lentur semakin mendekati daerah tekan penampang balok. Retak geser ditandai dengan retak miring yang membentuk sudut 45° .

5.7.2 Hubungan Momen dan Panjang Retak

Retak pada daerah lentur ditandai dengan retak tegak lurus sumbu longitudinal, sedangkan pada daerah geser biasanya mengalami retak lentur dahulu baru kemudian keretakan yang terjadi miring lebih kurang 45° . Dari hasil pengujian didapatkan hubungan momen dengan panjang retak, hal tersebut dapat dilihat pada lampiran G dan Gambar 5.22 dan Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Grafik Momen dan panjang retak untuk daerah tumpuan kiri



Gambar 5.24 Grafik Momen dan panjang retak untuk daerah tumpuan kanan

Dari Gambar 5.23 dan Gambar 5.24 dapat diketahui bahwa panjang retak yang terjadi pada masing-masing balok hampir sama. Hanya beban yang dibutuhkan untuk mencapai panjang retak berbeda-beda. Pada balok BN, untuk mencapai panjang retak maksimal membutuhkan momen yang lebih besar dari pada balok BP10 dan BP20. Hal ini menyatakan bahwa balok BN bersifat lebih *ductile* (liat) dari pada balok BP10 dan BP20.

5.8 Pembahasan

5.8.1 Kuat lentur balok

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh keroposnya suatu balok terhadap kekuatan normalnya, dapat dibandingkan dengan kuat lentur yang terjadi. Jika dibandingkan berdasarkan beban maksimum yang diterima oleh masing-masing tipe balok, ukuran setiap balok tidak sama sehingga data yang dihasilkan tidak mencerminkan kekuatan sebenarnya yang mampu ditahan balok.

Berdasarkan Tabel 5.6 dapat diketahui bahwa kuat lentur balok BN yang terjadi sebesar 25042,53 kN/m². Sedangkan kuat lentur pada balok pori 10% sebesar 22096,98 kN/m², dan untuk balok pori 20% sebesar 18831,70 kN/m². Jika Kuat lentur balok normal dianggap 100%, maka rasio perbandingan kuat lentur balok BP10 dan BP20 adalah 88,24% dan 75,20%.

Berdasarkan data ini dapat dibuat suatu kesimpulan bahwa pori dengan volume kelipatan 10% dapat mengurangi kuat lentur balok sebesar 12 %. Terjadinya pengurangan kuat lentur ini disebabkan karena adanya pori didalam balok yang menyebabkan penyaluran beban pada balok tidak bekerja dengan maksimal. Ini menyebabkan balok pori tidak dapat mencapai kuat lentur yang direncanakan.

5.8.2 Kuat lentur balok ditinjau dari hubungan beban dengan lendutan

Dari penelitian didapatkan hubungan beban (P) dan lendutan (Δ). Nilai kekakuan (k) didapatkan dari P/Δ . Pada balok BN didapatkan nilai lendutan 12 mm dengan beban ultimit 166,00 kN, untuk balok BP10 lendutan yang terjadi 23,96 mm dan beban ultimit 162 kN, sedangkan untuk balok BP20 lendutan yang terjadi 11,8 mm dengan beban ultimit sebesar 138,66 kN.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar pori pada balok, lendutan yang terjadi semakin besar. Hal ini disebabkan beton yang tidak padat menyebabkan ikatan antara beton dan tulangan tidak maksimal. Jadi pada saat balok menerima beban, beton tidak memberi dukungan pada tulangan tarik untuk menahan lendutan.

5.8.3 Kuat lentur balok ditinjau dari hubungan momen dan kelengkungan

Hubungan momen dan kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan. Seperti yang terdapat pada Tabel 5.6 maka dapat dilakukan analisa data momen dengan kelengkungan sehingga dapat diperoleh perbandingan momen-kelengkungan balok beton normal dengan balok berpori.

Sebagai pembanding besarnya momen dan kelengkungan pada balok normal dianggap sebesar 100%. Dari hasil perhitungan dapat diperoleh angka kenaikan atau penurunan nilai momen dan kelengkungan dari balok BP10 dan BP20.

Pada saat beban 12000 kg kelengkungan balok BN sebesar 0,131 1/m balok BP10 sebesar 0,221 1/m dan balok BP20 sebesar 0,318 1/m. Sedangkan ratio perbandingan kelengkungan terhadap balok BN mengalami kenaikan sebesar 64% dan 144%. Dengan kata lain adanya pori pada balok dapat meningkatkan kelengkungan pada balok.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dibuat dari penelitian balok beton bertulang yang berongga terhadap kuat lentur adalah sebagai berikut :

1. Kuat lentur yang dapat ditahan oleh masing masing tipe balok memiliki selisih yang cukup besar. Dengan penurunan kuat lentur yang terjadi sebesar 11,76% dan 24,80% untuk balok BP10 dan BP20 terhadap balok BN. Dapat disimpulkan penurunan kuat lentur untuk yang disebabkan pori dengan kelipatan 10% sebesar 12% dari kuat lentur rencana.
2. Adanya pori didalam balok dapat menurunkan kekakuan balok itu sendiri. Penurunan kekakuan balok yang berpori 10% dan berpori 20% terhadap balok normal sebesar 55,74% dan 43,48%.
3. Kelengkungan yang terjadi pada balok BP10 dan BP20 juga mengalami peningkatan dibandingkan dengan balok BN dengan kenaikan nilai kelengkungan sebesar 69% dan 144%.
4. Daktilitas simpangan dan daktilitas kelengkungan yang terjadi pada balok BP10 dan BP20 mengalami penurunan jika dibandingkan dengan balok BN. Besarnya penurunan daktilitas sebesar 28% dan 45% terhadap balok BN.
5. Pola retak yang terjadi pada balok BN adalah retak lentur sedangkan pola retak pada balok BP10 dan BP20 terdiri dari retak lentur dan retak geser.

6.2 Saran

Untuk memperoleh hasil yang lebih baik dalam melakukan penelitian balok, dikemukakan saran sebagai berikut :

1. Dalam pelaksanaan penelitian hendaknya menggunakan dial yang sejenis agar diperoleh data yang seragam.

2. Dalam pembuatan sampel hendaknya menggunakan beton yang berasal dari satu adukan agar mutu beton antara masing-masing balok saling berdekatan.
3. Dalam pembuatan sampel, pada daerah tumpuan hendaknya dibuat beton normal. Karena jika pada daerah tumpuan terdapat pori, pada saat pengujian balok akan masuk kedalam tumpuan.
4. Hendaknya dicari alternatif bahan yang lain sebagai pembentuk pori. Misalnya sterofoam yang berbentuk bulat atau bola plastik yang kecil.
5. Dapat dilakukan penelitian lanjutan berkaitan dengan pori yang terdapat didalam balok, baik volume, penampang maupun panjang balok.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1979, **PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971 NI2**, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1982, **PERSYARATAN UMUM BAHAN BANGUNAN DI INDONESIA**, Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Ferguson, Phil M, 1986, **DASAR-DASAR BETON BERTULANG**, Terjemahan Budianto Sutanto dan Kris Setianto, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Hari Purwanto dan Cholis Yudianto, 2000, **TUGAS AKHIR PENULANGAN GESER MINIMUM DALAM BALOK MUTU NORMAL DAN BALOK BETON MUTU TINGGI (STUDI EKSPERIMENTAL)**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Indra Saputra dan Heri Sulistiyo, 2006, **TUGAS AKHIR ANALISIS KUAT GESER DAN LENTUR PADA BALOK BETON BERTULANG DENGAN PENEMPATAN KAWAT STRIMIN BENTUK PERSEGI DUA LAPIS**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Istimawan Dipohusodo, 1994, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Kardiyono Tjokrodimoeljo, 1992, **BAHAN BANGUNAN**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Laurentius Wahyudi dan Syahril A. Rahim, 1997, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, Gramedia, Jakarta.
- Murdoek, L.J., and Brook, K.M., 1986, **BAHAN DAN PRAKTEK BETON**, Terjemahan Ir. Stephanus Hendarko, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, Edward G., 1990, **BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR**, Terjemahan Bambang Suryoatmono, PT. Eresco, Bandung.

- Park, R. Dan Paulay, 1975, **REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**.
John Wiley & Sonc, Inc, New York.
- R. Segel, P. Kole, Gideon Kusuma., 1993, **PEDOMAN Pengerjaan
BETON BERDASARKAN SKSNI T-15-1991-03**, Seri kedua.
- Timoschenko, S.P. dan Gere, 1987, **MEKANIKA BAHAN**, Terjemahan Hans.
J.Waspakrik, Jilid 1, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Vis, W.C. dan Gideon Kusuma. 1993, **DASAR-DASAR PERENCANAAN
BETON BERTULANG**, Seri 1, Erlangga, Jakarta.
- Wang, C.K. dan Salmon, C.G., 1993, **DESAIN BETON BERTULANG**, Jilid 1.
Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- _____, 2007, **BUKU PANDUAN PRAKTIKUM
TEKNOLOGI BAHAN KONSTRUKSI**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas
Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- _____, 2002, SK SNI 03 – 2847 – 2002, **TATA CARA
PERENCANAAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN
GEDUNG**, Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.

LAMPIRAN A

Pengujian Agregat

Lampiran A1



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Penguji : Arisfan Diuji tanggal : April 2007
 Pasir asal : Merapi, Kaliurang
 Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Contoh 1	Contoh 2	Rata - rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	473	472,8	472,9
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, gram	500	500	500
Berat picnometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1146,1	1145,2	1145,65
Berat picnometer berisi air, gram (B)	838	837,8	837,9
Berat jenis curah, gram/cm ³(1) $Bk / (B + 500 - Bt)$	2,465	2,455	2,46
Berat jenis jenuh kering muka, gram/cm ³ ... (2) $500 / (B + 500 - Bt)$	2,606	2,596	2,601
Berat jenis semu.....(3) $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,868	2,859	2,863
Penyerapan air(4) $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$	5,708	5,753	5,731

Keterangan :

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram

Kesimpulan :

Dari hasil penelitian didapatkan :

- Berat jenis curah = 2,46 gr/cm³
- Berat jenis kering muka = 2,60 gr/cm³
- Berat jenis semu = 2,86 gr/cm³
- Penyerapan air = 5,731 %

Yogyakarta, April 2007

Disahkan oleh

Dikerjakan Oleh

Arisfan

Lampiran A2



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

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR (KERIKIL)

Penguji : Arisfan
 Asal agregat : Merapi, Kaliurang
 Keperluan : Tugas Akhir

Diuji tanggal : April 2007

Uraian	Contoh 1	Contoh 2	Rata - rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4935,5	4925,7	4930,6
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka, gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3165,8	3157,3	3161,55
Berat jenis curah, gram/cm ³(1) Bk / (Bj - Ba)	2,691	2,673	2,682
Berat jenis jenuh kering muka, gram/cm ³ ... (2) Bj / (Bj - Ba)	2,726	2,713	2,72
Berat jenis semu.....(3) Bk / (Bk - Ba)	2,789	2,785	2,787
Penyerapan air(4) (Bj - Bk) / Bk x 100%	1,307	1,508	1,408

Kesimpulan : Berat jenis jenuh kering muka atau SSD adalah 2,72

Yogyakarta, April 2007

Disahkan oleh

Dikerjakan Oleh

Arisfan

Lampiran A3



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

DATA MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT KASAR

Penguji : Arisfan

Diuji tanggal : April 2007

Asal agregat : Merapi, Kaliurang

Keperluan : Tugas Akhir

Lubang ayakan. (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal Kumulatif (%)	Persen lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	27,5	0,55	0,55	99,45
10,00	2707,6	54,152	54,072	45,298
4,80	2013	40,26	94,962	5,038
2,40	251,9	5,038	100	0
1,20			100	
0,60			100	
0,30			100	
0,15			100	
Sisa			-	
Jumlah	5000	100	650,214*	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{650,214}{100} = 6,502$$

Yogyakarta, April 2007

Disahkan oleh

Dikerjakan Oleh

Arisfan

Lampiran A4



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

DATA MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT HALUS

Penguji : Arisfan
Pasir asal : Merapi, Kaliurang
Keperluan : Tugas Akhir

Diuji tanggal : April 2007

Lubang ayakan. (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal Kumulatif (%)	Persen lolos Kumulatif (%)
40,00				
20,00				
10,00	0	0	0	100
4,80	2	0,1	0,1	99,9
2,40	102	10,25	10,35	89,65
1,20	309	17,25	27,60	72,40
0,60	473,9	27,50	55,10	44,90
0,30	374,2	23	78,10	21,90
0,15	377,9	11	89,10	10,90
Sisa	361	10,9	-	-
Jumlah	2000	100	260,35*	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{260,35^*}{100} = 2,6035$$

GRADASI PASIR

Lubang ayakan (mm)	Persen butir agregat yang lewat ayakan			
	Daerah I (Ps.Kasar)	Daerah II (Ps.agak kasar)	Daerah III (Ps agak halus)	Daerah IV (Ps halus)
10	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Yogyakarta, April 2007

Dikerjakan Oleh

Disahkan oleh

Arisfan

Lampiran A5



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

Penguji : Arisfan
Baja asal : Yogyakarta
Keperluan : Tugas Akhir

Diuji tanggal : April 2007

Diameter (mm)	Luas Tampang (mm ²)	Tegangan luluh (kgf)	Tegangan max (kgf)	Tegangan patah (kgf)	<i>F_y</i> (MPa)	<i>F_u</i> (MPa)
6,5	33,183	1280	-	-	416,59	-
8,5	56,745	1610	2450	1970	321,47	477,16
11,3	100,287	3540	5380	5200	348,55	527,06

Disahkan oleh

Yogyakarta, April 2007

Dikerjakan Oleh

Arisfan

LAMPIRAN B

*Hitungan Perencanaan Adukan Beton Metode
DOE*

Lampiran B



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

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

PERENCANAAN ADUKAN BETON

Perencanaan campuran adukan beton dengan metode **DOE (Department of Environment)** adalah sebagai berikut ini :

Kuat desak rencana	:	25 MPa
Jenis semen	:	Semen Portland
Jenis pasir	:	Agak kasar (termasuk gradasi II)
Jenis kerikil	:	Batu pecah
Ukuran maksimum kerikil	:	20 mm
Nilai slump	:	75 mm – 150 mm
Berat jenis pasir	:	2,6 gr/cm ³
Berat jenis kerikil	:	2,7248 gr/cm ³

Langkah – langkah perencanaan :

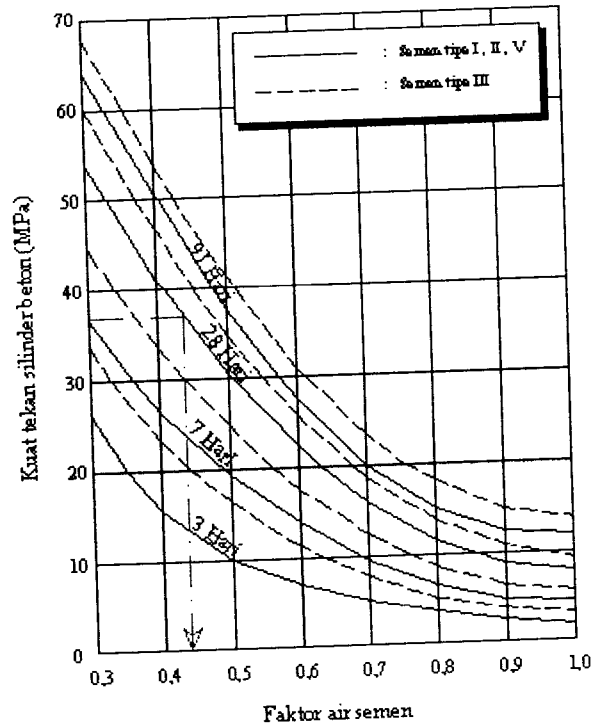
1. Kuat tekan beton yang diisyaratkan pada 28 hari : 25 MPa
2. Deviasi standart $S = 7$ MPa, Karena tidak mempunyai data pengalaman sebelumnya.
3. Nilai tambah 12 MPa, karena tidak mempunyai data.
4. Kuat tekan rata-rata yang direncanakan, $f'_{cr} = 25 + 12 = 37$ MPa
5. Menetapkan jenis semen
Digunakan semen Portland merk Holcym 50 kg
6. Menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil)
Digunakan jenis pasir agak kasar (termasuk daerah gradasi II)
Digunakan jenis kerikil batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm.
7. Menetapkan faktor Air Semen
Cara I = 0,43 (didapat dari grafik hubungan faktor air semen dan kuat tekan)

Lampiran B



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584



Grafik 1 Hubungan faktor air semen dan kuat tekan

Cara II = 0,6 (didapat dari tabel persyaratan fas maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus)

Tabel 1 Persyaratan F A S maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

JENIS PEMBETONAN	FAS MAKSIMUM
Beton didalam ruang bangunan :	
a. Keadaan keliling korosif	0,6
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	0,52

Lampiran B



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

Beton di luar ruang bangunan :	
a. Tidak terlindungi oleh hujan dan terik matahari langsung	0,55
b. Terlindung oleh hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk kedalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah-kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Tabel 3.b buku praktikum BKT
Beton yang selalu terhubung dengan air tawar / payau / laut	Tabel 3.c buku praktikum BKT

Dari kedua nilai F A S diatas dipakai F A S yang terendah yaitu = 0,43

8. Menetapkan nilai slump = 7,5 cm – 15 cm

Tabel 2 Penetapan Nilai Slump (cm)

Pemakaian Beton :	Maksimum	Minimum
Dinding, Plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur dibawah tanah	9,0	2,5
Plat, Balok, Kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,5	2,5

9. Ukuran butir agregat batu pecah maksimum (dari pengayakan) : 20 mm.

10. Menetapkan kebutuhan air = 225 liter

Lampiran B



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

Tabel 3 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besarnya ukuran maks kerikil (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
30	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

11. Menentukan kebutuhan semen.

$$= \frac{\text{air}}{\text{faktor.air.semen}}$$

$$= \frac{225}{0,43} = 523,26 \text{ kg (dari butir 7 dan 11)}$$

12. Kebutuhan semen minimum = 275 kg

Tabel 4 Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

JENIS PEMBETONAN	Semen minimum (kg/m ³ beton)
Beton didalam ruang bangunan :	
c. Keadaan keliling korosif	275
d. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	325
Beton di luar ruang bangunan :	
c. Tidak terlindungi oleh hujan dan terik matahari langsung	325
d. Terlindung oleh hujan dan terik matahari langsung	275

Lampiran B



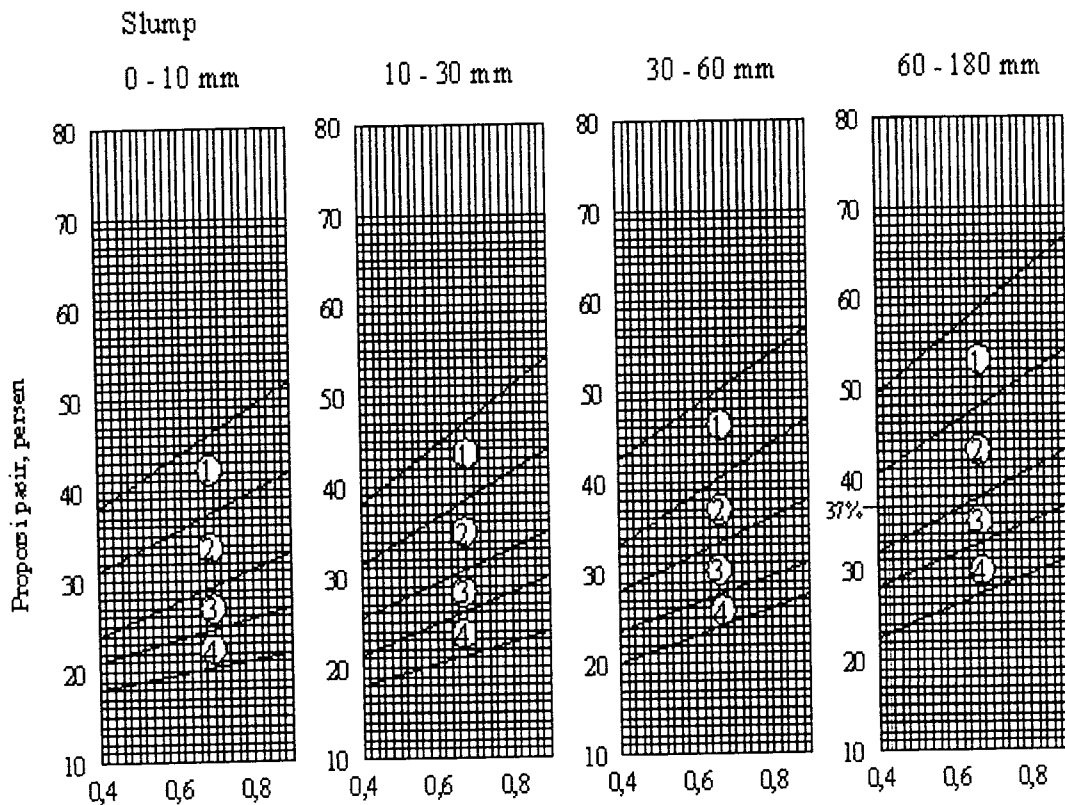
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

Beton yang masuk kedalam tanah : c. Mengalami keadaan basah-kering berganti-ganti d. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325 Tabel 6.b buku praktikum BKT
Beton yang selalu terhubung dengan air tawar / payau / laut	Tabel 6.c buku praktikum BKT

Dari kedua kebutuhan semen diatas dipakai kebutuhan semen terbesar yaitu 523,26 kg.

13. Persentase pasir dan kerikil = 37 % dan 63 % (Gafik hubungan fas, slump dan ukuran butir maksimum)



Grafik 2 Persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk butir maksimum 20 mm

Lampiran B



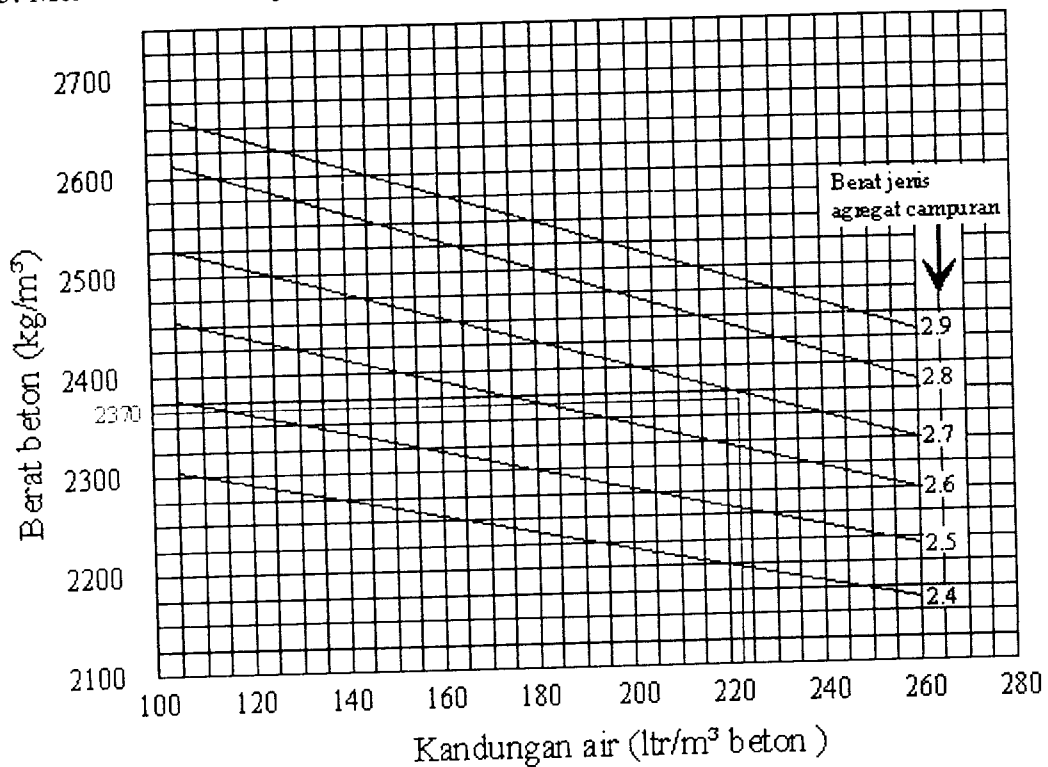
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

14. Menentukan berat jenis agregat campuran pasir dan kerikil

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P}{100} \times bj_aghs + \frac{K}{100} \times bj_agksr \\
 &= \left(\frac{37}{100} \times 2,6 \right) + \left(\frac{63}{100} \times 2,7248 \right) \\
 &= 2,68
 \end{aligned}$$

15. Menentukan berat jenis beton = 2370 kg/m³



Grafik 3 Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat beton

16. Menentukan kebutuhan berat pasir dan kerikil :

Berat pasir + kerikil = berat beton – kebutuhan air – kebutuhan semen

$$\begin{aligned}
 W_{psr} + krkl &= W_{bn} - A - S \\
 &= 2370 - 225 - 523,26 \\
 &= 1621,74 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Lampiran B



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

17. Menentukan kebutuhan pasir :

$$\begin{aligned}W_{\text{psr}} &= \frac{37}{100} \times 1621,74 \\ &= 600,04 \text{ kg}\end{aligned}$$

18. Menentukan kebutuhan kerikil :

$$\begin{aligned}W_{\text{krkl}} &= 1621,74 - 600,044 \\ &= 1021,7 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kesimpulan :

Untuk 1 m³ beton dibutuhkan :

a. Air	= 225 liter	c. Pasir	= 600,04 kg
b. Semen	= 523,26 kg	d. Kerikil	= 1021,7 kg

Kebutuhan Material untuk pengecoran

Cetakan silinder

Tinggi	= 0,3 m
Diameter	= 0,15 m
Jumlah	= 3 buah

$$\begin{aligned}\text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Kebutuhan material untuk cetakan silinder

a. Air	= 225	$\times 0,0053 \times 3 = 3,58 \text{ kg}$
b. Semen	= 523,26	$\times 0,0053 \times 3 = 8,32 \text{ kg}$
c. Pasir	= 600,04	$\times 0,0053 \times 3 = 9,54 \text{ kg}$
d. Kerikil	= 1021,7	$\times 0,0053 \times 3 = 16,25 \text{ kg}$

Lampiran B



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

Cetakan Balok

Lebar = 0,15 m
Tinggi = 0,25 m
Panjang = 1 m
Jumlah = 9 buah

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 1 \times 0,15 \times 0,25 \\ &= 0,0375 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Kebutuhan material untuk cetakan balok

