

TUGAS AKHIR


RETAK LENTUR PADA BETON MUTU TINGGI

Nama : **CHRISTIAN**
No. Mhs : 94 310 004
NIRM : 940051013114120004

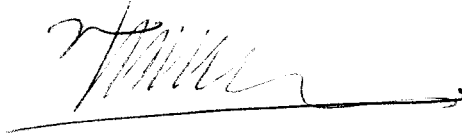
Nama : **SUKADI JANU HAJI**
No. Mhs : 94 310 006
NIRM : 940051013114120006

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H.Moch.Teguh MSCE
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 19-12-2000

Ir. Fatkhurrohman NS,MT
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 19/12-2000

Motto:

“... dan tidak ada yang dapat mengambil pelajaran (daripadanya) melainkan orang-orang yang berakal cerdas”

(QS Ali Imran 3:7)

“Dan perumpamaan-perumpamaan ini Kami buat untuk manusia, dan tiada yang memahaminya kecuali orang-orang yang berilmu”

(QS Al Ankabut 29:43)

*“... niscaya **اللّٰه** akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat ...”*

(QS Al Mujadilah 58:11)

“... ambillah pelajaran dari kejadian hai orang-orang yang tajam pandangan”

(QS Al Hasyr 59:2)

PRAKATA

Bismillahirrahmaanirrohim

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah swt yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, hingga terselesainya tugas akhir ini.

Tugas akhir ini dilaksanakan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program strata satu (S1) bidang Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Tugas akhir ini adalah karya tulis ilmiah yang berupa penelitian laboratorium guna menambah pengetahuan di bidang keteknik-sipilan dan mempelajari secara langsung hasil yang diperoleh dari laboratorium beserta permasalahan-permasalahannya dengan teori-teori yang didapat di bangku kuliah, sehingga dapat berguna di kemudian hari.

Selama melaksanakan tugas akhir ini, bantuan dan bimbingan telah diberikan oleh berbagai pihak, dengan ini terimakasih dihaturkan kepada :

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Phd, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Ir. H. Tadjuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
3. Bapak Ir. H. Moch. Teguh, MSCE, selaku dosen pembimbing I,
4. Bapak Ir. Fatkhurrohman NS, MT, selaku dosen pembimbing II,
5. Bapak Alwi, selaku koordinator laboratorium PAU,
6. Bapak Ir. Andi Buntoro, selaku pimpinan PT. Sika Nusa Pratama,
7. bapak, ibunda tercinta atas doa restunya,
8. teman-teman tercinta atas segala bantuan dan partisipasinya,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
MOTTO.....	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR GRAFIK	xi
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Keaslian Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4
2.2 Landasan Teori.....	9

2.2.1 Beton	9
2.2.2 Retak Lentur	11
2.2.3 Penentuan Lebar Retak Maksimum	13
2.2.4 Penentuan Jarak Retak	15
2.2.5 Kontrol Retak	15
2.2.6 Penentuan Momen Nominal Balok	16
2.2.7 Penentuan Lendutan Balok	18
2.2.8 Kelengkungan	20
2.2.9 Metode Perencanaan Campuran Adukan Beton	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Umum.....	28
3.2 Bahan Penelitian	28
3.2.1 Semen.....	28
3.2.2 Agregat.....	28
3.2.3 Air	29
3.2.4 Bahan Tambah	29
3.2.5 Baja Tulangan	29
3.3 Peralatan Penelitian.....	30
3.4 Pelaksanaan Penelitian	33
3.4.1 Tahap Persiapan	33
3.4.2 Perencanaan Tulangan	35
3.4.3 Pembuatan Benda Uji	36

3.4.4 Rawatan Benda Uji	38
3.4.5 Pelaksanaan Pengujian.....	38
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Hasil Penelitian	42
4.1.1 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton Silinder	42
4.1.2 Hasil Pengujian Lentur Balok.....	42
4.2 Pembahasan.....	52
4.2.1 Kuat Desak Beton	52
4.2.2 Retak Lentur Beton Mutu Tinggi.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Slump yang disarankan	24
Tabel 2.2	Kuat tekan desain (bila rekaman data tidak tersedia) untuk menentukan nilai deviasi standar.....	24
Tabel 2.3	Ukuran maksimum diameter kerikil.....	24
Tabel 2.4	Fraksi volume kerikil sesuai ukuran maksimum nominal kerikil.....	25
Tabel 2.5	Jumlah air-campuran (kg/m^3 beton) yang diperlukan dan kandungan udara untuk beton segar yang menggunakan pasir dengan rasio rongga 35% (kandungan air-coba tahap awal)	25
Tabel 2.6	Nilai rasio $w/(c+p)$ untuk beton tanpa BPKA (Bahan Pengurang Kandungan Air).....	26
Tabel 2.7	Rasio $w/(c+p)$ untuk beton dengan BPKA (<i>Plasticizer</i>).....	26
Tabel 3.1	Variasi rasio luas tulangan	35