- a. Air = 225 × 0,0375 × 9 = 75,94 kg
- b. Semen = 523,26 × 0,0375 × 9 = 176,6 kg
- c. Pasir = 600,04 × 0,0375 × 9 = 202,64 kg
- d. Kerikil = 1021,7 × 0,0375 × 9 = 344,8 kg

Kebutuhan Material total

- a. Air = 79,52 kg × 1,2 = 95,42 kg
- b. Semen = 184,92 kg × 1,2 = 221,9 kg
- c. Pasir = 212,18 kg × 1,2 = 254,62 kg
- d. Kerikil = 361,05 kg × 1,2 = 433,26 kg

LAMPIRAN C

Data Hasil Pengujian Silinder Beton

Lampiran C1

PENGUJIAN KUAT DESAK

Tanggal Pembuatan : 21/04/2007
 Tanggal Pengujian : 23/05/2007
 Umur : 28 hari

Jenis Benda uji	S 1	S 2
Data Benda Uji		
Tinggi 1	30,250	30,250
Tinggi 2	30,170	30,350
Tinggi Rata-rata	30,210	30,300
Diameter 1	15,073	15,020
Diameter 2	15,027	14,980
Diameter 3	15,050	15,000
Diameter Rata-rata	15,050	15,000
Berat (kg)	12,700	12,800
Luas (cm ²)	177,96625	176,7857143
Volume (cm ³)	5376,360	5356,607
Berat Volume (kg/m ³)	2362,193	2389,572
BEBAN (KN)	457,200	477,710
BEBAN Konversi (KN)	450,050	470,040
KUAT DESAK (MPa)	25,289	26,588
Kuat Desak rata2 (fcr)	25,938 MPa	

Kombinasi	σ maks	0.4 σ max	ϵ (10 ⁻⁴)	Modulus Elastisitas (MPa)	
	(MPa)	(MPa)		Uji	Teoritis (4700* $\sqrt{f_c}$)
Silinder 1	25,938	10,3753248	2,285574889	45394,81441	23936,94449

Persen

Lampiran C2

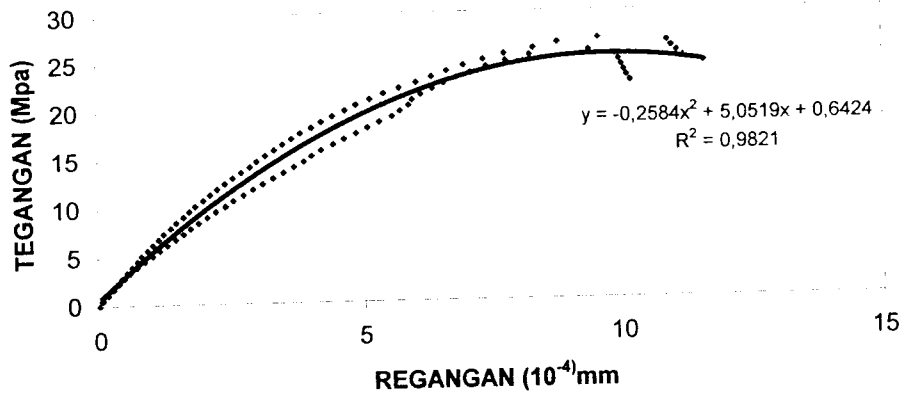
TABEL PENGUJIAN DESAK SILINDER

Beban (G)		Eksensiometer	$\sigma = P/A$	ΔL	$\epsilon = \Delta L/L_0$	Koreksi
KN	kg	$\Delta L (10^{-3} \text{ mm})$	Mpa	(10^{-3})	(10^{-4})	-0,1263
0	0	0	0	0	0	0
10	1000	4	0,562	2,000	0,066	0,1925
20	2000	10	1,124	5,000	0,166	0,2918
30	3000	16	1,686	8,000	0,265	0,3911
40	4000	22	2,248	11,000	0,364	0,4904
50	5000	28	2,810	14,000	0,463	0,5897
60	6000	35	3,371	17,500	0,579	0,7056
70	7000	43	3,933	21,500	0,712	0,8380
80	8000	52	4,495	26,000	0,861	0,9870
90	9000	61	5,057	30,500	1,010	1,1359
100	10000	69	5,619	34,500	1,142	1,2683
110	11000	78	6,181	39,000	1,291	1,4173
120	12000	88	6,743	44,000	1,456	1,5828
130	13000	97	7,305	48,500	1,605	1,7317
140	14000	105	7,867	52,500	1,738	1,8642
150	15000	114	8,429	57,000	1,887	2,0131
160	16000	124	8,990	62,000	2,052	2,1786
170	17000	134	9,552	67,000	2,218	2,3441
180	18000	145	10,114	72,500	2,400	2,5262
190	19000	154	10,676	77,000	2,549	2,6751
200	20000	166	11,238	83,000	2,747	2,8738
210	21000	177	11,800	88,500	2,929	3,0558
220	22000	188	12,362	94,000	3,112	3,2379
230	23000	200	12,924	100,000	3,310	3,4365
240	24000	212	13,486	106,000	3,509	3,6351
250	25000	224	14,048	112,000	3,707	3,8337
260	26000	235	14,610	117,500	3,889	4,0158
270	27000	244	15,171	122,000	4,038	4,1647
280	28000	255	15,733	127,500	4,220	4,3468
290	29000	269	16,295	134,500	4,452	4,5785
300	30000	281	16,857	140,500	4,651	4,7771
310	31000	295	17,419	147,500	4,882	5,0088
320	32000	308	17,981	154,000	5,098	5,2240
330	33000	322	18,543	161,000	5,329	5,4557
340	34000	337	19,105	168,500	5,578	5,7039
350	35000	346	19,667	173,000	5,727	5,8529
360	36000	356	20,229	178,000	5,892	6,0184
370	37000	360	20,790	180,000	5,958	6,0846
380	38000	370	21,352	185,000	6,124	6,2501
390	39000	384	21,914	192,000	6,356	6,4818
400	40000	397	22,476	198,500	6,571	6,6970
410	41000	412	23,038	206,000	6,819	6,9453
420	42000	429	23,600	214,500	7,100	7,2266
430	43000	447	24,162	223,500	7,398	7,5245
440	44000	470	24,724	235,000	7,779	7,9052
450	45000	498	25,286	249,000	8,242	8,3686
457,2	45720	567	25,690	283,500	9,384	9,5106
450	45000	598	25,286	299,000	9,897	10,0237
440	44000	602	24,724	301,000	9,964	10,0899
430	43000	605	24,162	302,500	10,013	10,1396
420	42000	608	23,600	304,000	10,063	10,1892

410	41000	611	23,038	305,500	10,113	10,2389
400	40000	615	22,476	307,500	10,179	10,3051
0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,1263
10	1000	3	0,566	1,500	0,050	0,1758
20	2000	9	1,131	4,500	0,149	0,2748
30	3000	14	1,697	7,000	0,231	0,3573
40	4000	20	2,263	10,000	0,330	0,4563
50	5000	25	2,828	12,500	0,413	0,5389
60	6000	31	3,394	15,500	0,512	0,6379
70	7000	37	3,960	18,500	0,611	0,7369
80	8000	43	4,525	21,500	0,710	0,8359
90	9000	48	5,091	24,000	0,792	0,9184
100	10000	55	5,657	27,500	0,908	1,0339
110	11000	61	6,222	30,500	1,007	1,1329
120	12000	68	6,788	34,000	1,122	1,2484
130	13000	74	7,354	37,000	1,221	1,3474
140	14000	82	7,919	41,000	1,353	1,4795
150	15000	89	8,485	44,500	1,469	1,5950
160	16000	97	9,051	48,500	1,601	1,7270
170	17000	104	9,616	52,000	1,716	1,8425
180	18000	111	10,182	55,500	1,832	1,9580
190	19000	120	10,747	60,000	1,980	2,1065
200	20000	128	11,313	64,000	2,112	2,2385
210	21000	136	11,879	68,000	2,244	2,3705
220	22000	145	12,444	72,500	2,393	2,5191
230	23000	154	13,010	77,000	2,541	2,6676
240	24000	164	13,576	82,000	2,706	2,8326
250	25000	174	14,141	87,000	2,871	2,9976
260	26000	182	14,707	91,000	3,003	3,1296
270	27000	192	15,273	96,000	3,168	3,2946
280	28000	202	15,838	101,000	3,333	3,4596
290	29000	212	16,404	106,000	3,498	3,6247
300	30000	222	16,970	111,000	3,663	3,7897
310	31000	232	17,535	116,000	3,828	3,9547
320	32000	245	18,101	122,500	4,043	4,1692
330	33000	256	18,667	128,000	4,224	4,3507
340	34000	269	19,232	134,500	4,439	4,5653
350	35000	283	19,798	141,500	4,670	4,7963
360	36000	296	20,364	148,000	4,884	5,0108
370	37000	312	20,929	156,000	5,149	5,2748
380	38000	328	21,495	164,000	5,413	5,5389
390	39000	346	22,061	173,000	5,710	5,8359
400	40000	366	22,626	183,000	6,040	6,1659
410	41000	384	23,192	192,000	6,337	6,4630
420	42000	402	23,758	201,000	6,634	6,7600
430	43000	422	24,323	211,000	6,964	7,0900
440	44000	445	24,889	222,500	7,343	7,4696
450	45000	470	25,455	235,000	7,756	7,8821
460	46000	504	26,020	252,000	8,317	8,4431
470	47000	532	26,586	266,000	8,779	8,9052
477,71	47771	580	27,022	290,000	9,571	9,6973
470	47000	660	26,586	330,000	10,891	11,0174
460	46000	665	26,020	332,500	10,974	11,0999
450	45000	671	25,455	335,500	11,073	11,1989
440	44000	678	24,889	339,000	11,188	11,3144
430	43000	702	24,323	351,000	11,584	11,7105

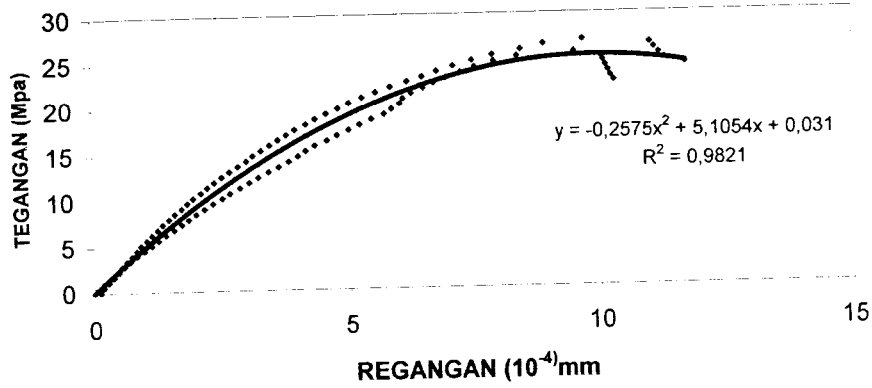
Lampiran C3

GRAFIK 1 KUAT DESAK



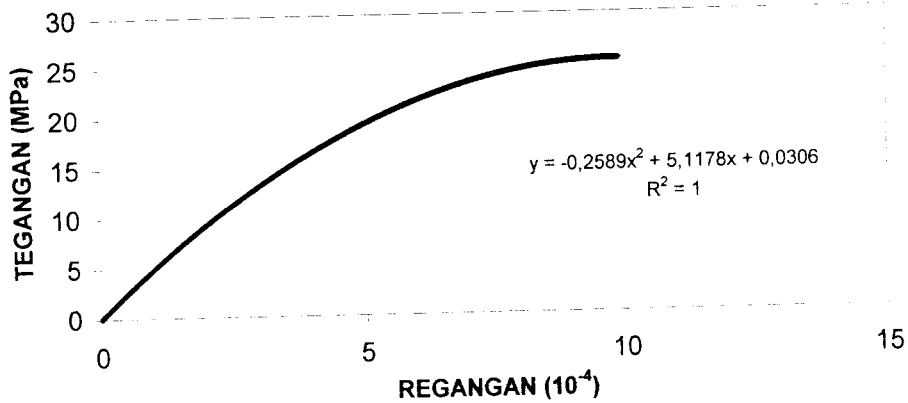
• Grafik Tegangan-Regangan — Poly. (Grafik Tegangan-Regangan)

GRAFIK 2 KUAT DESAK



• Grafik Tegangan-Regangan — Poly. (Grafik Tegangan-Regangan)

GRAFIK 3 KUAT DESAK



• Grafik Tegangan-Regangan — Poly. (Grafik Tegangan-Regangan)

LAMPIRAN D

Perhitungan Kapasitas Tampang



PERHITUNGAN KAPASITAS TAMPANG

$$\begin{aligned} b &= 150 \text{ mm} \\ h &= 250 \text{ mm} \\ d' &= 20 + 8,5 + (0,5 \times 6,5) = 31,75 \text{ mm} \\ d &= 250 - (20 + 8,5 + (11,5/2)) = 215,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan atas (desak) dipakai diameter (\emptyset) = 6,5 mm, berjumlah $n = 2$ buah dengan $f_{y1} = 419,56 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_s' &= n \times A_{1 \text{ tul}} & A_{1 \text{ tul}} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ & & &= 0,25 \times \pi \times 6,5^2 \\ & & &= 33,183 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' &= 2 \times 33,183 \\ &= 66,366 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan bawah (tarik) dipakai diameter (\emptyset) = 11,5 mm, berjumlah $n = 2$ buah dengan $f_{y2} = 348,55 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_s &= n \times A_{1 \text{ tul}} & A_{1 \text{ tul}} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ & & &= 0,25 \times \pi \times 11,5^2 \\ & & &= 103,869 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 2 \times 103,869 \\ &= 207,738 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$f'_c = 25,938 \text{ MPa}$, sehingga bila $f'_c < 30 \text{ MPa}$, maka $\beta = 0,85$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \beta \times \left[\frac{\epsilon_{cu} \cdot E_s}{\epsilon_{cu} \cdot E_s + f_y} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25,938}{348,55} \times 0,85 \times \left[\frac{600}{600 + 348,55} \right] \end{aligned}$$

Lampiran D



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

$$= 0,034$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,034$$

$$= 0,0255$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{348,55} = 0,00402$$

$$\rho = \frac{(A_s - A_s')}{(b \cdot d)}$$

$$= \frac{(207,738 - 66,366)}{(150 \times 215,75)} = 0,00437$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$$

$$0,00402 < 0,00437 < 0,0255 \approx \text{OKE}$$

Dengan menganggap tulangan tekan telah leleh dan tulangan tarik belum leleh

$$T = C_c + C_s$$

$$A_s \times f_{y2} = (0,85 \times f_c' \times \beta \times c \times b) + (A_s' \times \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times 600)$$

$$A_s \times f_{y2} \times c = (0,85 \times f_c' \times \beta \times b) c^2 + (A_s' \times 600 \times (c - d'))$$

$$A_s \times f_{y2} \times c = (0,85 \times f_c' \times \beta \times b) c^2 + (A_s' \times 600 \times c) - (A_s' \times 600 \times d')$$

$$(0,85 \times f_c' \times \beta \times b) c^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_{y2}) c - (600 \cdot A_s' \cdot d') = 0$$

$$(0,85 \cdot 25,938 \cdot 0,85 \cdot 150) c^2 + (600 \cdot 66,366 - 207,738 \cdot 348,55) c - 600 \cdot 66,366 \cdot 31,75 = 0$$

$$2811,03075 c^2 - 32587,4799 c - 1264272,3 = 0$$

$$c = 27,78 \text{ mm}$$

$$a = \beta \times c$$

$$= 0,85 \times 27,78$$

$$= 23,613 \text{ mm}$$

Lampiran D



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

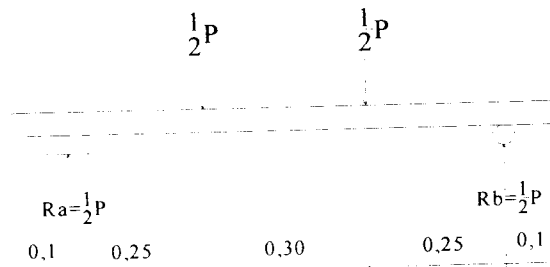
Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

Dengan nilai c tersebut, nilai – nilai yang lain yang belum diketahui dapat dicari :

$$\begin{aligned}
 f_s' &= \frac{c - d'}{c} \cdot 600 \\
 &= \frac{27,78 - 31,75}{27,78} \cdot 600 = -89,75 \text{ MPa} < 348,55 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian anggapan yang digunakan benar.

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \times f_c' \times a \times b (d - a/2) + A_s' \cdot f_{y1} \cdot (d - d') \\
 &= 0,85 \cdot 25,938 \cdot 23,613 \cdot 150 \cdot (215,75 - 23,613/2) + 66,366 \cdot 416,59 (215,75 - 31,75) \\
 &= 21013160,27 \text{ Nmm} \\
 &= 21,013 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



Berdasarkan gambar diketahui :

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot P \cdot L + \frac{3}{40} \cdot Q \cdot L^2$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot P \cdot 1 + \frac{3}{40} \cdot 0,9 \cdot 1^2$$

$$P = \left(M_{\max} - \frac{3}{40} \cdot 0,9 \cdot 1^2 \right) \cdot 8$$

$$= \left(21,013 - \frac{3}{40} \cdot 0,9 \cdot 1^2 \right) \cdot 8$$

$$= 167,565 \text{ kN} = 16,756 \text{ ton}$$

Lampiran D



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

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

Pemakaian sengkang dengan menggunakan tulangan diameter (\emptyset) = 8,3mm

dengan $f_{y3} = 321,47$ MPa

$$\begin{aligned}A_{l\ tul} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 8,3^2 \\ &= 54,106 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$V_u = \frac{1}{2} P = 83,783 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25,938} \times 150 \times 215,75 \times 10^{-3} \\ &= 27,47 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &\leq \frac{A_v \times f_y \times d}{\left[\frac{V_u}{\phi} - V_c \right]} \\ &\leq \frac{2 \times 54,106 \times 321,47 \times 215,75}{[83,783 - 27,47] \times 10^3} \\ &\leq 133,278 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S \leq d / 2 = 107,875 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang **P 8,3 -100**

LAMPIRAN E

*Data dan Grafik Hubungan Beban-Lendutan
Hasil Pengujian dan Teoritis*

Lampiran E1

Panjang = 100,5

Lebar = 15

Tinggi = 25

Tabel Hubungan Beban - Lendutan Hasil Pengujian Balok Normal 1

No	Beban (kg)	Beban (kN)	Lendutan 10^{-2} (mm)	Lendutan (mm)	Momen (kNm)	Kuat Lentur (kN/m^2)
1	0	0	0	0	0	0
2	500	5	15	0,15	0,763	868,518
3	1000	10	25	0,25	1,460	1661,043
4	1500	15	35	0,35	2,156	2453,569
5	2000	20	45	0,45	2,853	3246,094
6	2500	25	60	0,6	3,550	4038,975
7	3000	30	70	0,7	4,246	4831,145
8	3500	35	82	0,82	4,943	5623,670
9	4000	40	91	0,91	5,639	6416,196
10	4500	45	107	1,07	6,259	7120,729
11	5000	50	116	1,16	6,878	7825,248
12	5500	55	129	1,29	7,497	8529,782
13	6000	60	139	1,39	8,116	9234,301
14	6500	65	150	1,5	8,735	9938,834
15	7000	70	164	1,64	9,355	10643,354
16	7500	75	178	1,78	9,974	11347,887
17	8000	80	192	1,92	10,593	12052,406
18	8500	85	204	2,04	11,188	12729,377
19	9000	90	227	2,27	11,813	13440,481
20	9500	95	240	2,4	12,378	14083,319
21	10000	100	252	2,52	12,973	14760,290
22	10500	105	272	2,72	13,568	15437,261
23	11000	110	282	2,82	14,163	16114,232
24	11500	115	306	3,06	14,758	16791,203
25	11800	118	336	3,36	15,115	17197,386
26	11800	118	354	3,54	15,115	17197,386
27	11800	118	362	3,62	15,115	17197,386
28	11800	118	370	3,7	15,115	17197,386
29	12000	120	392	3,92	15,353	17468,174
30	12500	125	417	4,17	15,982	18183,900
31	13000	130	438	4,38	16,611	18899,627
32	13500	135	505	5,05	17,240	19615,353
33	13900	139	604	6,04	17,743	20187,934
34	14000	140	678	6,78	17,869	20331,079
35	14500	145	688	6,88	18,498	21046,805
36	15500	155	695	6,95	19,756	22478,257
37	16400	164	1200	12	20,889	23767,276

Beban retak awal
 Beban leleh
 Beban ultimit

6500 Kg
 11800 Kg
 16400 Kg

Lampiran E2

Panjang = 100,3

Lebar = 15

Tinggi = 24,8

Tabel Hubungan Beban - Lendutan Hasil Pengujian Balok Normal 2

No	Beban (kg)	Beban (kN)	Lendutan 10^{-2} (mm)	Lendutan (mm)	Momen (kNm)	Kuat Lentur (kN/m ²)
1	0	0	0	0	0	0
2	250	2,50	43	0,43	0,438	505,864
3	500	5,00	70	0,7	0,803	927,521
4	750	7,50	84	0,84	1,167	1348,311
5	1000	10,00	100	1	1,532	1769,534
6	1250	12,50	125	1,25	1,897	2190,758
7	1500	15,00	138	1,38	2,261	2611,981
8	1750	17,50	150	1,5	2,626	3033,205
9	2000	20,00	165	1,65	2,991	3454,428
10	2250	22,50	185	1,85	3,298	3808,704
11	2500	25,00	195	1,95	3,604	4162,965
12	2750	27,50	210	2,1	3,911	4517,240
13	3000	30,00	220	2,2	4,218	4871,501
14	3250	32,50	235	2,35	4,524	5225,776
15	3500	35,00	246	2,46	4,831	5580,037
16	3750	37,50	256	2,56	5,138	5934,312
17	4000	40,00	267	2,67	5,445	6288,573
18	4250	42,50	275	2,75	5,725	6612,702
19	4500	45,00	284	2,84	6,036	6971,482
20	4750	47,50	294	2,94	6,346	7330,262
21	5000	50,00	300	3	6,657	7689,042
22	5250	52,50	310	3,1	6,968	8047,822
23	5500	55,00	320	3,2	7,278	8406,602
24	5750	57,50	330	3,3	7,589	8765,382
25	6000	60,00	340	3,4	7,900	9124,162
26	6250	62,50	350	3,5	8,227	9502,072
27	6500	65,00	364	3,64	8,554	9879,982
28	6750	67,50	371	3,71	8,881	10257,892
29	7000	70,00	383	3,83	9,208	10635,802
30	7250	72,50	395	3,95	9,535	11013,712
31	7500	75,00	406	4,06	9,863	11391,622
32	7750	77,50	420	4,2	10,190	11769,532
33	8000	80,00	429	4,29	10,517	12147,442
34	8250	82,50	435	4,35	10,874	12559,613
35	8500	85,00	446	4,46	11,188	12922,103
36	8750	87,50	452	4,52	11,502	13284,608
37	9000	90,00	461	4,61	11,815	13647,098
38	9250	92,50	470	4,7	12,129	14009,603
39	9500	95,00	478	4,78	12,443	14372,094
40	9750	97,50	485	4,85	12,757	14734,598
41	10000	100,00	495	4,95	13,071	15097,089
42	10250	102,50	502	5,02	13,349	15418,691
43	10500	105,00	509	5,09	13,628	15740,294
44	10750	107,50	515	5,15	13,906	16061,896
45	11000	110,00	526	5,26	14,185	16383,499
46	11250	112,50	539	5,39	14,463	16705,101
47	11500	115,00	550	5,5	14,741	17026,704

48	11750	117,50	560	5,6	15,020	17348,306
49	12000	120,00	570	5,7	15,298	17669,909
50	12150	121,50	578	5,78	15,548	17958,637
51	12250	122,50	583	5,83	15,597	18014,439
52	12500	125,00	588	5,88	15,909	18375,038
53	12750	127,50	598	5,98	16,221	18735,651
54	13000	130,00	613	6,13	16,533	19096,265
55	13050	130,50	647	6,47	16,596	19168,382
56	13050	130,50	659	6,59	16,596	19168,382
57	13250	132,50	668	6,68	16,845	19456,878
58	13350	133,50	710	7,1	16,970	19601,112
59	13500	135,00	720	7,2	17,158	19817,477
60	13750	137,50	746	7,46	17,470	20178,091
61	14000	140,00	765	7,65	17,782	20538,704
62	14075	140,75	835	8,35	17,873	20643,335
63	14250	142,50	925	9,25	18,084	20887,450
64	14250	142,50	1006	10,06	18,009	20800,607
65	14500	145,00	1068	10,68	18,084	20887,450
66	15850	158,50	1150	11,5	18,386	21236,196
67	17900	179,00	2250	22,5	20,203	23335,354
68	18400	184,00	2350	23,5	22,785	26317,775

Beban retak awal
Beban leleh
Beban ultimit

6500 Kg
13050 Kg
18400 Kg

Lampiran E3

Panjang 1 = 100,07
 Panjang 2 = 100,04

Lebar 1 = 15,43
 Lebar 2 = 15,53
 Lebar 3 = 15,55

Tinggi 1 = 25,40
 Tinggi 2 = 25,50
 Tinggi 3 = 25,20

Panjang = 100,055

Lebar = 15,503

Tinggi = 25,367

Tabel Hubungan Beban - Lendutan Hasil Pengujian Balok Pori 10% - 1

No	Beban (kg)	Beban (kN)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan (mm)	Momen (kNm)	Kuat Lentur (kN/m ²)
1	0	0	0	0	0	0
2	500	5	60	0,60	0,765	819,080
3	1000	10	90	0,90	1,461	1565,214
4	1500	15	115	1,15	2,158	2311,347
5	2000	20	139	1,39	2,854	3057,481
6	2500	25	165	1,65	3,551	3803,950
7	3000	30	184	1,84	4,247	4549,748
8	3500	35	200	2,00	4,944	5295,882
9	4000	40	218	2,18	5,641	6042,016
10	4500	45	240	2,40	6,260	6705,308
11	5000	50	260	2,60	6,879	7368,587
12	5500	55	275	2,75	7,498	8031,880
13	6000	60	292	2,92	8,117	8695,159
14	6500	65	310	3,10	8,737	9358,451
15	7000	70	333	3,33	9,356	10021,730
16	7500	75	350	3,50	9,975	10685,023
17	8000	80	370	3,70	10,594	11348,302
18	8500	85	385	3,85	11,189	11985,645
19	9000	90	405	4,05	11,814	12655,123
20	9500	95	426	4,26	12,379	13260,332
21	10000	100	439	4,39	12,974	13897,675
22	10500	105	478	4,78	13,569	14535,019
23	11000	110	492	4,92	14,164	15172,362
24	11500	115	510	5,10	14,759	15809,706
25	12000	120	530	5,30	15,354	16447,049
26	12500	125	550	5,50	15,983	17120,879
27	13000	130	578	5,78	16,612	17794,709
28	13050	130,5	620	6,20	16,675	17862,099
29	13050	130,5	655	6,55	16,675	17862,099
30	13250	132,5	728	7,28	16,927	18131,631
31	13500	135	793	7,93	17,242	18468,539
32	14000	140	865	8,65	17,871	19142,369
33	14450	144,5	965	9,65	18,437	19748,823
34	14500	145	992	9,92	18,500	19816,199
35	14700	147	1056	10,56	18,751	20084,995
36	15350	153,5	1195	11,95	19,569	20961,717
37	15350	153,5	1255	12,55	19,569	20961,717
38	15250	152,5	1328	13,28	19,443	20826,951
39	15000	150	1490	14,90	19,129	20490,029
40	14800	148	1555	15,55	18,877	20220,497
41	14000	140	1585	15,85	17,871	19142,369
42	13500	135	1615	16,15	17,242	18468,539
43	13000	130	1695	16,95	16,612	17794,709
44	12500	125	1710	17,10	15,983	17120,879
45	12000	120	1803	18,03	15,354	16447,049

Beban retak awal
 Beban leleh
 Beban ultimit

6500 Kg
 13050 Kg
 15350 Kg

Lampiran E4

Panjang 1 = 100,05
 Panjang 2 = 100,00

Lebar 1 = 15,89
 Lebar 2 = 15,38
 Lebar 3 = 15,16

Tinggi 1 = 25,30
 Tinggi 2 = 25,30
 Tinggi 3 = 25,40

Panjang = 100,025

Lebar = 15,477

Tinggi = 25,333

Tabel Hubungan Beban - Lendutan Hasil Pengujian Balok Pori 10% - 2

No	Beban (kg)	Beban (kN)	Lendutan 10^{-2} (mm)	Lendutan (mm)	Momen (kNm)	Kuat Lentur (kN/m ²)
1	0	0	0	0	0	0
2	500	5	130	1,30	0,763	820,887
3	1000	10	170	1,70	1,460	1570,154
4	1500	15	198	1,98	2,156	2319,420
5	2000	20	230	2,30	2,853	3068,686
6	2500	25	275	2,75	3,550	3818,288
7	3000	30	300	3,00	4,246	4567,218
8	3500	35	320	3,20	4,943	5316,485
9	4000	40	355	3,55	5,639	6065,751
10	4500	45	392	3,92	6,258	6731,828
11	5000	50	415	4,15	6,878	7397,892
12	5500	55	438	4,38	7,497	8063,969
13	6000	60	458	4,58	8,116	8730,033
14	6500	65	480	4,80	8,735	9396,110
15	7000	70	502	5,02	9,354	10062,173
16	7500	75	525	5,25	9,974	10728,251
17	8000	80	550	5,50	10,593	11394,314
18	8500	85	568	5,68	11,188	12034,334
19	9000	90	591	5,91	11,813	12706,623
20	9500	95	615	6,15	12,378	13314,372
21	10000	100	636	6,36	12,973	13954,391
22	10500	105	662	6,62	13,568	14594,410
23	11000	110	690	6,90	14,163	15234,430
24	11500	115	711	7,11	14,758	15874,449
25	12000	120	748	7,48	15,353	16514,468
26	12100	121	763	7,63	15,479	16649,800
27	12250	122,5	773	7,73	15,667	16852,804
28	12300	123	791	7,91	15,730	16920,463
29	12300	123	815	8,15	15,730	16920,463
30	12325	123,25	830	8,30	15,759	16951,564
31	12400	124	845	8,45	15,856	17055,795
32	12500	125	856	8,56	15,982	17191,127
33	12700	127	879	8,79	16,234	17461,791
34	12800	128	901	9,01	16,359	17597,122
35	12900	129	940	9,40	16,485	17732,454
36	12900	129	1030	10,30	16,485	17732,454
37	13000	130	1045	10,45	16,611	17867,786
38	13150	131,5	1085	10,85	16,800	18070,790
39	13200	132	1148	11,48	16,863	18138,450
40	13450	134,5	1205	12,05	17,177	18476,786
41	13500	135	1213	12,13	17,240	18544,445
42	13650	136,5	1255	12,55	17,429	18747,449
43	13800	138	1310	13,10	17,617	18950,440

44	13850	138,5	1350	13,50	17,680	19018,113
45	14000	140	1399	13,99	17,869	19221,104
46	14100	141	1455	14,55	17,995	19356,436
47	14250	142,5	1520	15,20	18,184	19559,440
48	14500	145	1520	15,20	18,498	19897,763
49	14750	147,5	1605	16,05	18,813	20236,099
50	15000	150	1680	16,80	19,127	20574,422
51	15200	152	1740	17,40	19,379	20845,086
52	15350	153,5	1850	18,50	19,568	21048,090
53	15500	155	1999	19,99	19,756	21251,081
54	15950	159,5	2105	21,05	20,322	21860,081
55	16000	160	2210	22,10	20,385	21927,740
56	16100	161	2206	22,06	20,511	22062,399
57	16375	163,75	2396	23,96	20,855	22432,710
58	16370	163,7	2736	27,36	20,849	22426,592

Beban retak awal **8000 Kg**
Beban leleh **12300 Kg**
Beban ultimit **16375 Kg**

Lampiran E5

Panjang 1 = 100,02
 Panjang 2 = 100,01

Lebar 1 = 15,50
 Lebar 2 = 15,51
 Lebar 3 = 15,29

Tinggi 1 = 25,30
 Tinggi 2 = 25,40
 Tinggi 3 = 25,50

Panjang = 100,015

Lebar = 15,433

Tinggi = 25,400

Tabel Hubungan Beban - Lendutan Hasil Pengujian Balok Pori 10% - 3

No	Beban (kg)	Beban (kN)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan (mm)	Momen (kNm)	Kuat Lentur (kN/m ²)
1	0	0	0	0	0	0
2	500	5	205	2,05	0,764	820,477
3	1000	10	250	2,50	1,461	1568,149
4	1500	15	275	2,75	2,158	2315,822
5	2000	20	300	3,00	2,854	3063,494
6	2500	25	335	3,35	3,551	3811,502
7	3000	30	358	3,58	4,247	4558,840
8	3500	35	385	3,85	4,944	5306,512
9	4000	40	405	4,05	5,640	6054,185
10	4500	45	428	4,28	6,260	6718,845
11	5000	50	443	4,43	6,879	7383,492
12	5500	55	458	4,58	7,498	8048,153
13	6000	60	477	4,77	8,117	8712,800
14	6500	65	495	4,95	8,736	9377,460
15	7000	70	512	5,12	9,356	10042,107
16	7500	75	534	5,34	9,975	10706,768
17	8000	80	555	5,55	10,594	11371,415
18	8500	85	569	5,69	11,189	12010,073
19	9000	90	590	5,90	11,814	12680,932
20	9500	95	610	6,10	12,379	13287,389
21	10000	100	628	6,28	12,974	13926,046
22	10500	105	648	6,48	13,569	14564,704
23	11000	110	673	6,73	14,164	15203,362
24	11500	115	692	6,92	14,759	15842,020
25	12000	120	715	7,15	15,354	16480,678
26	12500	125	740	7,40	15,983	17155,898
27	13000	130	760	7,60	16,612	17831,118
28	13450	134,5	803	8,03	17,178	18438,822
29	13450	134,5	816	8,16	17,178	18438,822
30	13500	135	842	8,42	17,241	18506,338
31	13650	136,5	869	8,69	17,430	18708,910
32	13700	137	886	8,86	17,493	18776,426
33	13700	137	915	9,15	17,493	18776,426
34	13700	137	955	9,55	17,493	18776,426
35	13900	139	980	9,80	17,745	19046,513
36	13900	139	998	9,98	17,745	19046,513
37	14000	140	1018	10,18	17,870	19181,557
38	14000	140	1045	10,45	17,870	19181,557
39	14400	144	1122	11,22	18,374	19721,733
40	14450	144,5	1156	11,56	18,436	19789,262
41	14500	145	1184	11,84	18,499	19856,777
42	14800	148	1218	12,18	18,877	20261,909
43	14950	149,5	1350	13,50	19,066	20464,482

44	15000	150	1385	13,85	19,128	20531,997
45	15350	153,5	1430	14,30	19,569	21004,657
46	15500	155	1457	14,57	19,758	21207,217
47	15600	156	1495	14,95	19,883	21342,261
48	15850	158,5	1548	15,48	20,198	21679,877
49	16000	160	1592	15,92	20,387	21882,436
50	16100	161	1632	16,32	20,512	22016,810
51	16150	161,5	1696	16,96	20,576	22085,251
52	16500	165	1835	18,35	21,016	22558,502
53	16600	166	1845	18,45	21,142	22693,707
54	16750	167,5	1985	19,85	21,331	22896,521
55	16750	167,5	2065	20,65	21,331	22896,521
56	16750	167,5	2098	20,98	21,331	22896,521
57	16500	165	2140	21,40	21,016	22558,502
58	16500	165	2185	21,85	21,016	22558,502
59	16400	164	2225	22,25	20,890	22423,283
60	16300	163	2233	22,33	20,764	22288,038
61	16200	162	2240	22,40	20,764	22288,078
62	16100	161	2250	22,50	20,512	22016,810
63	15000	150	2265	22,65	19,128	20531,997
64	14650	146,5	2334	23,34	18,688	20059,484
65	14650	146,5	2395	23,95	18,688	20059,484

Beban retak awal
Beban leleh
Beban ultimit

6500 Kg
13450 Kg
16750 Kg

Lampiran E6

Panjang 1 = 100,03
 Panjang 2 = 100,03

Lebar 1 = 15,09
 Lebar 2 = 15,77
 Lebar 3 = 15,65

Tinggi 1 = 25,40
 Tinggi 2 = 25,04
 Tinggi 3 = 25,42

Panjang = 100,03

Lebar = 15,503

Tinggi = 25,287

Tabel Hubungan Beban - Lendutan Hasil Pengujian Balok Pori 20% - 1

No	Beban (kg)	Beban (kN)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan (mm)	Momen (kNm)	Kuat Lentur (kN/m ²)
1	0	0	0	0	0	0
2	500	5	60	0,60	0,762	820,777
3	1000	10	81	0,81	1,458	1571,347
4	1500	15	96	0,96	2,155	2321,918
5	2000	20	110	1,10	2,851	3072,488
6	2500	25	125	1,25	3,548	3823,395
7	3000	30	140	1,40	4,245	4573,628
8	3500	35	159	1,59	4,941	5324,198
9	4000	40	171	1,71	5,638	6074,768
10	4500	45	195	1,95	6,257	6742,004
11	5000	50	210	2,10	6,876	7409,227
12	5500	55	230	2,30	7,495	8076,464
13	6000	60	245	2,45	8,115	8743,686
14	6500	65	260	2,60	8,734	9410,923
15	7000	70	286	2,86	9,353	10078,146
16	7500	75	303	3,03	9,972	10745,382
17	8000	80	320	3,20	10,591	11412,605
18	8500	85	335	3,35	11,186	12053,738
19	9000	90	360	3,60	11,811	12727,197
20	9500	95	380	3,80	12,376	13336,004
21	10000	100	396	3,96	12,971	13977,137
22	10500	105	420	4,20	13,566	14618,270
23	11000	110	435	4,35	14,161	15259,403
24	11500	115	455	4,55	14,756	15900,536
25	12000	120	475	4,75	15,351	16541,669
26	12500	125	495	4,95	15,980	17219,505
27	12650	126,5	513	5,13	16,169	17422,863
28	12800	128	600	6,00	16,358	17626,207
29	13000	130	620	6,20	16,610	17897,342
30	13350	133,5	700	7,00	17,050	18371,834
31	13500	135	735	7,35	17,239	18575,178
32	14000	140	765	7,65	17,868	19253,015
33	14300	143	855	8,55	18,245	19659,717
34	14500	145	935	9,35	18,497	19930,852
35	14850	148,5	1010	10,10	18,937	20405,344
36	14850	148,5	1095	10,95	18,937	20405,344
37	14700	147	1115	11,15	18,748	20201,986
38	14700	147	1275	12,75	18,748	20201,986
39	14500	145	1345	13,45	18,497	19930,852
40	14000	140	1415	14,15	17,868	19253,015
41	13500	135	1493	14,93	17,239	18575,178

Beban retak awal
 Beban leleh
 Beban ultimit

8000 Kg
 12650 Kg
 14850 Kg

Lampiran E7

Panjang 1 = 100,02
 Panjang 2 = 100,01

Lebar 1 = 15,43
 Lebar 2 = 15,50
 Lebar 3 = 15,55

Tinggi 1 = 25,15
 Tinggi 2 = 25,40
 Tinggi 3 = 25,40

Panjang = 100,015

Lebar = 15,493

Tinggi = 25,317

Tabel Hubungan Beban - Lendutan Hasil Pengujian Balok Pori 20% - 2

No	Beban (kg)	Beban (kN)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan (mm)	Momen (kNm)	Kuat Lentur (kN/m ²)
1	0	0	0	0	0	0
2	500	5	90	0,90	0,761	818,403
3	1000	10	118	1,18	1,457	1567,788
4	1500	15	135	1,35	2,154	2317,173
5	2000	20	155	1,55	2,850	3066,559
6	2500	25	175	1,75	3,547	3816,280
7	3000	30	195	1,95	4,244	4565,329
8	3500	35	215	2,15	4,940	5314,714
9	4000	40	235	2,35	5,637	6064,100
10	4500	45	255	2,55	6,256	6730,282
11	5000	50	274	2,74	6,875	7396,452
12	5500	55	295	2,95	7,494	8062,635
13	6000	60	309	3,09	8,114	8728,804
14	6500	65	326	3,26	8,733	9394,987
15	7000	70	355	3,55	9,352	10061,157
16	7500	75	371	3,71	9,971	10727,340
17	8000	80	401	4,01	10,590	11393,509
18	8500	85	415	4,15	11,185	12033,630
19	9000	90	452	4,52	11,810	12706,026
20	9500	95	473	4,73	12,375	13313,872
21	10000	100	490	4,90	12,970	13953,993
22	10500	105	513	5,13	13,565	14594,114
23	11000	110	540	5,40	14,160	15234,235
24	11500	115	569	5,69	14,755	15874,356
25	11800	118	607	6,07	15,112	16258,428
26	12000	120	612	6,12	15,350	16514,476
27	12500	125	665	6,65	15,979	17191,243
28	13000	130	735	7,35	16,609	17868,009
29	13500	135	799	7,99	17,238	18544,776
30	14050	140,5	870	8,70	17,930	19289,226
31	13000	130	1000	10,00	16,609	17868,009
32	12500	125	1035	10,35	15,979	17191,243
33	12000	120	1080	10,80	15,350	16514,476
34	11500	115	1110	11,10	14,755	15874,356
35	11000	110	1185	11,85	14,160	15234,235
36	10500	105	1255	12,55	13,565	14594,114
37	10000	100	1340	13,40	12,970	13953,993

Beban retak awal
 Beban leleh
 Beban ultimit

6000 Kg
 11500 Kg
 14050 Kg

Lampiran E8

Panjang 1 = 100,01
 Panjang 2 = 100,04

Lebar 1 = 15,20
 Lebar 2 = 15,50
 Lebar 3 = 15,53

Tinggi 1 = 25,30
 Tinggi 2 = 25,20
 Tinggi 3 = 25,30

Panjang = 100,025

Lebar = 15,410

Tinggi = 25,267

Tabel Hubungan Beban - Lendutan Hasil Pengujian Balok Pori 20% - 3

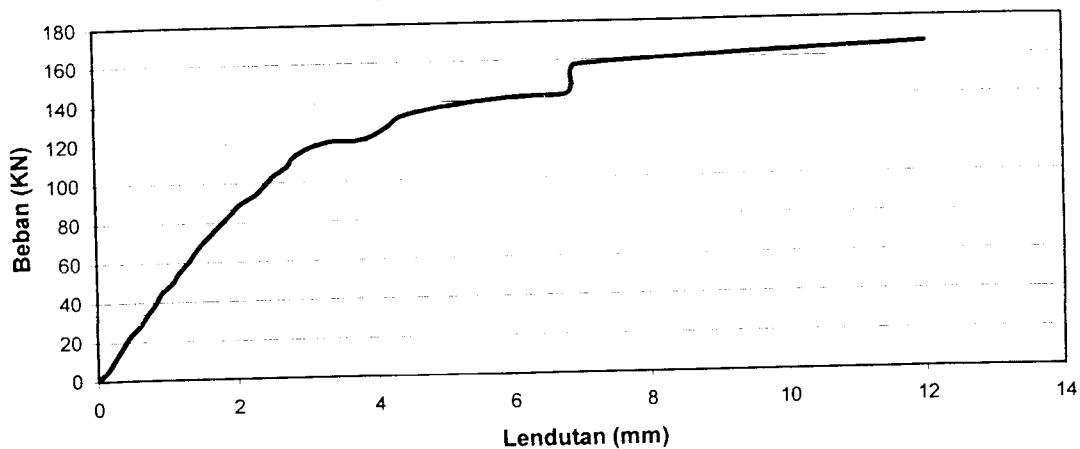
No	Beban (kg)	Beban (kN)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan (mm)	Momen (kNm)	Kuat Lentur (kN/m ²)
1	0	0	0	0	0	0
2	500	5	35	0,35	0,759	824,333
3	1000	10	60	0,60	1,456	1580,571
4	1500	15	75	0,75	2,152	2336,810
5	2000	20	90	0,90	2,849	3093,048
6	2500	25	111	1,11	3,546	3849,625
7	3000	30	130	1,30	4,242	4605,524
8	3500	35	169	1,69	4,939	5361,762
9	4000	40	190	1,90	5,635	6118,000
10	4500	45	220	2,20	6,254	6790,275
11	5000	50	242	2,42	6,874	7462,536
12	5500	55	266	2,66	7,493	8134,811
13	6000	60	285	2,85	8,112	8807,073
14	6500	65	308	3,08	8,731	9479,348
15	7000	70	328	3,28	9,351	10151,609
16	7500	75	350	3,50	9,970	10823,884
17	8000	80	361	3,61	10,589	11496,146
18	8500	85	380	3,80	11,184	12142,120
19	9000	90	403	4,03	11,809	12820,665
20	9500	95	425	4,25	12,374	13434,069
21	10000	100	450	4,50	12,969	14080,044
22	10250	102,5	518	5,18	13,266	14403,031
23	10500	105	625	6,25	13,564	14726,018
24	11000	110	645	6,45	14,159	15371,993
25	11500	115	695	6,95	14,754	16017,968
26	11500	115	750	7,50	14,754	16017,968
27	11700	117	775	7,75	14,992	16276,357
28	12000	120	886	8,86	15,349	16663,942
29	12100	121	1099	10,99	15,475	16800,533
30	12100	121	1180	11,80	15,475	16800,533
31	12050	120,5	1298	12,98	15,412	16732,245
32	12000	120	1311	13,11	15,349	16663,942
33	11600	116	1340	13,40	14,873	16147,163
34	11400	114	1439	14,39	14,635	15888,773
35	11200	112	1541	15,41	14,397	15630,383
36	11000	110	1633	16,33	14,159	15371,993
37	10500	105	1730	17,30	13,564	14726,018
38	10000	100	1755	17,55	12,969	14080,044

Beban retak awal
 Beban leleh
 Beban ultimit

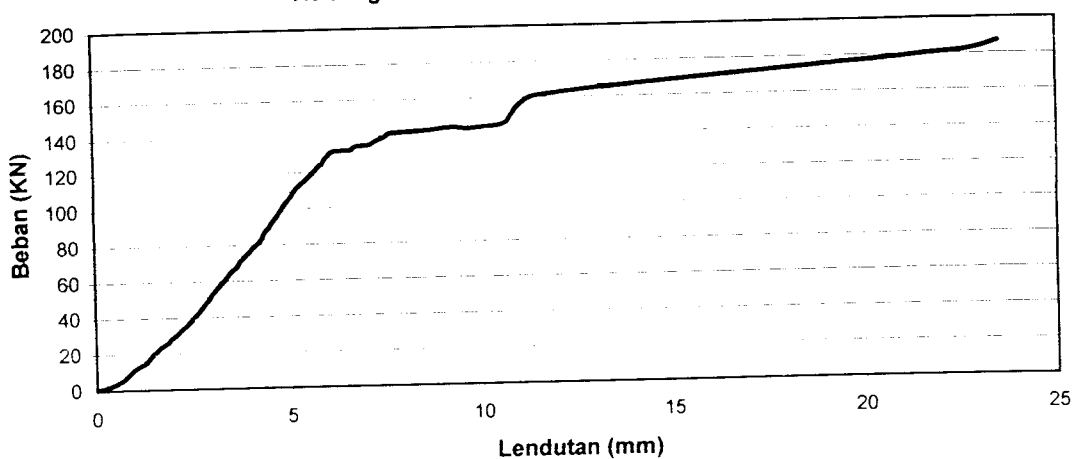
6000 Kg
 10250 Kg
 12100 Kg

Lampiran E9

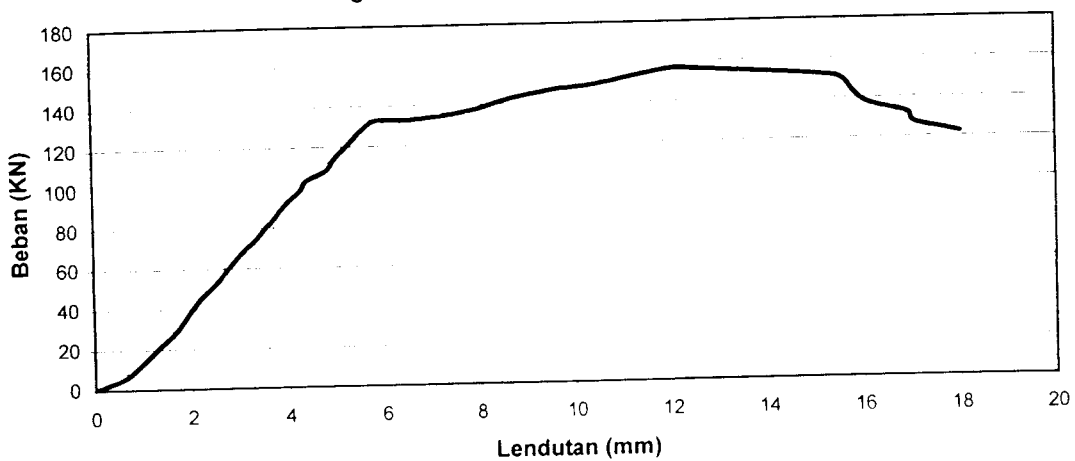
Hubungan Beban-Lendutan Balok Normal 1



Hubungan Beban-Lendutan Balok Normal 2

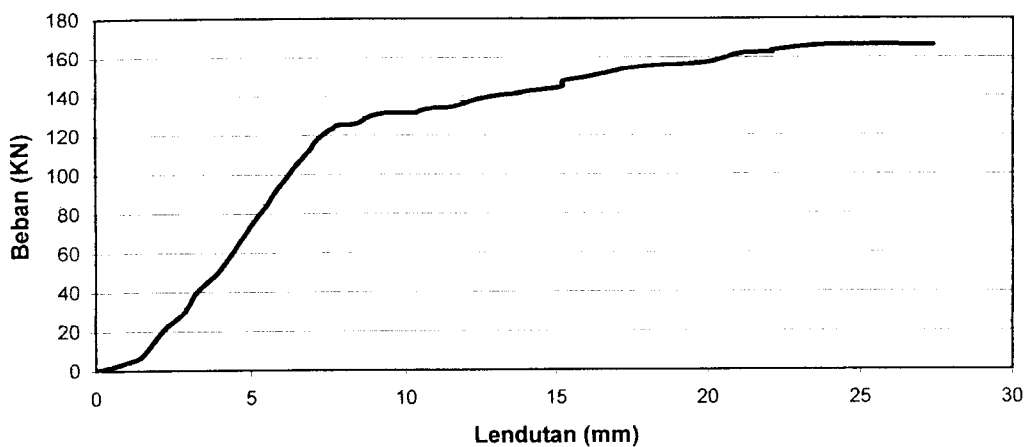


Hubungan Beban-Lendutan Balok Pori 10% - 1

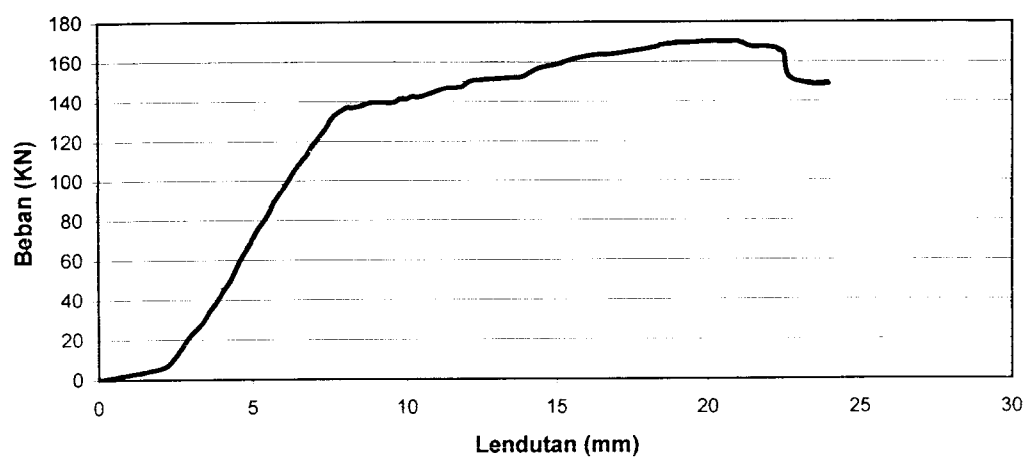


Lampiran E10

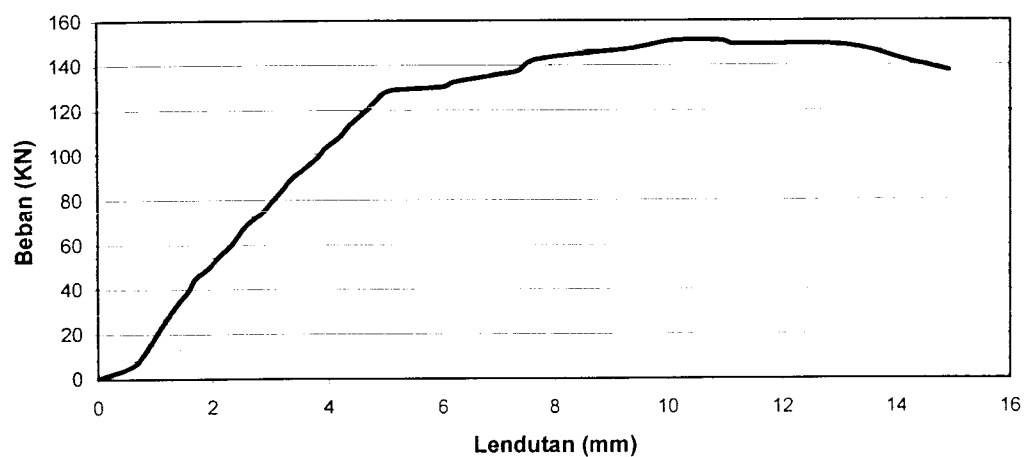
Hubungan Beban-Lendutan Balok Pori 10% - 2



Hubungan Beban-Lendutan Balok Pori 10% - 3

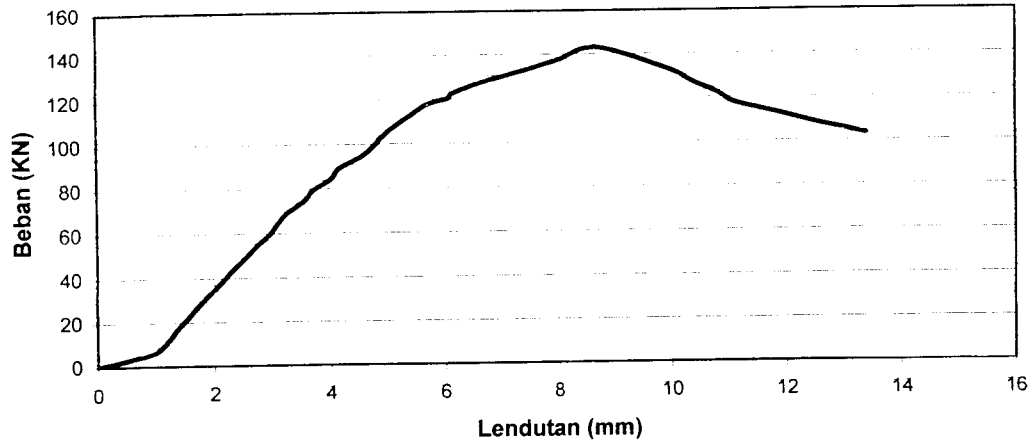


Hubungan Beban-Lendutan Balok Pori 20% - 1

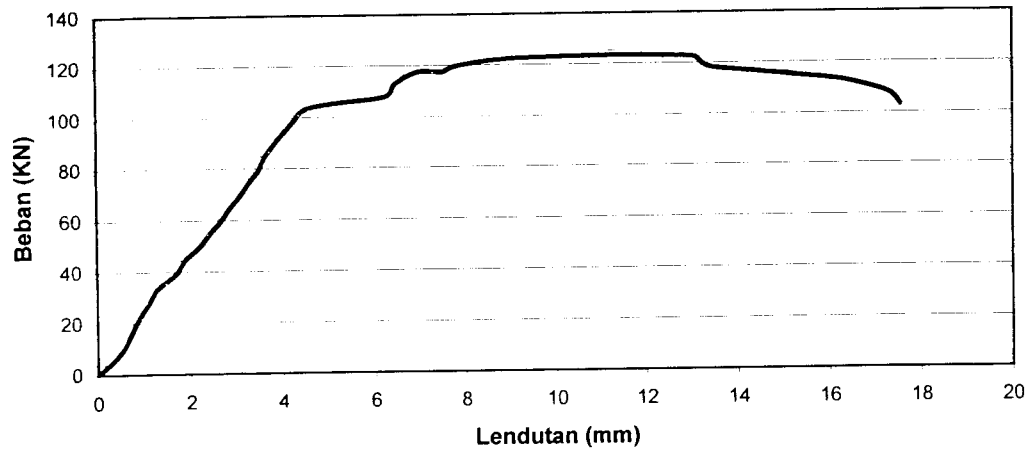


Lampiran E11

Hubungan Beban-Lendutan Balok Pori 20% - 2

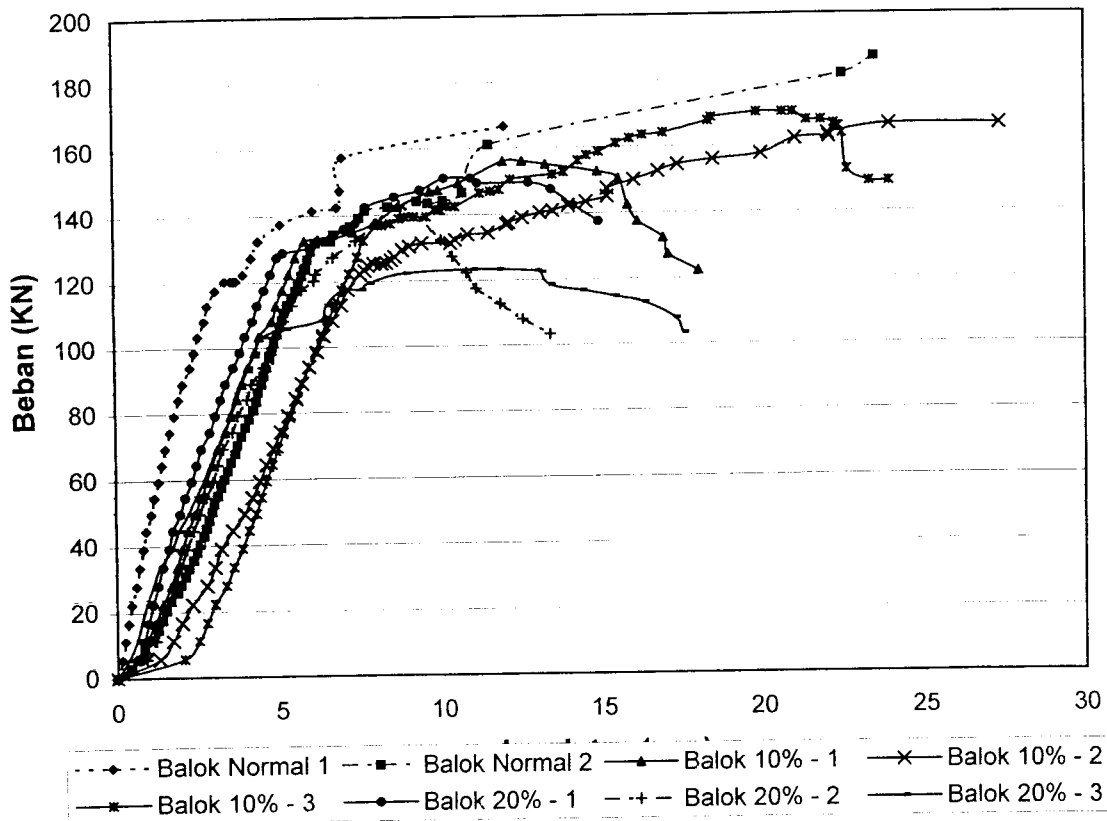


Hubungan Beban-Lendutan Balok Pori 20% - 3



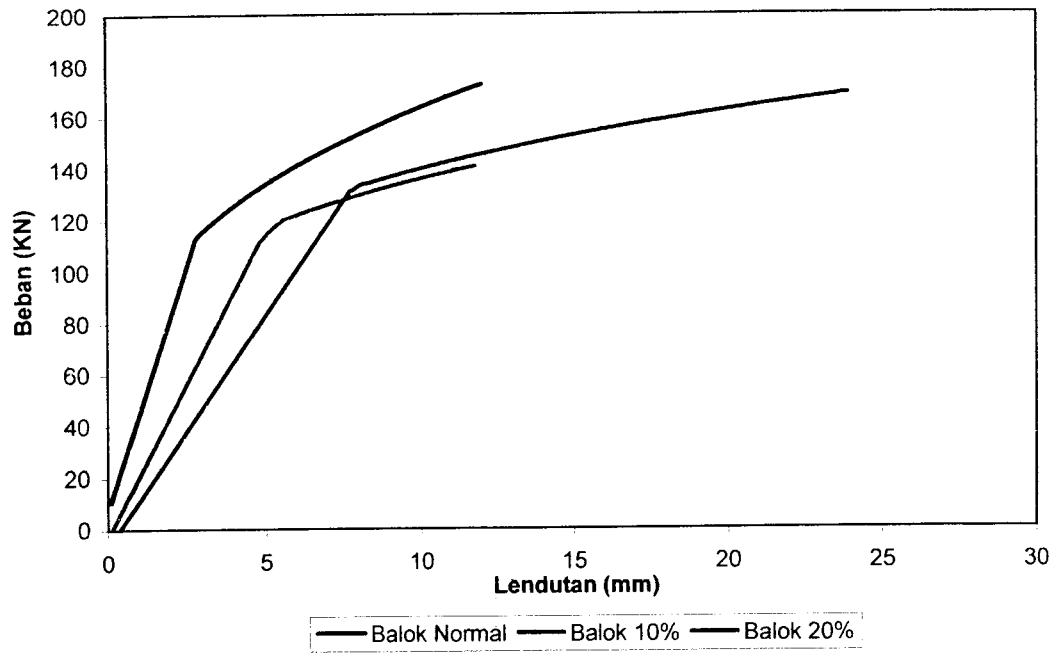
Lampiran E12

HUBUNGAN BEBAN - LENDUTAN



Lampiran E13

Grafik Beban - Lendutan



Lampiran E14

b (mm) = 150
 h (mm) = 250
 L (mm) = 800
 f_c (Mpa) = 25.938

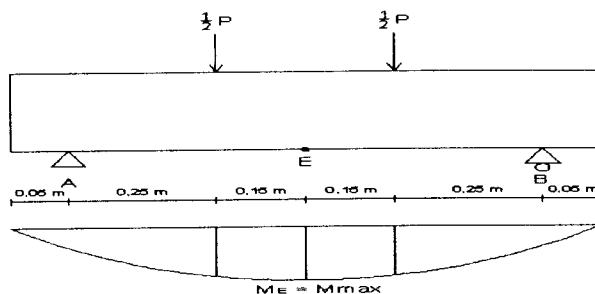
Q (KN/m) = 0,9

$$M_E = M_{max} = \left(\frac{1}{8} \cdot P \cdot L \right) + \left(\frac{3}{40} \cdot Q \cdot L^2 \right)$$

$$E = 4700 \sqrt{f'_c}$$

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

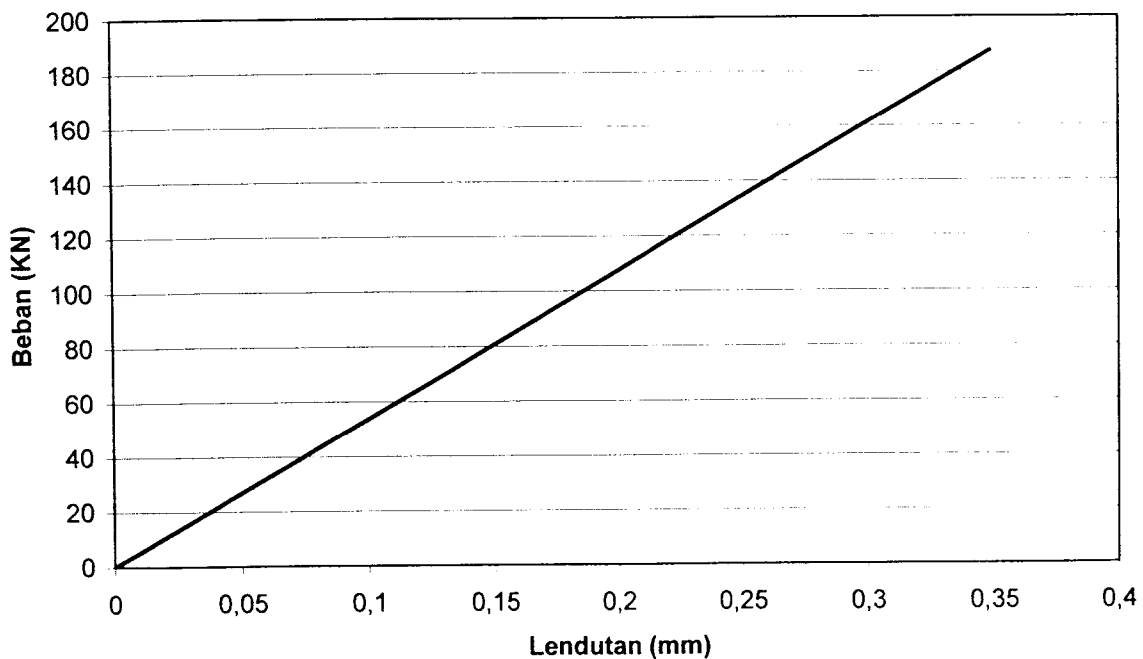
$$\delta = \frac{P \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} (3L^2 - 4a^2)$$



No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E (N/mm ²)	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 400 mm di tengah bentang (mm)
1	0	0	0	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	0	0
2	250	2,5	1250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	0,38	0,005
3	500	5	2500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	0,6925	0,009
4	750	7,5	3750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	1,005	0,014
5	1000	10	5000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	1,3175	0,019
6	1250	12,5	6250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	1,63	0,023
7	1500	15	7500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	1,9425	0,028
8	1750	17,5	8750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	2,255	0,033
9	2000	20	10000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	2,5675	0,037
10	2250	22,5	11250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	2,88	0,042
11	2500	25	12500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	3,1925	0,047
12	2750	27,5	13750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	3,505	0,051
13	3000	30	15000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	3,8175	0,056
14	3250	32,5	16250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	4,13	0,060
15	3500	35	17500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	4,4425	0,065
16	3750	37,5	18750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	4,755	0,070
17	4000	40	20000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	5,0675	0,074
18	4250	42,5	21250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	5,38	0,079
19	4500	45	22500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	5,6925	0,084
20	4750	47,5	23750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	6,005	0,088
21	5000	50	25000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	6,3175	0,093
22	5250	52,5	26250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	6,63	0,098
23	5500	55	27500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	6,9425	0,102
24	5750	57,5	28750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	7,255	0,107
25	6000	60	30000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	7,5675	0,112
26	6250	62,5	31250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	7,88	0,116
27	6500	65	32500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	8,1925	0,121
28	6750	67,5	33750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	8,505	0,126
29	7000	70	35000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	8,8175	0,130
30	7250	72,5	36250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	9,13	0,135
31	7500	75	37500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	9,4425	0,140
32	7750	77,5	38750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	9,755	0,144
33	8000	80	40000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	10,0675	0,149
34	8250	82,5	41250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	10,38	0,153
35	8500	85	42500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	10,6925	0,158
36	8750	87,5	43750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	11,005	0,163
37	9000	90	45000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	11,3175	0,167
38	9250	92,5	46250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	11,63	0,172
39	9500	95	47500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	11,9425	0,177
40	9750	97,5	48750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	12,255	0,181
41	10000	100	50000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	12,5675	0,186
42	10250	102,5	51250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	12,88	0,191
43	10500	105	52500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	13,1925	0,195
44	10750	107,5	53750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	13,505	0,200
45	11000	110	55000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	13,8175	0,205
46	11250	112,5	56250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	14,13	0,209
47	11500	115	57500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	14,4425	0,214

48	11750	117,5	58750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	14,755	0,219
49	12000	120	60000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	15,0675	0,223
50	12250	122,5	61250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	15,38	0,228
51	12500	125	62500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	15,6925	0,233
52	12750	127,5	63750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	16,005	0,237
53	13000	130	65000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	16,3175	0,242
54	13250	132,5	66250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	16,63	0,247
55	13500	135	67500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	16,9425	0,251
56	13750	137,5	68750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	17,255	0,256
57	14000	140	70000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	17,5675	0,260
58	14250	142,5	71250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	17,88	0,265
59	14500	145	72500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	18,1925	0,270
60	14750	147,5	73750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	18,505	0,274
61	15000	150	75000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	18,8175	0,279
62	15250	152,5	76250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	19,13	0,284
63	15500	155	77500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	19,4425	0,288
64	15750	157,5	78750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	19,755	0,293
65	16000	160	80000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	20,0675	0,298
66	16250	162,5	81250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	20,38	0,302
67	16500	165	82500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	20,6925	0,307
68	16750	167,5	83750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	21,005	0,312
69	17000	170	85000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	21,3175	0,316
70	17250	172,5	86250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	21,63	0,321
71	17500	175	87500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	21,9425	0,326
72	17750	177,5	88750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	22,255	0,330
73	18000	180	90000	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	22,5675	0,335
74	18250	182,5	91250	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	22,88	0,340
75	18500	185	92500	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	23,1925	0,344
76	18750	187,5	93750	800	640000	250	62500	23936,8	195312500	23,505	0,349

Hubungan Beban-Lendutan Teoritis



LAMPIRAN F

*Data dan Grafik Hubungan Momen-
Kelengkungan Hasil Pengujian dan Teoritis*

MOMEN RETAK
(Perhitungan Secara Teoritis)

Momen retak secara teoritis dapat dihitung berdasarkan SK-SNI-T15-1991-03, momen retak (M_{cr}) balok ditentukan dengan persamaan :

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

Dimana :

M_{cr} = Momen retak

f_r = Modulus retak

I_g = Inersia balok = $\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$

Y_t = Jarak garis netral keserat tepi tertarik

Berdasarkan data yang ada maka momen retak beton dapat dicari sebagai berikut :

$$f'_c = 25,938 \text{ MPa}$$

$$f_r = 3,565 \text{ MPa}$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 250^3 = 195,313 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Y_t = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 250 = 125 \text{ mm}$$

$$M_{cr} = \frac{3,565 \cdot 195,313 \cdot 10^6}{125} = 5,57 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$
$$= 5,57 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = \left(\frac{1}{8} \cdot P_{cr} \cdot L \right) + \left(\frac{3}{40} \cdot Q \cdot L^2 \right)$$

$$5,57 = \left(\frac{1}{8} \cdot P_{cr} \cdot 1 \right) + \left(\frac{3}{40} \cdot 0,9 \cdot 1^2 \right)$$

$$P_{cr} = 44,02 \text{ kN}$$

$$= 4,4 \text{ ton}$$

Lampiran F2

Perhitungan Momen-Kelengkungan secara Teoritis

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

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$d' = 20 + 8,5 + (0,5 \times 6,5) = 31,75 \text{ mm}$$

$$d = 250 - (20 + 8,5 + (11,5/2)) = 215,75 \text{ mm}$$

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

$$f'_c = 25,938 \text{ MPa, sehingga bila } f_c' < 30 \text{ MPa, maka } \beta = 0,85$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \times \sqrt{25,938} = 23936,8 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus rasio, } n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{23936,8} = 8,355 \text{ MPa}$$

Tulangan atas (desak) dipakai diameter (\emptyset) = 6,5 mm, berjumlah $n = 2$ buah dengan $f_y = 419,56 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} A_{s'} &= n \times A_{1 \text{ tul}} & A_{1 \text{ tul}} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ & & &= 0,25 \times \pi \times 6,5^2 \\ & & &= 33,183 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'} &= 2 \times 33,183 \\ &= 66,366 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan bawah (tarik) dipakai diameter (\emptyset) = 11,5 mm, berjumlah $n = 2$ buah dengan $f_y = 348,55 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_s &= n \times A_{1 \text{ tul}} & A_{1 \text{ tul}} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \\ & & &= 0,25 \times \pi \times 11,5^2 \\ & & &= 103,869 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= 2 \times 103,869 \\ &= 207,738 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{207,738}{150 \cdot 215,75} = 0,00642$$

Lampiran F2

$$\rho' = \frac{As'}{b.d} = \frac{66,366}{150.215,75} = 0,00205$$

1. Sebelum retak

$$\begin{aligned} A &= b.h + [(n-1).(As + As')] \\ &= 150.250 + [(8,355 - 1).(207,738 + 66,366)] \\ &= 39516,035 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Statis Momen

$$\begin{aligned} y_a &= \frac{[(b.h.b) + ((n-1).As.d) + ((n-1).As'.d')]}{[(b.h) + ((n-1).(As + As'))]} \\ &= \frac{[(150.250.150) + ((8,355 - 1).207,738.215,75) + ((8,355 - 1).66,366.31,75)]}{[(150.250) + ((8,355 - 1).(207,738 + 66,366))]} \\ &= 151,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_b &= h - y_a \\ &= 250 - 151,08 \\ &= 98,92 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen Inersia (I)

$$\begin{aligned} I &= \left[\left(\frac{1}{12} . b . h^3 \right) + \left(b . h . \left(y_a - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + (As . (n - 1) . (y_b - d')^2) + (As' . (n - 1) . (y_a - d')^2) \right] \\ &= \left(\frac{1}{12} . 150 . 250^3 \right) + \left(150 . 250 . \left(151,08 - \frac{250}{2} \right)^2 \right) + (207,738 . (8,355 - 1) . (98,92 - 31,75)^2) + (66,366 . (8,355 - 1) . (151,08 - 31,75)^2) \\ &= 234663076,3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Modulus retak (fr)

$$\begin{aligned} fr &= 0,7 \sqrt{fc'} \\ &= 0,7 . \sqrt{25,938} \\ &= 3,565 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Lampiran F2

$$M_{\text{retak}} = \frac{f_r I}{y_b} = \frac{3,565 \cdot 234663076,3}{98,92} = 8457075,081 \text{ Nmm}$$

$$= 8,457 \text{ kNm}$$

$$\Phi_{\text{retak}} = \frac{f_r / E_c}{y_b} = \frac{3,565 / 23936,8}{98,92} = 1,506 \cdot 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

$$= 0,001506 \text{ 1/m}$$

2. Setelah retak pada saat leleh pertama

Dengan menganggap beban elastis, maka :

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

$$= \sqrt{\left[(0,00642 + 0,00205)^2 \cdot 8,355^2 + 2 \left(0,00642 + \frac{(0,00205 \cdot 31,75)}{215,75} \right) 8,355 \right]} - (0,00642 + 0,00205) \cdot 8,355$$

$$= 0,272$$

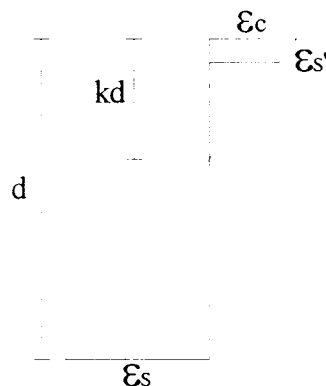
$$\text{Maka, } kd = 0,272 \times 215,75 = 58,684 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \times kd = 0,85 \times 56,684$$

$$= 49,88 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = \frac{348,55}{200000} = 0,00174$$

Dari diagram didapat :



Lampiran F2

$$\epsilon_c = \epsilon_s \frac{kd}{d - kd} = 0,00174 \frac{58,684}{215,75 - 58,684} = 0,00065$$

Jadi :

$$f_c = \epsilon_c \cdot E_c = 0,00065 \cdot 23936,8 = 15,559 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{s'} = \epsilon_c \frac{kd - d'}{kd} = 0,00065 \frac{58,684 - 31,75}{58,684} = 0,000298$$

$$f_{s'} = \epsilon_{s'} \cdot E_s = 0,000298 \cdot 200000 = 59,666 \text{ MPa}$$

$$C_c = \frac{1}{2} \cdot f_c \cdot b \cdot kd = \frac{1}{2} \cdot 15,559 \cdot 150 \cdot 58,684 = 68479,827 \text{ N} = 68,47 \text{ kN}$$

$$C_{s'} = A_{s'} \cdot f_{s'} = 66,366 \cdot 59,666 = 3959,794 \text{ N} = 3,9598 \text{ kN}$$

Jadi gaya total yang bekerja pada kd dari serat atas adalah :

$$\begin{aligned} N_d &= C_c + C_{s'} \\ &= 68,47 + 3,9598 \\ &= 72,4298 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_d &= d - a = 215,75 - 49,88 \\ &= 165,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka :

$$M_y = N_d \cdot J_d = 72,4298 \times 165,7 \times 10^{-3} = 12,00 \text{ kNm}$$

$$\Phi_y = \frac{f_y / E_s}{d - kd} = \frac{348,55 / 200000}{215,75 - 58,684} = 1,11 \cdot 10^{-5} \text{ 1/mm} = 0,0111 \text{ 1/m}$$

3. Setelah leleh pada saat beban maximum (ultimit)

Dianggap tulangan tekan belum leleh dan tulangan tarik sudah leleh

$$T = C_c + C_s$$

$$A_s \times f_y = (0,85 \times f_c' \times \beta \times c \times b) + (A_{s'} \times \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times 600)$$

$$A_s \times f_y \times c = (0,85 \times f_c' \times \beta \times b) c^2 + (A_{s'} \times 600 \times (c - d'))$$

$$A_s \times f_y \times c = (0,85 \times f_c' \times \beta \times b) c^2 + (A_{s'} \times 600 \times c) - (A_{s'} \times 600 \times d')$$

Lampiran F2

$$(0,85 \times f_c' \times \beta \times b) c^2 + (600.A_s' - A_s.f_y) c - (600.A_s'.d') = 0$$

$$(0,85.25,938.0,85.150) c^2 + (600.66,366 - 207,738.348,55)c - 600.66,366.31,75 = 0$$

$$2811,03075 c^2 - 32587,4799 c - 1264272,3 = 0$$

$$c = 27,78 \text{ mm}$$

$$a = \beta \times c$$

$$= 0,85 \times 27,78$$

$$= 23,613 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \frac{c - d'}{c} = 0,003 \frac{27,78 - 31,75}{27,78} = 0,000429$$

$$\epsilon_s = \epsilon_c \frac{d - c}{c} = 0,003 \frac{215,75 - 27,78}{27,78} = 0,0203$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{348,55}{200000} = 0,00174$$

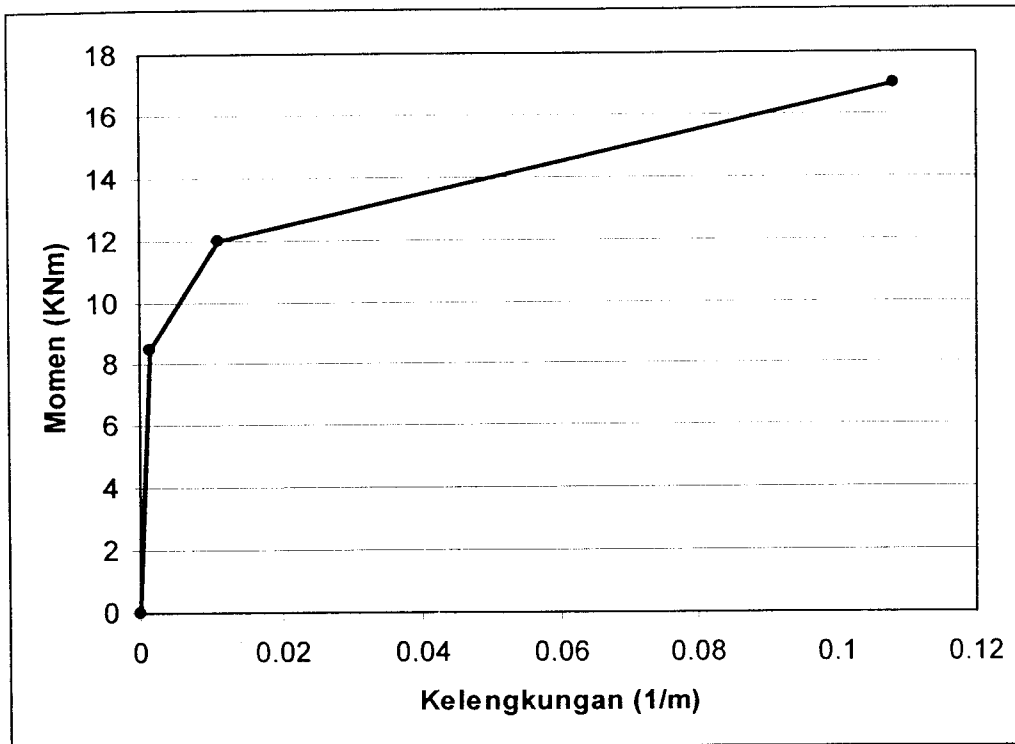
Karena ϵ_s' lebih kecil ϵ_y berarti anggapan bahwa tulangan tekan belum leleh adalah benar dan ϵ_s lebih besar ϵ_y berarti anggapan bahwa tulangan tarik sudah leleh adalah benar.

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' \times E_s = 0,000429 \times 200000 \\ &= 85,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 0,85 \times f_c' \times a \times b (d - a/2) + A_s'.f_s'. (d - d') \\ &= 0,85. 25,938. 23,613. 150. (215,75 - 23,613/2) + 66,366. 85,8 (215,75 - 31,75) \\ &= 16973769,79 \text{ Nmm} \\ &= 16,974 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\Phi_u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0,003}{27,78} = 1,08. 10^{-4} \text{ 1/mm} = 0,108 \text{ 1/m}$$

Lampiran F2



Lampiran F3

Tabel Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Normal 1

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	L (mm)	a (mm)	Lendutan 10^{-2} (mm)	Lendutan di tengah (m)	Lendutan di titik P	Φ 1/m	Momen KNm
1	0	0	0	1000	250	0	0	0	0	0
2	500	5	2500	800	250	15	0,00015	0,000094	0,0050	0,763
3	1000	10	5000	800	250	25	0,00025	0,000156	0,0083	1,460
4	1500	15	7500	800	250	35	0,00035	0,000219	0,0117	2,156
5	2000	20	10000	800	250	45	0,00045	0,000281	0,0150	2,853
6	2500	25	12500	800	250	60	0,0006	0,000375	0,0200	3,550
7	3000	30	15000	800	250	70	0,0007	0,000438	0,0233	4,246
8	3500	35	17500	800	250	82	0,00082	0,000513	0,0273	4,943
9	4000	40	20000	800	250	91	0,00091	0,000569	0,0303	5,639
10	4500	45	22500	800	250	107	0,00107	0,000669	0,0357	6,259
11	5000	50	25000	800	250	116	0,00116	0,000725	0,0387	6,878
12	5500	55	27500	800	250	129	0,00129	0,000806	0,0430	7,497
13	6000	60	30000	800	250	139	0,00139	0,000869	0,0463	8,116
14	6500	65	32500	800	250	150	0,0015	0,000938	0,0500	8,735
15	7000	70	35000	800	250	164	0,00164	0,001025	0,0547	9,355
16	7500	75	37500	800	250	178	0,00178	0,001113	0,0593	9,974
17	8000	80	40000	800	250	192	0,00192	0,001200	0,0640	10,593
18	8500	85	42500	800	250	204	0,00204	0,001275	0,0680	11,188
19	9000	90	45000	800	250	227	0,00227	0,001419	0,0757	11,813
20	9500	95	47500	800	250	240	0,0024	0,001500	0,0800	12,378
21	10000	100	50000	800	250	252	0,00252	0,001575	0,0840	12,973
22	10500	105	52500	800	250	272	0,00272	0,001700	0,0907	13,568
23	11000	110	55000	800	250	282	0,00282	0,001763	0,0940	14,163
24	11500	115	57500	800	250	306	0,00306	0,001913	0,1020	14,758
25	11800	118	59000	800	250	336	0,00336	0,002100	0,1120	15,115
26	11800	118	59000	800	250	354	0,00354	0,002213	0,1180	15,115
27	11800	118	59000	800	250	362	0,00362	0,002263	0,1207	15,115
28	11800	118	59000	800	250	370	0,0037	0,002313	0,1233	15,115
29	12000	120	60000	800	250	392	0,00392	0,002450	0,1307	15,353
30	12500	125	62500	800	250	417	0,00417	0,002606	0,1390	15,982
31	13000	130	65000	800	250	438	0,00438	0,002738	0,1460	16,611
32	13500	135	67500	800	250	505	0,00505	0,003156	0,1683	17,240
33	13900	139	69500	800	250	604	0,00604	0,003775	0,2013	17,743
34	14000	140	70000	800	250	678	0,00678	0,004238	0,2260	17,869
35	14500	145	72500	800	250	688	0,00688	0,004300	0,2293	18,498
36	15500	155	77500	800	250	695	0,00695	0,004344	0,2317	19,756
37	16400	164	82000	800	250	1200	0,012	0,007500	0,4000	20,889

Lampiran F4

Tabel Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Normal 2

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	L (mm)	a (mm)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan di tengah (m)	Lendutan di titik P	Φ 1/m	Momen KNm
1	0	0	0	800	250	0	0	0	0	0
2	250	2,5	1250	800	250	43	0,00043	0,000269	0,0143	0,438
3	500	5	2500	800	250	70	0,0007	0,000438	0,0233	0,803
4	750	7,5	3750	800	250	84	0,00084	0,000525	0,0280	1,167
5	1000	10	5000	800	250	100	0,001	0,000625	0,0333	1,532
6	1250	12,5	6250	800	250	125	0,00125	0,000781	0,0417	1,897
7	1500	15	7500	800	250	138	0,00138	0,000863	0,0460	2,261
8	1750	17,5	8750	800	250	150	0,0015	0,000938	0,0500	2,626
9	2000	20	10000	800	250	165	0,00165	0,001031	0,0550	2,991
10	2250	22,5	11250	800	250	185	0,00185	0,001156	0,0617	3,297
11	2500	25	12500	800	250	195	0,00195	0,001219	0,0650	3,604
12	2750	27,5	13750	800	250	210	0,0021	0,001313	0,0700	3,911
13	3000	30	15000	800	250	220	0,0022	0,001375	0,0733	4,218
14	3250	32,5	16250	800	250	235	0,00235	0,001469	0,0783	4,524
15	3500	35	17500	800	250	246	0,00246	0,001538	0,0820	4,831
16	3750	37,5	18750	800	250	256	0,00256	0,001600	0,0853	5,138
17	4000	40	20000	800	250	267	0,00267	0,001669	0,0890	5,444
18	4250	42,5	21250	800	250	275	0,00275	0,001719	0,0917	5,725
19	4500	45	22500	800	250	284	0,00284	0,001775	0,0947	6,036
20	4750	47,5	23750	800	250	294	0,00294	0,001838	0,0980	6,346
21	5000	50	25000	800	250	300	0,003	0,001875	0,1000	6,657
22	5250	52,5	26250	800	250	310	0,0031	0,001938	0,1033	6,968
23	5500	55	27500	800	250	320	0,0032	0,002000	0,1067	7,278
24	5750	57,5	28750	800	250	330	0,0033	0,002063	0,1100	7,589
25	6000	60	30000	800	250	340	0,0034	0,002125	0,1133	7,899
26	6250	62,5	31250	800	250	350	0,0035	0,002188	0,1167	8,227
27	6500	65	32500	800	250	364	0,00364	0,002275	0,1213	8,554
28	6750	67,5	33750	800	250	371	0,00371	0,002319	0,1237	8,881
29	7000	70	35000	800	250	383	0,00383	0,002394	0,1277	9,208
30	7250	72,5	36250	800	250	395	0,00395	0,002469	0,1317	9,535
31	7500	75	37500	800	250	406	0,00406	0,002538	0,1353	9,863
32	7750	77,5	38750	800	250	420	0,0042	0,002625	0,1400	10,190
33	8000	80	40000	800	250	429	0,00429	0,002681	0,1430	10,517
34	8250	82,5	41250	800	250	435	0,00435	0,002719	0,1450	10,874
35	8500	85	42500	800	250	446	0,00446	0,002788	0,1487	11,188
36	8750	87,5	43750	800	250	452	0,00452	0,002825	0,1507	11,501
37	9000	90	45000	800	250	461	0,00461	0,002881	0,1537	11,815
38	9250	92,5	46250	800	250	470	0,0047	0,002938	0,1567	12,129
39	9500	95	47500	800	250	478	0,00478	0,002988	0,1593	12,443
40	9750	97,5	48750	800	250	485	0,00485	0,003031	0,1617	12,757
41	10000	100	50000	800	250	495	0,00495	0,003094	0,1650	13,071
42	10250	102,5	51250	800	250	502	0,00502	0,003138	0,1673	13,349
43	10500	105	52500	800	250	509	0,00509	0,003181	0,1697	13,628
44	10750	107,5	53750	800	250	515	0,00515	0,003219	0,1717	13,906
45	11000	110	55000	800	250	526	0,00526	0,003288	0,1753	14,184
46	11250	112,5	56250	800	250	539	0,00539	0,003369	0,1797	14,463
47	11500	115	57500	800	250	550	0,0055	0,003438	0,1833	14,741
48	11750	117,5	58750	800	250	560	0,0056	0,003500	0,1867	15,020
49	12000	120	60000	800	250	570	0,0057	0,003563	0,1900	15,298
50	12150	121,5	60750	800	250	578	0,00578	0,003613	0,1927	15,548
51	12250	122,5	61250	800	250	583	0,00583	0,003644	0,1943	15,596
52	12500	125	62500	800	250	588	0,00588	0,003675	0,1960	15,909
53	12750	127,5	63750	800	250	598	0,00598	0,003738	0,1993	16,221
54	13000	130	65000	800	250	613	0,00613	0,003831	0,2043	16,533
55	13050	130,5	65250	800	250	647	0,00647	0,004044	0,2157	16,595

56	13050	130,5	65250	800	250	659	0,00659	0,004119	0,2197	16,595
57	13250	132,5	66250	800	250	668	0,00668	0,004175	0,2227	16,845
58	13350	133,5	66750	800	250	710	0,0071	0,004438	0,2367	16,970
59	13500	135	67500	800	250	720	0,0072	0,004500	0,2400	17,157
60	13750	137,5	68750	800	250	746	0,00746	0,004663	0,2487	17,470
61	14000	140	70000	800	250	765	0,00765	0,004781	0,2550	17,782
62	14075	140,75	70375	800	250	835	0,00835	0,005219	0,2783	17,872
63	14250	142,5	71250	800	250	925	0,00925	0,005781	0,3083	18,084
64	14225	142,25	71125	800	250	960	0,0096	0,006000	0,3200	18,009
65	14250	142,5	71250	800	250	1006	0,01006	0,006288	0,3353	18,084
66	14500	145	72500	800	250	1068	0,01068	0,006675	0,3560	18,386
67	15850	158,5	79250	800	250	1150	0,0115	0,007188	0,3833	20,203
68	17900	179	89500	800	250	2250	0,0225	0,014063	0,7500	22,785
69	18400	184	92000	800	250	2350	0,0235	0,014688	0,7833	23,415

Lampiran F5

Tabel Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Pori 10% - 1

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	L (mm)	a (mm)	Lendutan 10^{-2} (mm)	Lendutan di tengah (m)	Lendutan di titik P	Φ 1/m	Momen KNm
1	0	0	0	800	250	0	0	0	0	0
2	500	5	2500	800	250	60	0,0006	0,000375	0,0200	0,765
3	1000	10	5000	800	250	90	0,0009	0,000563	0,0300	1,461
4	1500	15	7500	800	250	115	0,00115	0,000719	0,0383	2,158
5	2000	20	10000	800	250	139	0,00139	0,000869	0,0463	2,854
6	2500	25	12500	800	250	165	0,00165	0,001031	0,0550	3,551
7	3000	30	15000	800	250	184	0,00184	0,001150	0,0613	4,247
8	3500	35	17500	800	250	200	0,002	0,001250	0,0667	4,944
9	4000	40	20000	800	250	218	0,00218	0,001363	0,0727	5,641
10	4500	45	22500	800	250	240	0,0024	0,001500	0,0800	6,260
11	5000	50	25000	800	250	260	0,0026	0,001625	0,0867	6,879
12	5500	55	27500	800	250	275	0,00275	0,001719	0,0917	7,498
13	6000	60	30000	800	250	292	0,00292	0,001825	0,0973	8,117
14	6500	65	32500	800	250	310	0,0031	0,001938	0,1033	8,737
15	7000	70	35000	800	250	333	0,00333	0,002081	0,1110	9,356
16	7500	75	37500	800	250	350	0,0035	0,002188	0,1167	9,975
17	8000	80	40000	800	250	370	0,0037	0,002313	0,1233	10,594
18	8500	85	42500	800	250	385	0,00385	0,002406	0,1283	11,189
19	9000	90	45000	800	250	405	0,00405	0,002531	0,1350	11,814
20	9500	95	47500	800	250	426	0,00426	0,002663	0,1420	12,379
21	10000	100	50000	800	250	439	0,00439	0,002744	0,1463	12,974
22	10500	105	52500	800	250	478	0,00478	0,002988	0,1593	13,569
23	11000	110	55000	800	250	492	0,00492	0,003075	0,1640	14,164
24	11500	115	57500	800	250	510	0,0051	0,003188	0,1700	14,759
25	12000	120	60000	800	250	530	0,0053	0,003313	0,1767	15,354
26	12500	125	62500	800	250	550	0,0055	0,003438	0,1833	15,983
27	13000	130	65000	800	250	578	0,00578	0,003613	0,1927	16,612
28	13050	130,5	65250	800	250	620	0,0062	0,003875	0,2067	16,675
29	13050	130,5	65250	800	250	655	0,00655	0,004094	0,2183	16,675
30	13250	132,5	66250	800	250	728	0,00728	0,004550	0,2427	16,927
31	13500	135	67500	800	250	793	0,00793	0,004956	0,2643	17,242
32	14000	140	70000	800	250	865	0,00865	0,005406	0,2883	17,871
33	14450	144,5	72250	800	250	965	0,00965	0,006031	0,3217	18,437
34	14500	145	72500	800	250	992	0,00992	0,006200	0,3307	18,500
35	14700	147	73500	800	250	1056	0,01056	0,006600	0,3520	18,751
36	15350	153,5	76750	800	250	1195	0,01195	0,007469	0,3983	19,569
37	15350	153,5	76750	800	250	1255	0,01255	0,007844	0,4183	19,569

Lampiran F6

Tabel Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Pori 10% - 2

Jo	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	L (mm)	a (mm)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan di tengah (m)	Lendutan di titik P	Φ 1/m	Momen KNm
1	0	0	0	800	250	0	0	0	0	0
2	500	5	2500	800	250	130	0,0013	0,000813	0,0433	0,763
3	1000	10	5000	800	250	170	0,0017	0,001063	0,0567	1,460
4	1500	15	7500	800	250	198	0,00198	0,001238	0,0660	2,156
5	2000	20	10000	800	250	230	0,0023	0,001438	0,0767	2,853
6	2500	25	12500	800	250	275	0,00275	0,001719	0,0917	3,550
7	3000	30	15000	800	250	300	0,003	0,001875	0,1000	4,246
8	3500	35	17500	800	250	320	0,0032	0,002000	0,1067	4,943
9	4000	40	20000	800	250	355	0,00355	0,002219	0,1183	5,639
10	4500	45	22500	800	250	392	0,00392	0,002450	0,1307	6,258
11	5000	50	25000	800	250	415	0,00415	0,002594	0,1383	6,878
12	5500	55	27500	800	250	438	0,00438	0,002738	0,1460	7,497
13	6000	60	30000	800	250	458	0,00458	0,002863	0,1527	8,116
14	6500	65	32500	800	250	480	0,0048	0,003000	0,1600	8,735
15	7000	70	35000	800	250	502	0,00502	0,003138	0,1673	9,354
16	7500	75	37500	800	250	525	0,00525	0,003281	0,1750	9,974
17	8000	80	40000	800	250	550	0,0055	0,003438	0,1833	10,593
18	8500	85	42500	800	250	568	0,00568	0,003550	0,1893	11,188
19	9000	90	45000	800	250	591	0,00591	0,003694	0,1970	11,813
20	9500	95	47500	800	250	615	0,00615	0,003844	0,2050	12,378
21	10000	100	50000	800	250	636	0,00636	0,003975	0,2120	12,973
22	10500	105	52500	800	250	662	0,00662	0,004138	0,2207	13,568
23	11000	110	55000	800	250	690	0,0069	0,004313	0,2300	14,163
24	11500	115	57500	800	250	711	0,00711	0,004444	0,2370	14,758
25	12000	120	60000	800	250	748	0,00748	0,004675	0,2493	15,353
26	12100	121	60500	800	250	763	0,00763	0,004769	0,2543	15,479
27	12250	122,5	61250	800	250	773	0,00773	0,004831	0,2577	15,667
28	12300	123	61500	800	250	791	0,00791	0,004944	0,2637	15,730
29	12300	123	61500	800	250	815	0,00815	0,005094	0,2717	15,730
30	12325	123,3	61625	800	250	830	0,0083	0,005188	0,2767	15,759
31	12400	124	62000	800	250	845	0,00845	0,005281	0,2817	15,856
32	12500	125	62500	800	250	856	0,00856	0,005350	0,2853	15,982
33	12700	127	63500	800	250	879	0,00879	0,005494	0,2930	16,234
34	12800	128	64000	800	250	901	0,00901	0,005631	0,3003	16,359
35	12900	129	64500	800	250	940	0,0094	0,005875	0,3133	16,485
36	12900	129	64500	800	250	1030	0,0103	0,006438	0,3433	16,485
37	13000	130	65000	800	250	1045	0,01045	0,006531	0,3483	16,611
38	13150	131,5	65750	800	250	1085	0,01085	0,006781	0,3617	16,800
39	13200	132	66000	800	250	1148	0,01148	0,007175	0,3827	16,863
40	13450	134,5	67250	800	250	1205	0,01205	0,007531	0,4017	17,177
41	13500	135	67500	800	250	1213	0,01213	0,007581	0,4043	17,240
42	13650	136,5	68250	800	250	1255	0,01255	0,007844	0,4183	17,429
43	13800	138	69000	800	250	1310	0,0131	0,008188	0,4367	17,617
44	13850	138,5	69250	800	250	1350	0,0135	0,008438	0,4500	17,680
45	14000	140	70000	800	250	1399	0,01399	0,008744	0,4663	17,869
46	14100	141	70500	800	250	1455	0,01455	0,009094	0,4850	17,995
47	14250	142,5	71250	800	250	1520	0,0152	0,009500	0,5067	18,184
48	14500	145	72500	800	250	1520	0,0152	0,009500	0,5067	18,498
49	14750	147,5	73750	800	250	1605	0,01605	0,010031	0,5350	18,813
50	15000	150	75000	800	250	1680	0,0168	0,010500	0,5600	19,127
51	15200	152	76000	800	250	1740	0,0174	0,010875	0,5800	19,379
52	15350	153,5	76750	800	250	1850	0,0185	0,011563	0,6167	19,568
53	15500	155	77500	800	250	1999	0,01999	0,012494	0,6663	19,756
54	15950	159,5	79750	800	250	2105	0,02105	0,013156	0,7017	20,322
55	16000	160	80000	800	250	2210	0,0221	0,013813	0,7367	20,385
56	16100	161	80500	800	250	2206	0,02206	0,013788	0,7353	20,511
57	16375	163,8	81875	800	250	2396	0,02396	0,014975	0,7987	20,855
58	16370	163,7	81850	800	250	2736	0,02736	0,017100	0,9120	20,849

Lampiran F7

Tabel Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Pori 10% - 3

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	L (mm)	a (mm)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan di tengah (m)	Lendutan di titik P	Φ 1/m	Momen KNm
1	0	0	0	800	250	0	0	0	0	0
2	500	5	2500	800	250	205	0,00205	0,001281	0,0683	0,764
3	1000	10	5000	800	250	250	0,0025	0,001563	0,0833	1,461
4	1500	15	7500	800	250	275	0,00275	0,001719	0,0917	2,158
5	2000	20	10000	800	250	300	0,003	0,001875	0,1000	2,854
6	2500	25	12500	800	250	335	0,00335	0,002094	0,1117	3,551
7	3000	30	15000	800	250	358	0,00358	0,002238	0,1193	4,247
8	3500	35	17500	800	250	385	0,00385	0,002406	0,1283	4,944
9	4000	40	20000	800	250	405	0,00405	0,002531	0,1350	5,640
10	4500	45	22500	800	250	428	0,00428	0,002675	0,1427	6,260
11	5000	50	25000	800	250	443	0,00443	0,002769	0,1477	6,879
12	5500	55	27500	800	250	458	0,00458	0,002863	0,1527	7,498
13	6000	60	30000	800	250	477	0,00477	0,002981	0,1590	8,117
14	6500	65	32500	800	250	495	0,00495	0,003094	0,1650	8,736
15	7000	70	35000	800	250	512	0,00512	0,003200	0,1707	9,356
16	7500	75	37500	800	250	534	0,00534	0,003338	0,1780	9,975
17	8000	80	40000	800	250	555	0,00555	0,003469	0,1850	10,594
18	8500	85	42500	800	250	569	0,00569	0,003556	0,1897	11,189
19	9000	90	45000	800	250	590	0,0059	0,003688	0,1967	11,814
20	9500	95	47500	800	250	610	0,0061	0,003813	0,2033	12,379
21	10000	100	50000	800	250	628	0,00628	0,003925	0,2093	12,974
22	10500	105	52500	800	250	648	0,00648	0,004050	0,2160	13,569
23	11000	110	55000	800	250	673	0,00673	0,004206	0,2243	14,164
24	11500	115	57500	800	250	692	0,00692	0,004325	0,2307	14,759
25	12000	120	60000	800	250	715	0,00715	0,004469	0,2383	15,354
26	12500	125	62500	800	250	740	0,0074	0,004625	0,2467	15,983
27	13000	130	65000	800	250	760	0,0076	0,004750	0,2533	16,612
28	13450	134,5	67250	800	250	803	0,00803	0,005019	0,2677	17,178
29	13450	134,5	67250	800	250	816	0,00816	0,005100	0,2720	17,178
30	13500	135	67500	800	250	842	0,00842	0,005263	0,2807	17,241
31	13650	136,5	68250	800	250	869	0,00869	0,005431	0,2897	17,430
32	13700	137	68500	800	250	886	0,00886	0,005538	0,2953	17,493
33	13700	137	68500	800	250	915	0,00915	0,005719	0,3050	17,493
34	13700	137	68500	800	250	955	0,00955	0,005969	0,3183	17,493
35	13900	139	69500	800	250	980	0,0098	0,006125	0,3267	17,745
36	13900	139	69500	800	250	998	0,00998	0,006238	0,3327	17,745
37	14000	140	70000	800	250	1018	0,01018	0,006363	0,3393	17,870
38	14000	140	70000	800	250	1045	0,01045	0,006531	0,3483	17,870
39	14400	144	72000	800	250	1122	0,01122	0,007013	0,3740	18,374
40	14450	144,5	72250	800	250	1156	0,01156	0,007225	0,3853	18,436
41	14500	145	72500	800	250	1184	0,01184	0,007400	0,3947	18,499
42	14800	148	74000	800	250	1218	0,01218	0,007613	0,4060	18,877
43	14950	149,5	74750	800	250	1350	0,0135	0,008438	0,4500	19,066
44	15000	150	75000	800	250	1385	0,01385	0,008656	0,4617	19,128
45	15350	153,5	76750	800	250	1430	0,0143	0,008938	0,4767	19,569
46	15500	155	77500	800	250	1457	0,01457	0,009106	0,4857	19,758
47	15600	156	78000	800	250	1495	0,01495	0,009344	0,4983	19,883
48	15850	158,5	79250	800	250	1548	0,01548	0,009675	0,5160	20,198
49	16000	160	80000	800	250	1592	0,01592	0,009950	0,5307	20,387
50	16100	161	80500	800	250	1632	0,01632	0,010200	0,5440	20,512
51	16150	161,5	80750	800	250	1696	0,01696	0,010600	0,5653	20,576
52	16500	165	82500	800	250	1835	0,01835	0,011469	0,6117	21,016
53	16600	166	83000	800	250	1845	0,01845	0,011531	0,6150	21,142
54	16750	167,5	83750	800	250	1985	0,01985	0,012406	0,6617	21,331
55	16750	167,5	83750	800	250	2065	0,02065	0,012906	0,6883	21,331

56	16750	167,5	83750	800	250	2098	0,02098	0,013113	0,6993	21,331
57	16500	165	82500	800	250	2140	0,0214	0,013375	0,7133	21,016
58	16500	165	82500	800	250	2185	0,02185	0,013656	0,7283	21,016
59	16400	164	82000	800	250	2225	0,02225	0,013906	0,7417	20,890
60	16300	163	81500	800	250	2233	0,02233	0,013956	0,7443	20,764
61	16200	162	81000	800	250	2240	0,0224	0,014000	0,7467	20,764
62	16100	161	80500	800	250	2250	0,0225	0,014063	0,7500	20,512
63	15000	150	75000	800	250	2265	0,02265	0,014156	0,7550	19,128
64	14650	146,5	73250	800	250	2334	0,02334	0,014588	0,7780	18,688
65	14650	146,5	73250	800	250	2395	0,02395	0,014969	0,7983	18,688

Lampiran F8

Tabel Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Pori 20% - 1

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	L (mm)	a (mm)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan di tengah (m)	Lendutan di titik P	Φ 1/m	Momen KNm
1	0	0	0	800	250	0	0	0	0	0
2	500	5	2500	800	250	60	0,0006	0,000375	0,0200	0,762
3	1000	10	5000	800	250	81	0,00081	0,000506	0,0270	1,458
4	1500	15	7500	800	250	96	0,00096	0,000600	0,0320	2,155
5	2000	20	10000	800	250	110	0,0011	0,000688	0,0367	2,851
6	2500	25	12500	800	250	125	0,00125	0,000781	0,0417	3,548
7	3000	30	15000	800	250	140	0,0014	0,000875	0,0467	4,245
8	3500	35	17500	800	250	159	0,00159	0,000994	0,0530	4,941
9	4000	40	20000	800	250	171	0,00171	0,001069	0,0570	5,638
10	4500	45	22500	800	250	195	0,00195	0,001219	0,0650	6,257
11	5000	50	25000	800	250	210	0,0021	0,001313	0,0700	6,876
12	5500	55	27500	800	250	230	0,0023	0,001438	0,0767	7,495
13	6000	60	30000	800	250	245	0,00245	0,001531	0,0817	8,115
14	6500	65	32500	800	250	260	0,0026	0,001625	0,0867	8,734
15	7000	70	35000	800	250	286	0,00286	0,001788	0,0953	9,353
16	7500	75	37500	800	250	303	0,00303	0,001894	0,1010	9,972
17	8000	80	40000	800	250	320	0,0032	0,002000	0,1067	10,591
18	8500	85	42500	800	250	335	0,00335	0,002094	0,1117	11,186
19	9000	90	45000	800	250	360	0,0036	0,002250	0,1200	11,811
20	9500	95	47500	800	250	380	0,0038	0,002375	0,1267	12,376
21	10000	100	50000	800	250	396	0,00396	0,002475	0,1320	12,971
22	10500	105	52500	800	250	420	0,0042	0,002625	0,1400	13,566
23	11000	110	55000	800	250	435	0,00435	0,002719	0,1450	14,161
24	11500	115	57500	800	250	455	0,00455	0,002844	0,1517	14,756
25	12000	120	60000	800	250	475	0,00475	0,002969	0,1583	15,351
26	12500	125	62500	800	250	495	0,00495	0,003094	0,1650	15,980
27	12650	126,5	63250	800	250	513	0,00513	0,003206	0,1710	16,169
28	12800	128	64000	800	250	600	0,006	0,003750	0,2000	16,358
29	13000	130	65000	800	250	620	0,0062	0,003875	0,2067	16,610
30	13350	133,5	66750	800	250	700	0,007	0,004375	0,2333	17,050
31	13500	135	67500	800	250	735	0,00735	0,004594	0,2450	17,239
32	14000	140	70000	800	250	765	0,00765	0,004781	0,2550	17,868
33	14300	143	71500	800	250	855	0,00855	0,005344	0,2850	18,245
34	14500	145	72500	800	250	935	0,00935	0,005844	0,3117	18,497
35	14850	148,5	74250	800	250	1010	0,0101	0,006313	0,3367	18,937
36	14850	148,5	74250	800	250	1095	0,01095	0,006844	0,3650	18,937
37	14700	147	73500	800	250	1115	0,01115	0,006969	0,3717	18,748
38	14700	147	73500	800	250	1275	0,01275	0,007969	0,4250	18,748
39	14500	145	72500	800	250	1345	0,01345	0,008406	0,4483	18,497
40	14000	140	70000	800	250	1415	0,01415	0,008844	0,4717	17,868
41	13500	135	67500	800	250	1493	0,01493	0,009331	0,4977	17,239

Lampiran F9

Tabel Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Pori 20% - 2

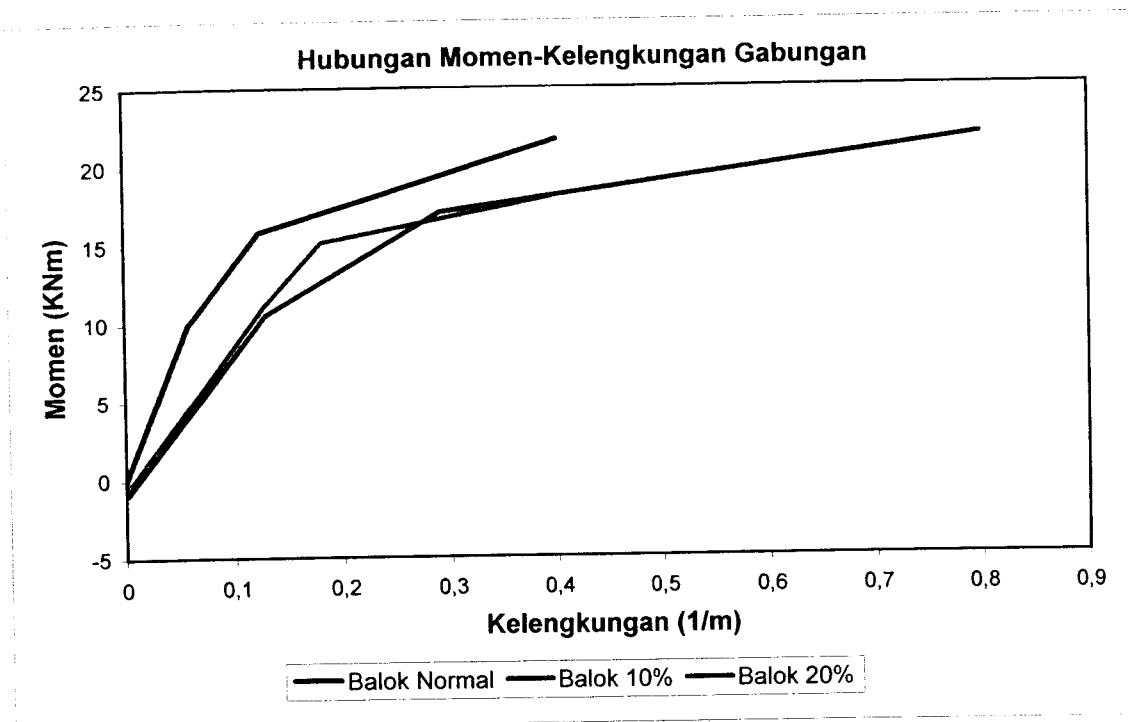
No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	L (mm)	a (mm)	Lendutan 10^{-2} (mm)	Lendutan di tengah (m)	Lendutan di titik P	Φ 1/m	Momen KNm
1	0	0	0	800	250	0	0	0	0	0
2	500	5	2500	800	250	90	0,0009	0,000563	0,0300	0,761
3	1000	10	5000	800	250	118	0,00118	0,000738	0,0393	1,457
4	1500	15	7500	800	250	135	0,00135	0,000844	0,0450	2,154
5	2000	20	10000	800	250	155	0,00155	0,000969	0,0517	2,850
6	2500	25	12500	800	250	175	0,00175	0,001094	0,0583	3,547
7	3000	30	15000	800	250	195	0,00195	0,001219	0,0650	4,243
8	3500	35	17500	800	250	215	0,00215	0,001344	0,0717	4,940
9	4000	40	20000	800	250	235	0,00235	0,001469	0,0783	5,637
10	4500	45	22500	800	250	255	0,00255	0,001594	0,0850	6,256
11	5000	50	25000	800	250	274	0,00274	0,001713	0,0913	6,875
12	5500	55	27500	800	250	295	0,00295	0,001844	0,0983	7,494
13	6000	60	30000	800	250	309	0,00309	0,001931	0,1030	8,113
14	6500	65	32500	800	250	326	0,00326	0,002038	0,1087	8,733
15	7000	70	35000	800	250	355	0,00355	0,002219	0,1183	9,352
16	7500	75	37500	800	250	371	0,00371	0,002319	0,1237	9,971
17	8000	80	40000	800	250	401	0,00401	0,002506	0,1337	10,590
18	8500	85	42500	800	250	415	0,00415	0,002594	0,1383	11,185
19	9000	90	45000	800	250	452	0,00452	0,002825	0,1507	11,810
20	9500	95	47500	800	250	473	0,00473	0,002956	0,1577	12,375
21	10000	100	50000	800	250	490	0,0049	0,003063	0,1633	12,970
22	10500	105	52500	800	250	513	0,00513	0,003206	0,1710	13,565
23	11000	110	55000	800	250	540	0,0054	0,003375	0,1800	14,160
24	11500	115	57500	800	250	569	0,00569	0,003556	0,1897	14,755
25	11800	118	59000	800	250	607	0,00607	0,003794	0,2023	15,112
26	12000	120	60000	800	250	612	0,00612	0,003825	0,2040	15,350
27	12500	125	62500	800	250	665	0,00665	0,004156	0,2217	15,979
28	13000	130	65000	800	250	735	0,00735	0,004594	0,2450	16,608
29	13500	135	67500	800	250	799	0,00799	0,004994	0,2663	17,238
30	14050	140,5	70250	800	250	870	0,0087	0,005438	0,2900	17,930
31	13000	130	65000	800	250	1000	0,01	0,006250	0,3333	16,608
32	12500	125	62500	800	250	1035	0,01035	0,006469	0,3450	15,979
33	12000	120	60000	800	250	1080	0,0108	0,006750	0,3600	15,350
34	11500	115	57500	800	250	1110	0,0111	0,006938	0,3700	14,755
35	11000	110	55000	800	250	1185	0,01185	0,007406	0,3950	14,160
36	10500	105	52500	800	250	1255	0,01255	0,007844	0,4183	13,565
37	10000	100	50000	800	250	1340	0,0134	0,008375	0,4467	12,970

Lampiran F10

Tabel Hubungan Momen - Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Pori 20% - 3

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	L (mm)	a (mm)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	Lendutan di tengah (m)	Lendutan di titik P	Φ 1/m	Momen KNm
1	0	0	0	800	250	0	0	0	0	0
2	500	5	2500	800	250	35	0,00035	0,000219	0,0117	0,759
3	1000	10	5000	800	250	60	0,0006	0,000375	0,0200	1,456
4	1500	15	7500	800	250	75	0,00075	0,000469	0,0250	2,152
5	2000	20	10000	800	250	90	0,0009	0,000563	0,0300	2,849
6	2500	25	12500	800	250	111	0,00111	0,000694	0,0370	3,546
7	3000	30	15000	800	250	130	0,0013	0,000813	0,0433	4,242
8	3500	35	17500	800	250	169	0,00169	0,001056	0,0563	4,939
9	4000	40	20000	800	250	190	0,0019	0,001188	0,0633	5,635
10	4500	45	22500	800	250	220	0,0022	0,001375	0,0733	6,254
11	5000	50	25000	800	250	242	0,00242	0,001513	0,0807	6,874
12	5500	55	27500	800	250	266	0,00266	0,001663	0,0887	7,493
13	6000	60	30000	800	250	285	0,00285	0,001781	0,0950	8,112
14	6500	65	32500	800	250	308	0,00308	0,001925	0,1027	8,731
15	7000	70	35000	800	250	328	0,00328	0,002050	0,1093	9,351
16	7500	75	37500	800	250	350	0,0035	0,002188	0,1167	9,970
17	8000	80	40000	800	250	361	0,00361	0,002256	0,1203	10,589
18	8500	85	42500	800	250	380	0,0038	0,002375	0,1267	11,184
19	9000	90	45000	800	250	403	0,00403	0,002519	0,1343	11,809
20	9500	95	47500	800	250	425	0,00425	0,002656	0,1417	12,374
21	10000	100	50000	800	250	450	0,0045	0,002813	0,1500	12,969
22	10250	102,5	51250	800	250	518	0,00518	0,003238	0,1727	13,266
23	10500	105	52500	800	250	625	0,00625	0,003906	0,2083	13,564
24	11000	110	55000	800	250	645	0,00645	0,004031	0,2150	14,159
25	11500	115	57500	800	250	695	0,00695	0,004344	0,2317	14,754
26	11500	115	57500	800	250	750	0,0075	0,004688	0,2500	14,754
27	11700	117	58500	800	250	775	0,00775	0,004844	0,2583	14,992
28	12000	120	60000	800	250	886	0,00886	0,005538	0,2953	15,349
29	12100	121	60500	800	250	1099	0,01099	0,006869	0,3663	15,475
30	12100	121	60500	800	250	1180	0,0118	0,007375	0,3933	15,475
31	12050	120,5	60250	800	250	1298	0,01298	0,008113	0,4327	15,412
32	12000	120	60000	800	250	1311	0,01311	0,008194	0,4370	15,349
33	11600	116	58000	800	250	1340	0,0134	0,008375	0,4467	14,873
34	11400	114	57000	800	250	1439	0,01439	0,008994	0,4797	14,635
35	11200	112	56000	800	250	1541	0,01541	0,009631	0,5137	14,397
36	11000	110	55000	800	250	1633	0,01633	0,010206	0,5443	14,159
37	10500	105	52500	800	250	1730	0,0173	0,010813	0,5767	13,564
38	10000	100	50000	800	250	1755	0,01755	0,010969	0,5850	12,969

Lampiran F11



LAMPIRAN G

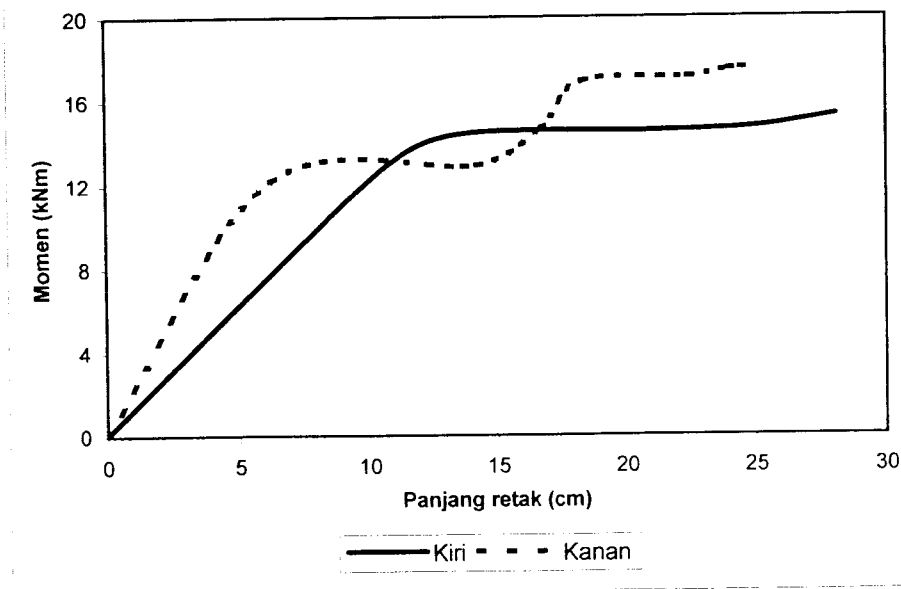
*Data dan Grafik Hubungan Momen-Panjang
Retak Hasil Pengujian*

Lampiran G1

Tabel Momen-Panjang retak pada balok BN1

No retak	KIRI			No retak	KANAN		
	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak (cm)		Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak
1	0	0,067	0	1	0	0,067	0
	9700	12,192	10		7000	8,817	7
	11450	14,379	13,3		8000	10,067	9,3
	11600	14,567	21		8900	11,192	12,5
	11750	14,754	25		10350	13,004	16,4
	12200	15,317	28,1		0	0,067	0
2	0	0,067	0	2	9700	12,192	6,2
	7000	8,817	10		10300	12,942	14,2
	8900	11,192	16,4		11700	14,692	16,7
	11800	14,817	22,1		13500	16,942	18,3
	11850	14,879	23,6		13650	17,129	22,4
	0	0,067	0		13950	17,504	24
3	7700	9,692	4,2	3	14000	17,567	24,8
	8000	10,067	7,9		0	0,067	0
	9300	11,692	15,1		7700	9,692	11,5
	10550	13,254	11,6		9700	12,192	15
4	0	0,067	0	4	11600	14,567	18,2
	16400	20,567	11,5		16400	20,567	23,9
5	0	0,067	0	4	0	0,067	0
	9000	11,317	12,7		7000	8,817	10
	11150	14,004	15,9		10550	13,254	15,2
	11850	14,879	19,6		14000	17,567	20,4
	13250	16,629	21,6		14500	18,192	22,9
6	0	0,067	0	4	15000	18,817	24,4
	7000	8,817	10				
	10550	13,254	15,2				
	14000	17,567	20,4				
	14500	18,192	22,9				
	15000	18,817	24,4				

Grafik Momen-Panjang retak BN1

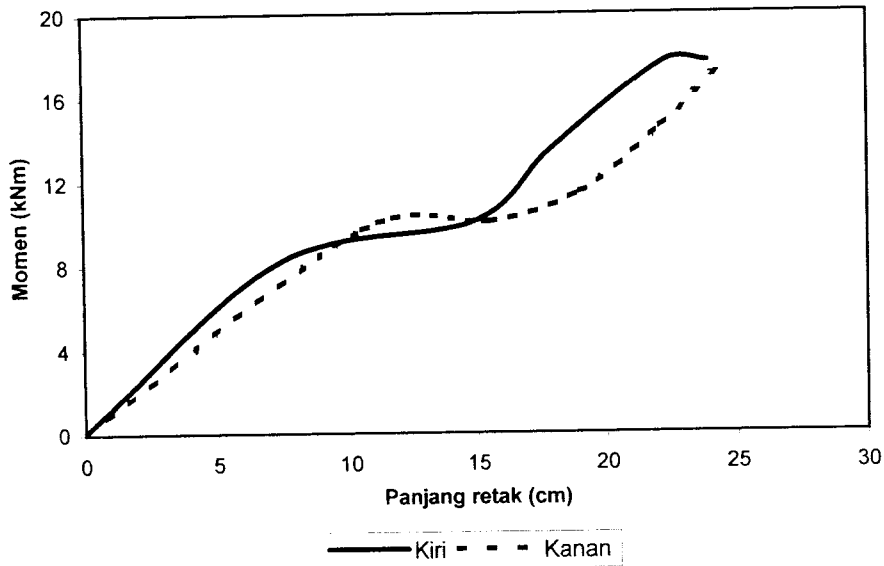


Lampiran G2

Tabel Momen-Panjang retak pada balok BN2

No retak	KIRI			No retak	KANAN		
	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak (cm)		Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak
1	0	0,073	0	1	0	0,073	0
	8825	11,104	8,5		8100	10,198	9,7
2	0	0,073	0	2	9400	11,823	13,9
	7750	9,761	7		13050	16,386	20,1
	8350	10,511	11,5		14100	17,698	23,8
	9100	11,448	18,6		0	0,073	0
	13050	16,386	21,6		9100	11,448	6,7
3	0	0,073	0	3	11575	14,542	9,2
	6500	8,198	7,4		0	0,073	0
	8000	10,073	14,9		7700	9,698	13
	10750	13,511	17,9		8825	11,104	16,1
	14075	17,667	22,2		11200	14,073	19,6
4	14100	17,698	23,9	4	0	0,073	0
	0	0,073	0		7700	9,698	10,5
	11200	14,073	6,5		8000	10,073	15,5
5	0	0,073	0	5	9100	11,448	19
	7350	9,261	5,8		11575	14,542	22,1
	8825	11,104	18,3		14225	17,854	24,7
	11925	14,979	20,1		0	0,073	0
	13050	16,386	22,2		9500	11,948	9,2
	13350	16,761	23,4		12000	15,073	12,3

Grafik Momen-Panjang retak BN2

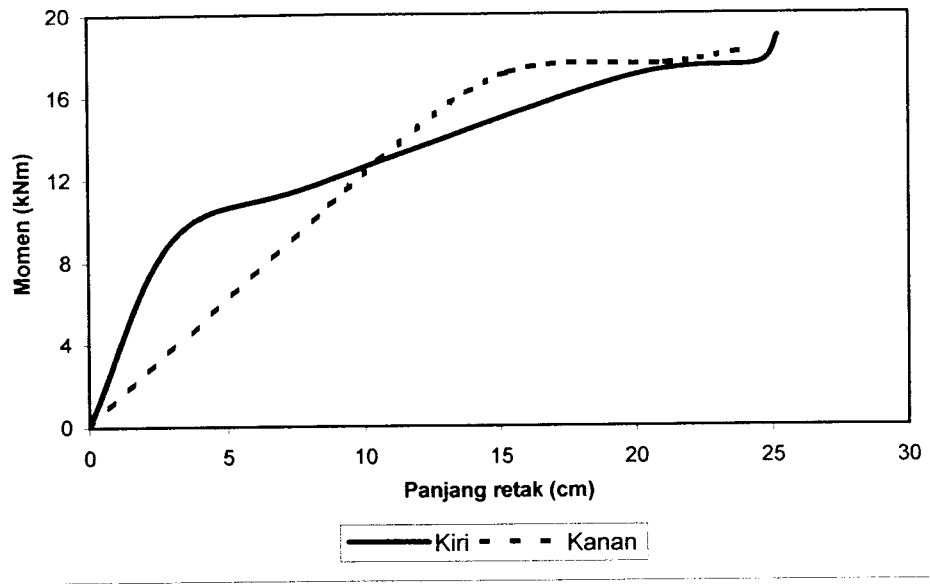


Lampiran G3

Tabel Momen-Panjang retak pada balok BP10-1

KIRI				KANAN			
No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak (cm)	No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak
1	0	0,068	0	1	0	0,068	0
	11000	13,818	5		8500	10,693	12,6
	11500	14,443	26,4		10250	12,881	16,5
	12300	15,443	29,65		14000	17,568	21,7
2	0	0,068	0	2	14020	17,593	24,7
	12700	15,943	3,9		0	0,068	0
3	0	0,068	0	2	6500	8,193	6,6
	8000	10,068	1,9		7300	9,193	15
	9300	11,693	10,9		8500	10,693	19,8
	10500	13,193	15,4		15000	18,818	28,3
4	0	0,068	0	3	16700	20,943	30,8
	12200	15,318	11,7		0	0,068	0
	13700	17,193	22,5		14450	18,131	8,5
5	15100	18,943	24,3	4	15600	19,568	12,5
	0	0,068	0		0	0,068	0
	9300	11,693	5,7		13450	16,881	16,1
	13350	16,756	8,8		15650	19,631	21,9
6	16750	21,006	18,7	5	0	0,068	0
	0	0,068	0		16750	21,006	16,1
	12700	15,943	13,4		0	0,068	0
7	13350	16,756	23,9	6	13850	17,381	9,9
	15350	19,256	29,5		0	0,068	0
	0	0,068	0		11500	14,443	4,4
8	13000	16,318	6,5	7	13000	16,318	9,6
	0	0,068	0		13300	16,693	18
9	7300	9,193	3,1	8	14950	18,756	22,4
	9300	11,693	8,1		0	0,068	0
	13450	16,881	19,6		10700	13,443	4,3
	14000	17,568	24,5		0	0,068	0
	15050	18,881	25,2		10250	12,881	10,5
10	0	0,068	0	9	13650	17,131	15,3
	13600	17,068	11		14000	17,568	21,1
	16750	21,006	19,2		14450	18,131	23,9
10	0	0,068	0				
	10700	13,443	6,1				
	16150	20,256	9				

Grafik Momen-Panjang retak BP10-1

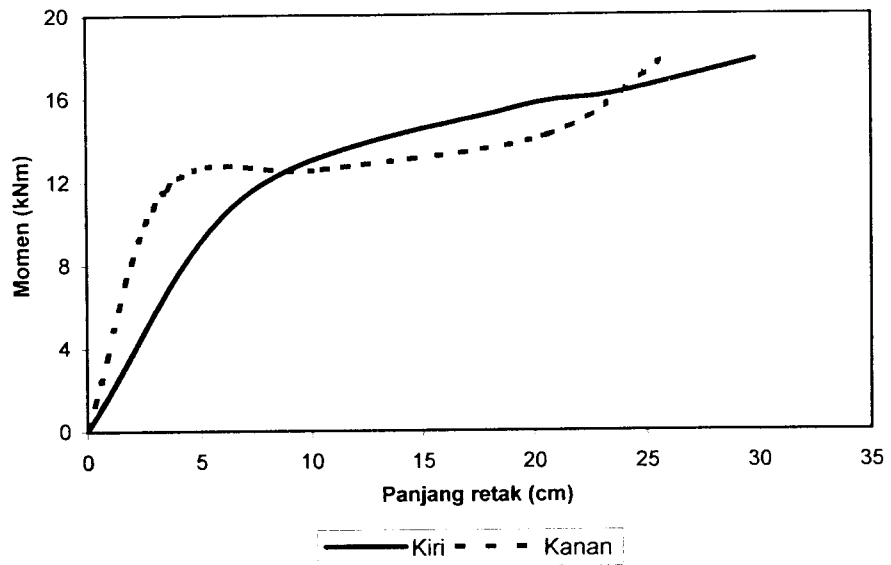


Lampiran G4

Tabel Momen-Panjang retak pada balok BP10-2

KIRI				KANAN			
No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak (cm)	No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak
1	0	0,067	0	1	0	0,067	0
	12325	15,473	8,3		9100	11,442	4,2
2	0	0,067	0	2	12900	16,192	22,8
	10950	13,754	4,6		15200	19,067	26,3
	12300	15,442	11,2		0	0,067	0
	12250	15,379	18,7		9600	12,067	5,5
3	12300	15,442	25,1	3	10600	13,317	12,8
	0	0,067	0		15350	19,254	24,4
4	13750	17,254	6,1	4	0	0,067	0
	0	0,067	0		9300	11,692	3,5
	8200	10,317	6		10000	12,567	10,5
	11500	14,442	14,5		11300	14,192	20,6
	13200	16,567	23,2		14250	17,879	25,8
5	15200	19,067	26,3	5	0	0,067	0
	0	0,067	0		11300	14,192	20
	10100	12,692	5,1		11700	14,692	23,2
	10600	13,317	14,6		12250	15,379	27,7
6	11700	14,692	17,6	6	13750	17,254	29,9
	0	0,067	0		14100	17,692	32,1
7	8000	10,067	4,4	7	0	0,067	0
	12900	16,192	9,3		11500	14,442	17,5
	0	0,067	0		0	0,067	0
	9000	11,317	7		13850	17,379	15,3
	12325	15,473	19		0	0,067	0
8	12900	16,192	23,5	8	11300	14,192	21,9
	14200	17,817	29,8		13900	17,442	25,4
	14650	18,379	28,7		14500	18,192	29,7
	0	0,067	0		0	0,067	0
9	13150	16,504	5	9	9500	11,942	8
	13150	16,504	15		10000	12,567	12,5
	13200	16,567	17,8		10950	13,754	20,5
10	0	0,067	0	10	11750	14,754	24,3
	8500	10,692	14,5		0	0,067	0
	11000	13,817	18,3		10500	13,192	10,4
	12000	15,067	21,9		11750	14,754	15,8
10	12325	15,473	24,5	10	15350	19,254	23
	0	0,067	0		15500	19,442	27
10	9100	11,442	5,7	10			
	11350	14,254	12,6				

Grafik Momen-Panjang retak BP10-2

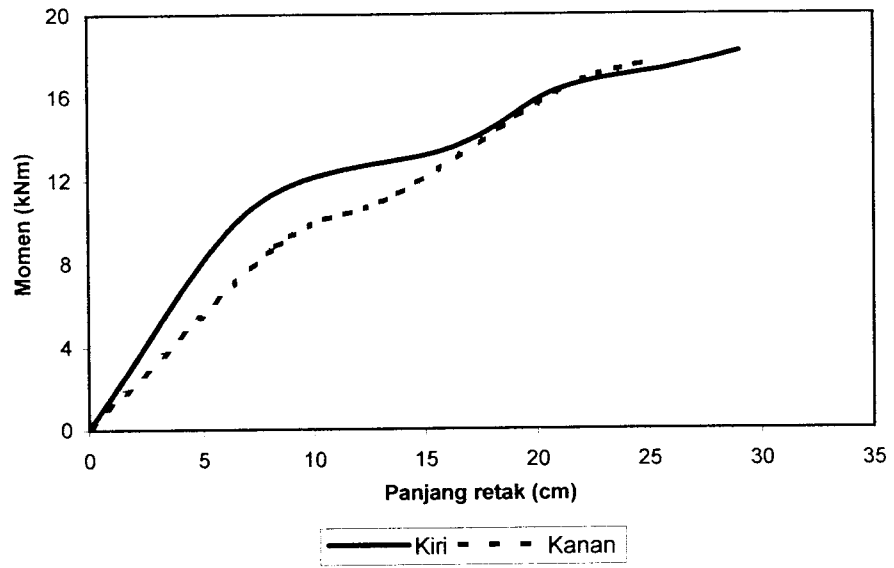


Lampiran G5

Tabel Momen-Panjang retak pada balok BP10-3

KIRI				KANAN			
No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak (cm)	No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak
1	0	0,068	0	1	0	0,068	0
	7700	9,693	5,3		13050	16,380	4,3
	9550	12,005	12		15250	19,130	12,3
	10400	13,068	18	2	0	0,068	0
	14450	18,130	17,7		9000	11,318	3,5
	15350	19,255	20,2		13800	17,318	15,5
2	0	0,068	0	14700	18,443	26	
	14500	18,193	9,7	3	0	0,068	0
3	0	0,068	0		10150	12,755	5
	13050	16,380	9,1		12400	15,568	9,7
4	0	0,068	0	13050	16,380	24	
	8500	10,693	7,3	4	0	0,068	0
	10800	13,568	16,3		10500	13,193	12
	13000	16,318	20,9		13050	16,380	18
	13850	17,380	25,9		13050	16,380	22,7
	14500	18,193	29		5	0	0,068
5	0	0,068	0			7000	8,818
	7000	8,818	6,5	9000		11,318	13,8
	9500	11,943	11,2	13050		16,380	21,2
	12100	15,193	22,7	14000		17,568	24,7
	14000	17,568	24,4	6	0	0,068	0
6	0	0,068	0		6500	8,193	6
	6300	7,943	4,6		8500	10,693	15,2
	7				9500	11,943	20,5
				0	0,068	0	
6500				8,193	6		
14700				18,443	19,5		
8			15000	18,818	22,7		
			0	0,068	0		
			11500	14,443	5,9		
9				0	0,068	0	
				10000	12,568	8,7	
				10400	13,068	29,6	
				10800	13,568	34,8	

Grafik Momen-Panjang retak BP10-3

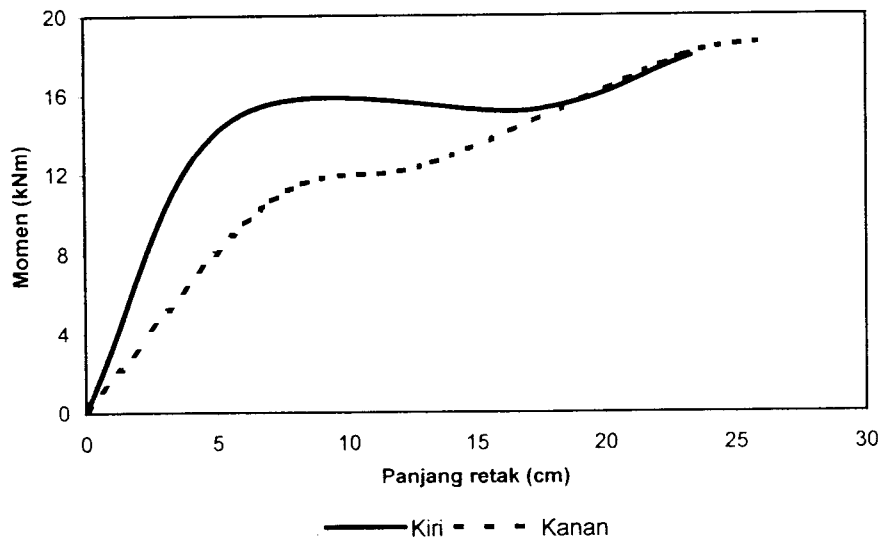


Lampiran G6

Tabel Momen-Panjang retak pada balok BP20-1

KIRI				KANAN			
No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak (cm)	No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak
1	0	0,065	0	1	0	0,065	0
	11750	14,753	5,6		9500	11,940	4
	12150	15,253	17,3		11200	14,065	10,1
	14300	17,940	23,3		12500	15,690	15,1
2	0	0,065	0	2	0	0,065	0
	8000	10,065	9,2		8000	10,065	4,5
	11200	14,065	15,2		9000	11,315	6,7
3	0	0,065	0		10200	12,815	9,8
	14700	18,440	4,9		12600	15,815	12,9
4	0	0,065	0	12800	16,065	14,8	
	8600	10,815	15,5	3	0	0,065	0
	9800	12,315	18,7		8500	10,690	7,1
	11350	14,253	21,4		10000	12,565	13,3
	11500	14,440	24,5		14300	17,940	23
14850	18,628	29,3	14850		18,628	25,8	
5	0	0,065	0	4	0	0,065	0
	12600	15,815	5,6		12650	15,878	11,2
6	0	0,065	0	5	0	0,065	0
	14800	18,565	7		8600	10,815	16,5
7	0	0,065	0		10200	12,815	25,1
	11750	14,753	10,2	13500	16,940	28,6	
	14300	17,940	18,7	6	0	0,065	0
8	0	0,065	0		10500	13,190	14,9
	11200	14,065	7,2	14300	17,940	23,4	
9	0	0,065	0	10	0	0,065	0
	10400	13,065	3		10400	13,065	3
	13500	16,940	6,2		13500	16,940	6,2
10	0	0,065	14,2	13500	16,940	16,7	
	13500	16,940	16,7	14000	17,565	18,3	
	14000	17,565	18,3				

Grafik Momen-Panjang retak BP20-1

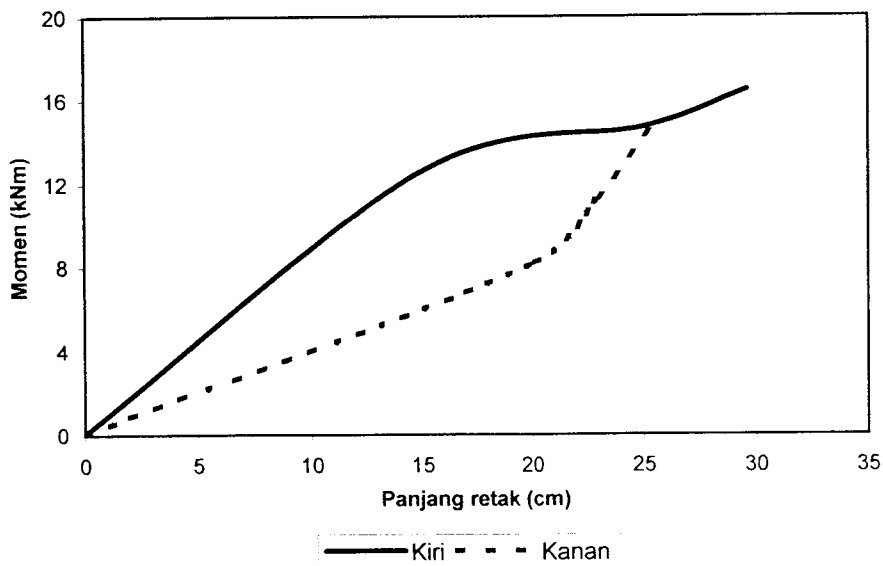


Lampiran G7

Tabel Momen-Panjang retak pada balok BP20-2

No retak	KIRI			No retak	KANAN		
	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak (cm)		Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak
1	0	0,064	0	1	0	0,064	0
	7950	10,002	4,4		7000	8,814	6,3
	11750	14,752	20,9		9150	11,502	21,5
	12700	15,939	25,6	2	0	0,064	0
	13150	16,502	30,2		10050	12,627	15,5
2	0	0,064	0	3	11750	14,752	20,7
	10050	12,627	15		0	0,064	0
	11750	14,752	25,1		11400	14,314	15,7
	13150	16,502	29,6	4	0	0,064	0
3	0	0,064	0		12500	15,689	6,2
	11400	14,314	5,7	5	0	0,064	0
	12300	15,439	18,7		6500	8,189	3,5
4	0	0,064	0	6	0	0,064	0
	7000	8,814	6,4		9000	11,314	14,6
5	0	0,064	0		11400	14,314	20,5
	6500	8,189	20,1	7	0	0,064	0
	9000	11,314	22,9		6000	7,564	3,7
	11750	14,752	25,4		11400	14,314	9,4
6	0	0,064	0	8	0	0,064	0
	6500	8,189	3,6		11000	13,814	13,2
	11500	14,439	20,3	9	0	0,064	0
	13000	16,314	24,4		6500	8,189	20,1
7	0	0,064	0	9000	11,314	22,9	
	10000	12,564	7	11750	14,752	25,4	
	14000	17,564	12,5				
8	0	0,064	0				
	12500	15,689	23,5				
	13000	16,314	34,1				

Grafik Momen-Panjang retak BP20-2

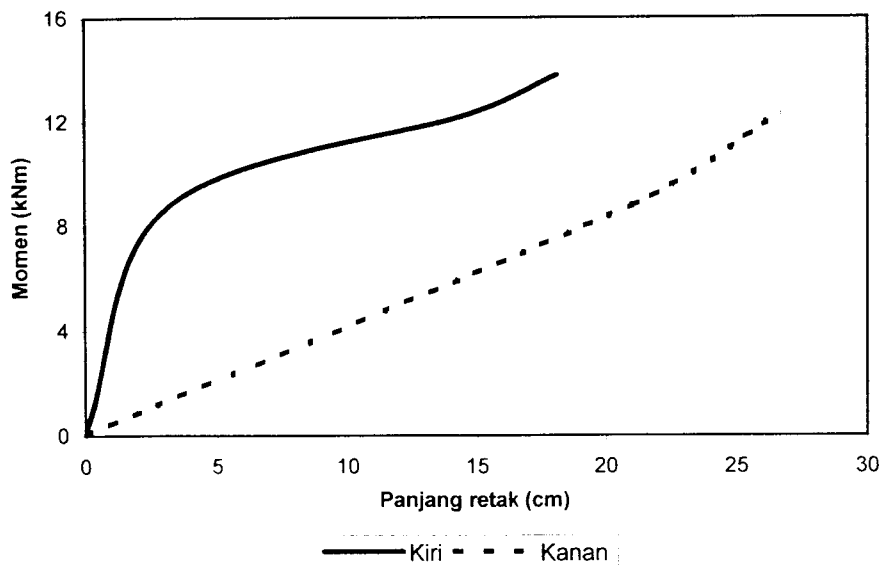


Lampiran G8

Tabel Momen-Panjang retak pada balok BP20-3

KIRI				KANAN			
No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak (cm)	No retak	Beban Kg	Momen KNm	Panjang retak
1	0	0,063	0	1	0	0,063	0
	12000	15,063	5,2		11500	14,438	11
2	0	0,063	0	2	0	0,063	0
	10050	12,625	8		7700	9,688	17,5
	11650	14,625	14,7		10500	13,188	29,3
3	0	0,063	0	3	0	0,063	0
	8800	11,063	5,4		9000	11,313	13,6
4	0	0,063	0	4	0	0,063	0
	10400	13,063	10		12000	15,063	16,1
	11250	14,125	17,8		0	0,063	0
5	0	0,063	0	5	9000	11,313	5
	10500	13,188	24,5		12100	15,188	11
	12100	15,188	36,8		0	0,063	0
6	0	0,063	0	6	12100	15,188	6,4
	7000	8,813	3,2		0	0,063	0
	9800	12,313	14,7		7000	8,813	21
	11000	13,813	18,1		9800	12,313	26,6
7	0	0,063	0	8	0	0,063	0
	6000	7,563	5,4		8500	10,688	6,7
	7000	8,813	15,7		10400	13,063	27,2
	9000	11,313	19,4		12000	15,063	29,4
8	0	0,063	0				
	12100	15,188	15,8				
9	0	0,063	0				
	10250	12,875	26,7				
	10400	13,063	29,7				
	10500	13,188	32,9				
	12400	15,563	35,4				

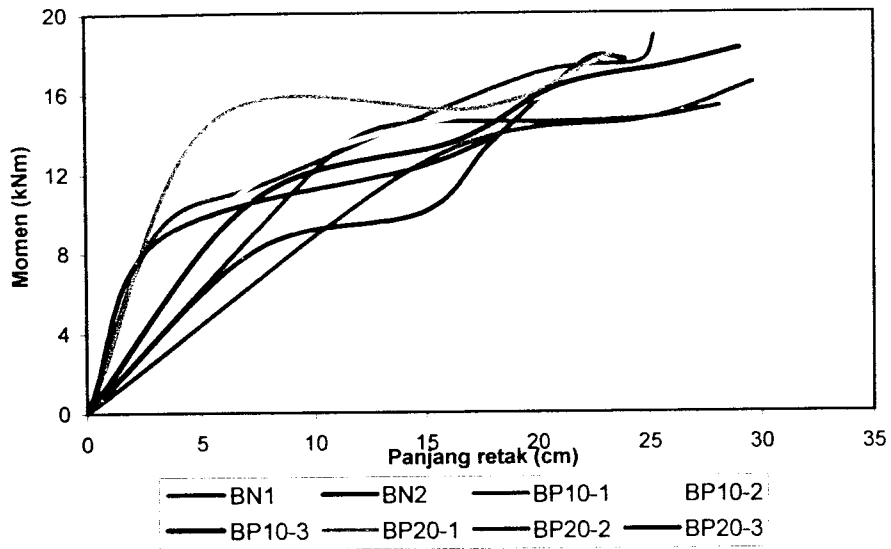
Grafik Momen-Panjang retak BP20-3



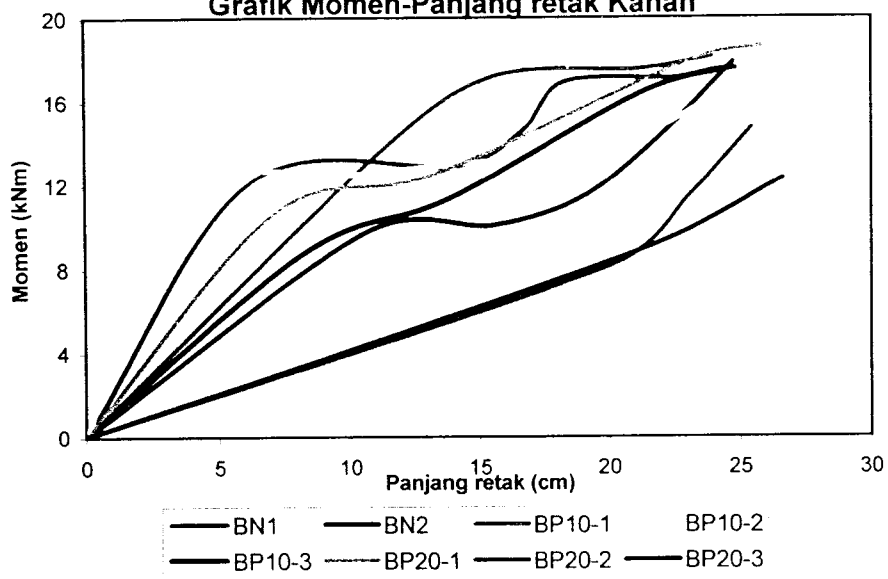
Lampiran G9

Grafik Momen-Panjang retak balok

Grafik Momen-Panjang retak Kiri



Grafik Momen-Panjang retak Kanan



LAMPIRAN H

Kuat Lentur Balok

Lampiran H

Kuat Lentur Balok BN1, BN2, BP10-1, BP10-2, BP10-3, BP20-1, BP20-2, BP20-3

No	Nama Balok	Kuat Lentur Retak pertama (kN/m ²)	Kuat Lentur leleh (kN/m ²)	Kuat Lentur Beban maximum (kN/m ²)	Kuat Lentur retak rerata (kN/m ²)	Kuat Lentur leleh rerata (kN/m ²)	Kuat Lentur ultimit rerata (kN/m ²)	Kuat Lentur Beban max (%)
1	BN-1	9938,83	17197,39	23767,28	9909,41	18182,88	25042,53	100
2	BN-2	9879,98	19168,38	26317,78				
3	BP10-1	9358,45	17862,10	20961,72	10043,41	17740,46	22096,98	88,24
4	BP10-2	11394,31	16920,46	22432,71				
5	BP10-3	9377,46	18438,82	22896,52				
6	BP20-1	11412,61	17422,86	20405,34	9649,49	15900,08	18831,70	75,20
7	BP20-2	8728,80	15874,36	19289,23				
8	BP20-3	8807,07	14403,03	16800,53				

LAMPIRAN I

Kekakuan Balok

Lampiran I1

Kekakuan Balok Normal 1

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	1/2 L (mm)	a (mm)	Lendutan 10^{-2} (mm)	((°)	Momen KNm	Kekakuan
1	0	0	0	400	250	0	0	0	0
2	500	5	2500	400	250	15	0,02	0,763	35,528
3	1000	10	5000	400	250	25	0,04	1,460	40,769
4	1500	15	7500	400	250	35	0,05	2,156	43,014
5	2000	20	10000	400	250	45	0,06	2,853	44,262
6	2500	25	12500	400	250	60	0,09	3,550	41,305
7	3000	30	15000	400	250	70	0,10	4,246	42,348
8	3500	35	17500	400	250	82	0,12	4,943	42,081
9	4000	40	20000	400	250	91	0,13	5,639	43,263
10	4500	45	22500	400	250	107	0,15	6,259	40,834
11	5000	50	25000	400	250	116	0,17	6,878	41,393
12	5500	55	27500	400	250	129	0,18	7,497	40,573
13	6000	60	30000	400	250	139	0,20	8,116	40,764
14	6500	65	32500	400	250	150	0,21	8,735	40,657
15	7000	70	35000	400	250	164	0,23	9,355	39,822
16	7500	75	37500	400	250	178	0,25	9,974	39,118
17	8000	80	40000	400	250	192	0,28	10,593	38,518
18	8500	85	42500	400	250	204	0,29	11,188	38,288
19	9000	90	45000	400	250	227	0,33	11,813	36,331
20	9500	95	47500	400	250	240	0,34	12,378	36,007
21	10000	100	50000	400	250	252	0,36	12,973	35,941
22	10500	105	52500	400	250	272	0,39	13,568	34,825
23	11000	110	55000	400	250	282	0,40	14,163	35,063
24	11500	115	57500	400	250	306	0,44	14,758	33,671
25	11800	118	59000	400	250	336	0,48	15,115	31,406
26	11800	118	59000	400	250	354	0,51	15,115	29,810
27	11800	118	59000	400	250	362	0,52	15,115	29,151
28	11800	118	59000	400	250	370	0,53	15,115	28,521
29	12000	120	60000	400	250	392	0,56	15,353	27,344
30	12500	125	62500	400	250	417	0,60	15,982	26,758
31	13000	130	65000	400	250	438	0,63	16,611	26,478
32	13500	135	67500	400	250	505	0,72	17,240	23,835
33	13900	139	69500	400	250	604	0,87	17,743	20,510
34	14000	140	70000	400	250	678	0,97	17,869	18,402
35	14500	145	72500	400	250	688	0,99	18,498	18,773
36	15500	155	77500	400	250	695	1,00	19,756	19,847
37	16400	164	82000	400	250	1200	1,72	20,889	12,157

Lampiran I2

Kekakuan Balok Normal 2

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	1/2 L (mm)	a (mm)	Lendutan 10^{-2} (mm)	((°)	Momen KNm	Kekakuan
1	0	0	0	400	250	0	0	0	0
2	250	2,5	1250	400	250	43	0,06	0,438	7,108
3	500	5	2500	400	250	70	0,10	0,803	8,007
4	750	7,5	3750	400	250	84	0,12	1,167	9,701
5	1000	10	5000	400	250	100	0,14	1,532	10,695
6	1250	12,5	6250	400	250	125	0,18	1,897	10,592
7	1500	15	7500	400	250	138	0,20	2,261	11,440
8	1750	17,5	8750	400	250	150	0,21	2,626	12,222
9	2000	20	10000	400	250	165	0,24	2,991	12,654
10	2250	22,5	11250	400	250	185	0,26	3,297	12,443
11	2500	25	12500	400	250	195	0,28	3,604	12,903
12	2750	27,5	13750	400	250	210	0,30	3,911	13,001
13	3000	30	15000	400	250	220	0,32	4,218	13,384
14	3250	32,5	16250	400	250	235	0,34	4,524	13,441
15	3500	35	17500	400	250	246	0,35	4,831	13,710
16	3750	37,5	18750	400	250	256	0,37	5,138	14,011
17	4000	40	20000	400	250	267	0,38	5,444	14,236
18	4250	42,5	21250	400	250	275	0,39	5,725	14,534
19	4500	45	22500	400	250	284	0,41	6,036	14,837
20	4750	47,5	23750	400	250	294	0,42	6,346	15,070
21	5000	50	25000	400	250	300	0,43	6,657	15,492
22	5250	52,5	26250	400	250	310	0,44	6,968	15,691
23	5500	55	27500	400	250	320	0,46	7,278	15,879
24	5750	57,5	28750	400	250	330	0,47	7,589	16,055
25	6000	60	30000	400	250	340	0,49	7,899	16,220
26	6250	62,5	31250	400	250	350	0,50	8,227	16,410
27	6500	65	32500	400	250	364	0,52	8,554	16,406
28	6750	67,5	33750	400	250	371	0,53	8,881	16,712
29	7000	70	35000	400	250	383	0,55	9,208	16,785
30	7250	72,5	36250	400	250	395	0,57	9,535	16,853
31	7500	75	37500	400	250	406	0,58	9,863	16,960
32	7750	77,5	38750	400	250	420	0,60	10,190	16,938
33	8000	80	40000	400	250	429	0,61	10,517	17,115
34	8250	82,5	41250	400	250	435	0,62	10,874	17,452
35	8500	85	42500	400	250	446	0,64	11,188	17,513
36	8750	87,5	43750	400	250	452	0,65	11,501	17,765
37	9000	90	45000	400	250	461	0,66	11,815	17,894
38	9250	92,5	46250	400	250	470	0,67	12,129	18,017
39	9500	95	47500	400	250	478	0,68	12,443	18,174
40	9750	97,5	48750	400	250	485	0,69	12,757	18,364
41	10000	100	50000	400	250	495	0,71	13,071	18,435
42	10250	102,5	51250	400	250	502	0,72	13,349	18,566
43	10500	105	52500	400	250	509	0,73	13,628	18,692
44	10750	107,5	53750	400	250	515	0,74	13,906	18,852
45	11000	110	55000	400	250	526	0,75	14,184	18,827
46	11250	112,5	56250	400	250	539	0,77	14,463	18,734
47	11500	115	57500	400	250	550	0,79	14,741	18,713
48	11750	117,5	58750	400	250	560	0,80	15,020	18,726
49	12000	120	60000	400	250	570	0,82	15,298	18,738
50	12150	121,5	60750	400	250	578	0,83	15,548	18,781
51	12250	122,5	61250	400	250	583	0,84	15,596	18,678
52	12500	125	62500	400	250	588	0,84	15,909	18,890
53	12750	127,5	63750	400	250	598	0,86	16,221	18,938
54	13000	130	65000	400	250	613	0,88	16,533	18,831
55	13050	130,5	65250	400	250	647	0,93	16,595	17,909

56	13050	130,5	65250	400	250	659	0,94	16,595	17,583
57	13250	132,5	66250	400	250	668	0,96	16,845	17,607
58	13350	133,5	66750	400	250	710	1,02	16,970	16,688
59	13500	135	67500	400	250	720	1,03	17,157	16,638
60	13750	137,5	68750	400	250	746	1,07	17,470	16,351
61	14000	140	70000	400	250	765	1,10	17,782	16,230
62	14075	140,75	70375	400	250	835	1,20	17,872	14,945
63	14250	142,5	71250	400	250	925	1,32	18,084	13,651
64	14225	142,25	71125	400	250	960	1,37	18,009	13,099
65	14250	142,5	71250	400	250	1006	1,44	18,084	12,552
66	14500	145	72500	400	250	1068	1,53	18,386	12,021
67	15850	158,5	79250	400	250	1150	1,65	20,203	12,268
68	17900	179	89500	400	250	2250	3,22	22,785	7,077
69	18400	184	92000	400	250	2350	3,36	23,415	6,964

Lampiran I3

Kekakuan Balok Pori 10% - 1

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	1/2 L (mm)	a (mm)	Lendutan 10^{-2} (mm)	(θ) ($^{\circ}$)	Momen KNm	Kekakuan
1	0	0	0	400	250	0	0	0	0
2	500	5	2500	400	250	60	0,09	0,765	8,897
3	1000	10	5000	400	250	90	0,13	1,461	11,335
4	1500	15	7500	400	250	115	0,16	2,158	13,099
5	2000	20	10000	400	250	139	0,20	2,854	14,336
6	2500	25	12500	400	250	165	0,24	3,551	15,026
7	3000	30	15000	400	250	184	0,26	4,247	16,116
8	3500	35	17500	400	250	200	0,29	4,944	17,258
9	4000	40	20000	400	250	218	0,31	5,641	18,064
10	4500	45	22500	400	250	240	0,34	6,260	18,209
11	5000	50	25000	400	250	260	0,37	6,879	18,471
12	5500	55	27500	400	250	275	0,39	7,498	19,036
13	6000	60	30000	400	250	292	0,42	8,117	19,408
14	6500	65	32500	400	250	310	0,44	8,737	19,676
15	7000	70	35000	400	250	333	0,48	9,356	19,615
16	7500	75	37500	400	250	350	0,50	9,975	19,898
17	8000	80	40000	400	250	370	0,53	10,594	19,990
18	8500	85	42500	400	250	385	0,55	11,189	20,291
19	9000	90	45000	400	250	405	0,58	11,814	20,366
20	9500	95	47500	400	250	426	0,61	12,379	20,288
21	10000	100	50000	400	250	439	0,63	12,974	20,634
22	10500	105	52500	400	250	478	0,68	13,569	19,819
23	11000	110	55000	400	250	492	0,70	14,164	20,100
24	11500	115	57500	400	250	510	0,73	14,759	20,205
25	12000	120	60000	400	250	530	0,76	15,354	20,226
26	12500	125	62500	400	250	550	0,79	15,983	20,290
27	13000	130	65000	400	250	578	0,83	16,612	20,067
28	13050	130,5	65250	400	250	620	0,89	16,675	18,778
29	13050	130,5	65250	400	250	655	0,94	16,675	17,775
30	13250	132,5	66250	400	250	728	1,04	16,927	16,234
31	13500	135	67500	400	250	793	1,14	17,242	15,181
32	14000	140	70000	400	250	865	1,24	17,871	14,425
33	14450	144,5	72250	400	250	965	1,38	18,437	13,341
34	14500	145	72500	400	250	992	1,42	18,500	13,022
35	14700	147	73500	400	250	1056	1,51	18,751	12,399
36	15350	153,5	76750	400	250	1195	1,71	19,569	11,436
37	15350	153,5	76750	400	250	1255	1,80	19,569	10,889

Lampiran I4

Kekakuan Balok Pori 10% - 2

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	1/2 L (mm)	a (mm)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	((°)	Momen KNm	Kekakuan
1	0	0	0	400	250	0	0	0	0
2	500	5	2500	400	250	130	0,19	0,763	4,098
3	1000	10	5000	400	250	170	0,24	1,460	5,995
4	1500	15	7500	400	250	198	0,28	2,156	7,603
5	2000	20	10000	400	250	230	0,33	2,853	8,659
6	2500	25	12500	400	250	275	0,39	3,550	9,012
7	3000	30	15000	400	250	300	0,43	4,246	9,881
8	3500	35	17500	400	250	320	0,46	4,943	10,783
9	4000	40	20000	400	250	355	0,51	5,639	11,090
10	4500	45	22500	400	250	392	0,56	6,258	11,146
11	5000	50	25000	400	250	415	0,59	6,878	11,570
12	5500	55	27500	400	250	438	0,63	7,497	11,950
13	6000	60	30000	400	250	458	0,66	8,116	12,372
14	6500	65	32500	400	250	480	0,69	8,735	12,705
15	7000	70	35000	400	250	502	0,72	9,354	13,010
16	7500	75	37500	400	250	525	0,75	9,974	13,263
17	8000	80	40000	400	250	550	0,79	10,593	13,447
18	8500	85	42500	400	250	568	0,81	11,188	13,752
19	9000	90	45000	400	250	591	0,85	11,813	13,955
20	9500	95	47500	400	250	615	0,88	12,378	14,052
21	10000	100	50000	400	250	636	0,91	12,973	14,241
22	10500	105	52500	400	250	662	0,95	13,568	14,310
23	11000	110	55000	400	250	690	0,99	14,163	14,331
24	11500	115	57500	400	250	711	1,02	14,758	14,492
25	12000	120	60000	400	250	748	1,07	15,353	14,331
26	12100	121	60500	400	250	763	1,09	15,479	14,164
27	12250	122,5	61250	400	250	773	1,11	15,667	14,152
28	12300	123	61500	400	250	791	1,13	15,730	13,885
29	12300	123	61500	400	250	815	1,17	15,730	13,476
30	12325	123,25	61625	400	250	830	1,19	15,759	13,257
31	12400	124	62000	400	250	845	1,21	15,856	13,102
32	12500	125	62500	400	250	856	1,23	15,982	13,036
33	12700	127	63500	400	250	879	1,26	16,234	12,895
34	12800	128	64000	400	250	901	1,29	16,359	12,678
35	12900	129	64500	400	250	940	1,35	16,485	12,246
36	12900	129	64500	400	250	1030	1,48	16,485	11,176
37	13000	130	65000	400	250	1045	1,50	16,611	11,100
38	13150	131,5	65750	400	250	1085	1,55	16,800	10,812
39	13200	132	66000	400	250	1148	1,64	16,863	10,257
40	13450	134,5	67250	400	250	1205	1,73	17,177	9,955
41	13500	135	67500	400	250	1213	1,74	17,240	9,925
42	13650	136,5	68250	400	250	1255	1,80	17,429	9,698
43	13800	138	69000	400	250	1310	1,88	17,617	9,392
44	13850	138,5	69250	400	250	1350	1,93	17,680	9,147
45	14000	140	70000	400	250	1399	2,00	17,869	8,921
46	14100	141	70500	400	250	1455	2,08	17,995	8,638
47	14250	142,5	71250	400	250	1520	2,18	18,184	8,356
48	14500	145	72500	400	250	1520	2,18	18,498	8,500
49	14750	147,5	73750	400	250	1605	2,30	18,813	8,187
50	15000	150	75000	400	250	1680	2,41	19,127	7,953
51	15200	152	76000	400	250	1740	2,49	19,379	7,780
52	15350	153,5	76750	400	250	1850	2,65	19,568	7,389
53	15500	155	77500	400	250	1999	2,86	19,756	6,905
54	15950	159,5	79750	400	250	2105	3,01	20,322	6,746
55	16000	160	80000	400	250	2210	3,16	20,385	6,446
56	16100	161	80500	400	250	2206	3,16	20,511	6,498
57	16375	163,75	81875	400	250	2396	3,43	20,855	6,084
58	16370	163,7	81850	400	250	2736	3,91	20,849	5,328

Lampiran I5

Kekakuan Balok Pori 10% - 3

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	1/2 L (mm)	a (mm)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	θ (°)	Momen KNm	Kekakuan
1	0	0	0	400	250	0	0	0	0
2	500	5	2500	400	250	205	0,29	0,764	2,603
3	1000	10	5000	400	250	250	0,36	1,461	4,080
4	1500	15	7500	400	250	275	0,39	2,158	5,477
5	2000	20	10000	400	250	300	0,43	2,854	6,642
6	2500	25	12500	400	250	335	0,48	3,551	7,400
7	3000	30	15000	400	250	358	0,51	4,247	8,283
8	3500	35	17500	400	250	385	0,55	4,944	8,965
9	4000	40	20000	400	250	405	0,58	5,640	9,723
10	4500	45	22500	400	250	428	0,61	6,260	10,211
11	5000	50	25000	400	250	443	0,63	6,879	10,841
12	5500	55	27500	400	250	458	0,66	7,498	11,430
13	6000	60	30000	400	250	477	0,68	8,117	11,881
14	6500	65	32500	400	250	495	0,71	8,736	12,322
15	7000	70	35000	400	250	512	0,73	9,356	12,757
16	7500	75	37500	400	250	534	0,76	9,975	13,042
17	8000	80	40000	400	250	555	0,79	10,594	13,327
18	8500	85	42500	400	250	569	0,81	11,189	13,729
19	9000	90	45000	400	250	590	0,85	11,814	13,980
20	9500	95	47500	400	250	610	0,87	12,379	14,169
21	10000	100	50000	400	250	628	0,90	12,974	14,424
22	10500	105	52500	400	250	648	0,93	13,569	14,620
23	11000	110	55000	400	250	673	0,96	14,164	14,694
24	11500	115	57500	400	250	692	0,99	14,759	14,891
25	12000	120	60000	400	250	715	1,02	15,354	14,993
26	12500	125	62500	400	250	740	1,06	15,983	15,081
27	13000	130	65000	400	250	760	1,09	16,612	15,262
28	13450	134,5	67250	400	250	803	1,15	17,178	14,937
29	13450	134,5	67250	400	250	816	1,17	17,178	14,699
30	13500	135	67500	400	250	842	1,21	17,241	14,297
31	13650	136,5	68250	400	250	869	1,24	17,430	14,005
32	13700	137	68500	400	250	886	1,27	17,493	13,786
33	13700	137	68500	400	250	915	1,31	17,493	13,349
34	13700	137	68500	400	250	955	1,37	17,493	12,790
35	13900	139	69500	400	250	980	1,40	17,745	12,643
36	13900	139	69500	400	250	998	1,43	17,745	12,415
37	14000	140	70000	400	250	1018	1,46	17,870	12,258
38	14000	140	70000	400	250	1045	1,50	17,870	11,941
39	14400	144	72000	400	250	1122	1,61	18,374	11,435
40	14450	144,5	72250	400	250	1156	1,66	18,436	11,137
41	14500	145	72500	400	250	1184	1,70	18,499	10,911
42	14800	148	74000	400	250	1218	1,74	18,877	10,823
43	14950	149,5	74750	400	250	1350	1,93	19,066	9,863
44	15000	150	75000	400	250	1385	1,98	19,128	9,646
45	15350	153,5	76750	400	250	1430	2,05	19,569	9,558
46	15500	155	77500	400	250	1457	2,09	19,758	9,471
47	15600	156	78000	400	250	1495	2,14	19,883	9,289
48	15850	158,5	79250	400	250	1548	2,22	20,198	9,114
49	16000	160	80000	400	250	1592	2,28	20,387	8,945
50	16100	161	80500	400	250	1632	2,34	20,512	8,779
51	16150	161,5	80750	400	250	1696	2,43	20,576	8,475
52	16500	165	82500	400	250	1835	2,63	21,016	8,001
53	16600	166	83000	400	250	1845	2,64	21,142	8,006
54	16750	167,5	83750	400	250	1985	2,84	21,331	7,508
55	16750	167,5	83750	400	250	2065	2,96	21,331	7,218

56	16750	167,5	83750	400	250	2098	3,00	21,331	7,105
57	16500	165	82500	400	250	2140	3,06	21,016	6,863
58	16500	165	82500	400	250	2185	3,13	21,016	6,722
59	16400	164	82000	400	250	2225	3,18	20,890	6,561
60	16300	163	81500	400	250	2233	3,20	20,764	6,499
61	16200	162	81000	400	250	2240	3,21	20,764	6,478
62	16100	161	80500	400	250	2250	3,22	20,512	6,371
63	15000	150	75000	400	250	2265	3,24	19,128	5,902
64	14650	146,5	73250	400	250	2334	3,34	18,688	5,596
65	14650	146,5	73250	400	250	2395	3,43	18,688	5,454

Lampiran I6

Kekakuan Balok Pori 20% - 1

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	1/2 L (mm)	a (mm)	Lendutan 10^2 (mm)	((°)	Momen KNm	Kekakuan
1	0	0	0	400	250	0	0	0	0
2	500	5	2500	400	250	60	0,09	0,762	8,863
3	1000	10	5000	400	250	81	0,12	1,458	12,569
4	1500	15	7500	400	250	96	0,14	2,155	15,670
5	2000	20	10000	400	250	110	0,16	2,851	18,097
6	2500	25	12500	400	250	125	0,18	3,548	19,817
7	3000	30	15000	400	250	140	0,20	4,245	21,166
8	3500	35	17500	400	250	159	0,23	4,941	21,695
9	4000	40	20000	400	250	171	0,24	5,638	23,017
10	4500	45	22500	400	250	195	0,28	6,257	22,401
11	5000	50	25000	400	250	210	0,30	6,876	22,859
12	5500	55	27500	400	250	230	0,33	7,495	22,751
13	6000	60	30000	400	250	245	0,35	8,115	23,123
14	6500	65	32500	400	250	260	0,37	8,734	23,452
15	7000	70	35000	400	250	286	0,41	9,353	22,831
16	7500	75	37500	400	250	303	0,43	9,972	22,977
17	8000	80	40000	400	250	320	0,46	10,591	23,107
18	8500	85	42500	400	250	335	0,48	11,186	23,313
19	9000	90	45000	400	250	360	0,52	11,811	22,906
20	9500	95	47500	400	250	380	0,54	12,376	22,738
21	10000	100	50000	400	250	396	0,57	12,971	22,869
22	10500	105	52500	400	250	420	0,60	13,566	22,551
23	11000	110	55000	400	250	435	0,62	14,161	22,729
24	11500	115	57500	400	250	455	0,65	14,756	22,643
25	12000	120	60000	400	250	475	0,68	15,351	22,564
26	12500	125	62500	400	250	495	0,71	15,980	22,539
27	12650	126,5	63250	400	250	513	0,73	16,169	22,006
28	12800	128	64000	400	250	600	0,86	16,358	19,035
29	13000	130	65000	400	250	620	0,89	16,610	18,704
30	13350	133,5	66750	400	250	700	1,00	17,050	17,006
31	13500	135	67500	400	250	735	1,05	17,239	16,376
32	14000	140	70000	400	250	765	1,10	17,868	16,308
33	14300	143	71500	400	250	855	1,22	18,245	14,900
34	14500	145	72500	400	250	935	1,34	18,497	13,813
35	14850	148,5	74250	400	250	1010	1,45	18,937	13,092
36	14850	148,5	74250	400	250	1095	1,57	18,937	12,077
37	14700	147	73500	400	250	1115	1,60	18,748	11,742
38	14700	147	73500	400	250	1275	1,83	18,748	10,269
39	14500	145	72500	400	250	1345	1,93	18,497	9,604
40	14000	140	70000	400	250	1415	2,03	17,868	8,819
41	13500	135	67500	400	250	1493	2,14	17,239	8,065

Lampiran I7

Kekakuan Balok Pori 20% - 2

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	1/2 L (mm)	a (mm)	Lendutan 10^{-2} (mm)	θ ($^{\circ}$)	Momen KNm	Kekakuan
1	0	0	0	400	250	0	0	0	0
2	500	5	2500	400	250	90	0,13	0,761	5,901
3	1000	10	5000	400	250	118	0,17	1,457	8,622
4	1500	15	7500	400	250	135	0,19	2,154	11,138
5	2000	20	10000	400	250	155	0,22	2,850	12,838
6	2500	25	12500	400	250	175	0,25	3,547	14,151
7	3000	30	15000	400	250	195	0,28	4,243	15,192
8	3500	35	17500	400	250	215	0,31	4,940	16,041
9	4000	40	20000	400	250	235	0,34	5,637	16,745
10	4500	45	22500	400	250	255	0,37	6,256	17,127
11	5000	50	25000	400	250	274	0,39	6,875	17,517
12	5500	55	27500	400	250	295	0,42	7,494	17,736
13	6000	60	30000	400	250	309	0,44	8,113	18,331
14	6500	65	32500	400	250	326	0,47	8,733	18,702
15	7000	70	35000	400	250	355	0,51	9,352	18,392
16	7500	75	37500	400	250	371	0,53	9,971	18,764
17	8000	80	40000	400	250	401	0,57	10,590	18,438
18	8500	85	42500	400	250	415	0,59	11,185	18,817
19	9000	90	45000	400	250	452	0,65	11,810	18,242
20	9500	95	47500	400	250	473	0,68	12,375	18,266
21	10000	100	50000	400	250	490	0,70	12,970	18,481
22	10500	105	52500	400	250	513	0,73	13,565	18,462
23	11000	110	55000	400	250	540	0,77	14,160	18,308
24	11500	115	57500	400	250	569	0,81	14,755	18,105
25	11800	118	59000	400	250	607	0,87	15,112	17,383
26	12000	120	60000	400	250	612	0,88	15,350	17,512
27	12500	125	62500	400	250	665	0,95	15,979	16,777
28	13000	130	65000	400	250	735	1,05	16,608	15,777
29	13500	135	67500	400	250	799	1,14	17,238	15,063
30	14050	140,5	70250	400	250	870	1,25	17,930	14,390
31	13000	130	65000	400	250	1000	1,43	16,608	11,597
32	12500	125	62500	400	250	1035	1,48	15,979	10,781
33	12000	120	60000	400	250	1080	1,55	15,350	9,925
34	11500	115	57500	400	250	1110	1,59	14,755	9,283
35	11000	110	55000	400	250	1185	1,70	14,160	8,345
36	10500	105	52500	400	250	1255	1,80	13,565	7,549
37	10000	100	50000	400	250	1340	1,92	12,970	6,760

Lampiran 18

Kekakuan Balok Pori 20% - 3

No	P (Kg)	P (kN)	P/2 (N)	1/2 L (mm)	a (mm)	Lendutan 10 ⁻² (mm)	θ (°)	Momen KNm	Kekakuan
1	0	0	0	400	250	0	0	0	0
2	500	5	2500	400	250	35	0,05	0,759	15,145
3	1000	10	5000	400	250	60	0,09	1,456	16,940
4	1500	15	7500	400	250	75	0,11	2,152	20,036
5	2000	20	10000	400	250	90	0,13	2,849	22,100
6	2500	25	12500	400	250	111	0,16	3,546	22,302
7	3000	30	15000	400	250	130	0,19	4,242	22,781
8	3500	35	17500	400	250	169	0,24	4,939	20,401
9	4000	40	20000	400	250	190	0,27	5,635	20,706
10	4500	45	22500	400	250	220	0,32	6,254	19,848
11	5000	50	25000	400	250	242	0,35	6,874	19,830
12	5500	55	27500	400	250	266	0,38	7,493	19,666
13	6000	60	30000	400	250	285	0,41	8,112	19,872
14	6500	65	32500	400	250	308	0,44	8,731	19,791
15	7000	70	35000	400	250	328	0,47	9,351	19,903
16	7500	75	37500	400	250	350	0,50	9,970	19,887
17	8000	80	40000	400	250	361	0,52	10,589	20,478
18	8500	85	42500	400	250	380	0,54	11,184	20,548
19	9000	90	45000	400	250	403	0,58	11,809	20,458
20	9500	95	47500	400	250	425	0,61	12,374	20,327
21	10000	100	50000	400	250	450	0,64	12,969	20,121
22	10250	102,5	51250	400	250	518	0,74	13,266	17,881
23	10500	105	52500	400	250	625	0,90	13,564	15,152
24	11000	110	55000	400	250	645	0,92	14,159	15,327
25	11500	115	57500	400	250	695	1,00	14,754	14,822
26	11500	115	57500	400	250	750	1,07	14,754	13,735
27	11700	117	58500	400	250	775	1,11	14,992	13,507
28	12000	120	60000	400	250	886	1,27	15,349	12,096
29	12100	121	60500	400	250	1099	1,57	15,475	9,833
30	12100	121	60500	400	250	1180	1,69	15,475	9,158
31	12050	120,5	60250	400	250	1298	1,86	15,412	8,292
32	12000	120	60000	400	250	1311	1,88	15,349	8,177
33	11600	116	58000	400	250	1340	1,92	14,873	7,752
34	11400	114	57000	400	250	1439	2,06	14,635	7,103
35	11200	112	56000	400	250	1541	2,21	14,397	6,526
36	11000	110	55000	400	250	1633	2,34	14,159	6,057
37	10500	105	52500	400	250	1730	2,48	13,564	5,477
38	10000	100	50000	400	250	1755	2,51	12,969	5,162

LAMPIRAN J

Daktilitas Balok

Lampiran J

Daktilitas Balok BN1, BN2, BP10-1, BP10-2, BP10-3, BP20-1, BP20-2, BP20-3

Model Balok	Daktilitas Simpangan	Persentase	Daktilitas kelengkungan	Persentase
	Δ_u/Δ_y	(%)	Φ_u/Φ_y	(%)
BN1	3,571	100	3,571	100
BN2	3,632	101,70	3,631	101,68
BP10-1	2,024	100	2,024	100
BP10-2	3,029	149,64	3,029	149,67
BP10-3	2,613	129,07	2,612	129,08
BP20-1	2,135	139,60	2,135	139,63
BP20-2	1,529	100	1,529	100
BP20-3	2,278	148,99	2,277	148,97

Daktilitas Balok BN, BP10, BP20

Model Balok	Daktilitas Simpangan	Daktilitas Simpangan rata-rata	Persentase terhadap BN	Daktilitas kelengkungan	Daktilitas kelengkungan	Persentase terhadap BN
	Δ_u/Δ_y	Δ_u/Δ_y	(%)	Φ_u/Φ_y	Φ_u/Φ_y	(%)
BN1	3,571	3,571	100	3,571	3,6571	100
BN2	3,632			3,631		
BP10-1	2,024	2,555	72	2,024	2,555	72
BP10-2	3,029			3,029		
BP10-3	2,613			2,612		
BP20-1	2,135	1,980	55	2,135	1,980	55
BP20-2	1,529			1,529		
BP20-3	2,278			2,277		

Daktilitas Balok BN, BP10, BP20

Model Balok	Daktilitas Simpangan	Persentase	Daktilitas kelengkungan	Persentase
	Δ_u/Δ_y	(%)	Φ_u/Φ_y	(%)
BN	3,571	100	3,571	100
BP10	2,555	72	2,555	72
BP20	1,980	55	1,980	55

LAMPIRAN K

Dokumentasi

Lampiran K



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

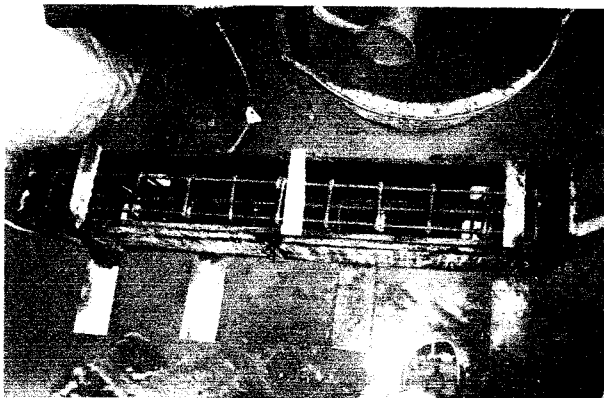
Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584



Perakitan Tulangan



Pengujian Slump



Bekisting balok

Lampiran K

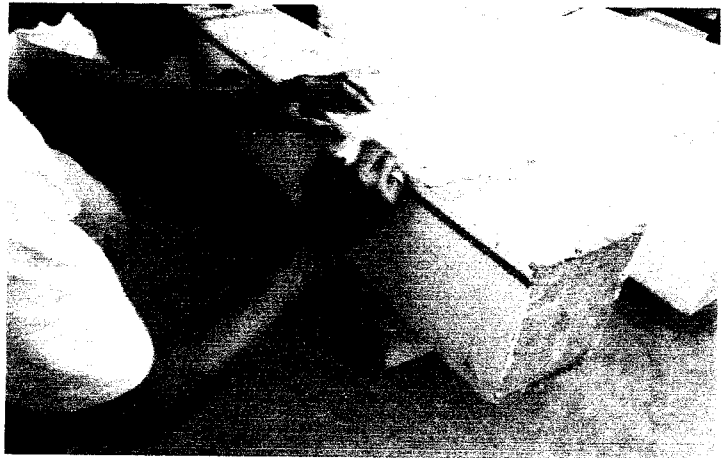


**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

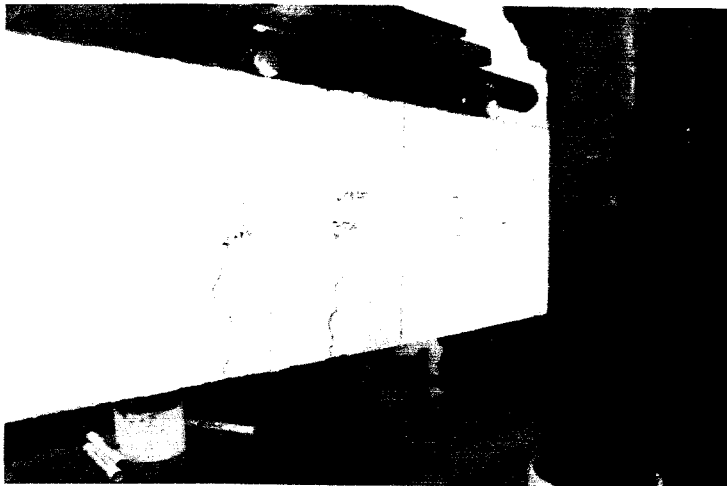
Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584



Hasil Pengujian Silinder Beton



Pengukuran Penampang Balok



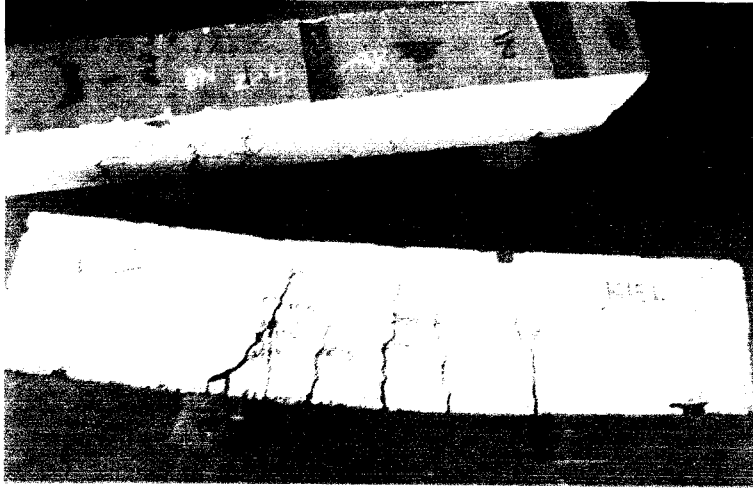
Pengujian Kuat Lentur Balok

Lampiran K



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584



Hasil Pengujian Kuat Lantur Balok Normal



Hasil Pengujian Kuat Lantur Balok Pori

LAMPIRAN L

Kartu Peserta Tugas Akhir

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANGGAL
1	16/03-2007	simptom Sumbir	16/03
2	19/07-2007	- Konsultasi tentang keluhan kemarau walaupun pada tidak di dokter - Muntah	19/07
3	20/07-2007	- Acc - simptom sidang	20/07
4	27/07-2007	- Penderita	27/07
5	14/09-2007	- Acc pemberian stretch Penderita - Jilid.	14/09