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Hubungan momen lentur dan lebar retak.....	44
Grafik 4.2 Hubungan momen lentur dan panjang retak.....	45
Grafik 4.3 Hubungan beban P dan lendutan	46
Grafik 4.4 Hubungan momen dan kelengkungan.....	47
Grafik 4.5 Hubungan P/P_{max} dan w/H	48
Grafik 4.6 Hubungan P/P_{max} dan h_r/H	49

DAFTAR NOTASI

- $\phi = \frac{1}{\rho}$ = Kelengkungan (rad)
- γ_{bc} = Jumlah tulangan pada sisi yang tertarik
- γ_{gk} = Berat jenis gembur kering
- σ_{st} = Tegangan tarik baja
- β = Nilai rata-rata faktor tinggi
- A = Luas beton yang tertarik dibagi dengan jumlah tulangan
- b = Lebar tampang balok
batang tulangan diabaikan
- d_b = Diameter tulangan
- d_c = Tebal selimut beton diukur dari pusat tulangan
- E = Modulus elastisitas beton
- EI = Faktor kekakuan
- f_c = Kuat desak beton masing-masing benda uji (MPa)
- f_c' = Kuat tekan karakteristik (MPa)
- f_r = Modulus hancur (MPa)
- f_s = Tegangan maksimum pada tulangan
- f_y = Tegangan leleh baja (MPa)
- H = Tinggi balok
- h_1 = Jarak dari pusat tulangan ke garis netral (mm)
- h_2 = Jarak dari serat tarik maksimum ke garis netrak (mm)
- h_r = Panjang retak (mm)
- I_c = Momen inersia penampang

I_e	= Momen inersia efektif
I_g	= Momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang, seluruh
K	= Faktor tingkat kekakuan tumpuan
k	= Faktor tingkat kekakuan tumpuan dan kondisi beban
K_g	= Koefisien balok
L	= Panjang lengan
l_n	= Panjang bentangan bersih
M	= Momen
M_{cr}	= Momen pada saat timbul retak pertama
M_n	= Momen nominal
N_i	= Jumlah benda uji
P	= Beban titik (Ton)
S	= deviasi standart
s	= Jarak retak
t	= Tinggi dari luas beton tarik = $2d_c$
w	= Lebar retak
x	= Jarak P dari tumpuan
y_i	= Lendutan pada titik ke-i
y_t	= Jarak dari garis netral penampang utuh ke serat tepi tertekan
z	= Nilai tetapan
Δ	= Lendutan
Δx	= Jarak antara dial gauge
ρ	= Rasio penulangan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan agregat

Lampiran 2 Perencanaan tulangan

Lampiran 3 Pengujian tarik baja tulangan

Lampiran 4 Pengujian silinder beton

Lampiran 5 Pengujian lentur balok

Lampiran 6 Perencanaan campuran beton mutu tinggi

Lampiran 7 Foto pelaksanaan penelitian

ABSTRAK

Beton merupakan bahan yang bersifat getas, nilai kuat tarik beton sangat kecil bila dibandingkan dengan kuat tekannya. Sebagai komponen struktural, pada umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja yang berfungsi menahan gaya tarik. Agar beton dan baja tulangan dapat bekerjasama dengan baik dalam menahan beban, maka beton yang mengelilingi batang tulangan baja harus bersifat kedap sehingga dapat melindungi dan mencegah terjadinya korosi pada baja tulangan, pada daerah tarik suatu komponen struktur akan terjadi retak-retak beton didekat baja tulangan, retak halus yang demikian dapat diabaikan sejauh tidak mempengaruhi penampilan struktur yang bersangkutan, namun bila beban mencapai pada suatu tingkat yang menyebabkan kekuatan tarik beton terlampaui maka retak akan timbul kepermukaan balok. Bila lebar retak telah melampaui lebar retak maksimum, maka dapat mempermudah proses korosi pada baja tulangan, yang akhirnya akan menyebabkan berkurangnya kuat tarik baja tulangan sehingga membahayakan struktur serta mempercepat kerusakan struktur. Untuk itu maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh momen lentur terhadap lebar dan panjang retak dengan variasi rasio penulangan, mengetahui kekakuan, EI , serta pola retak yang terjadi pada masing-masing variasi rasio penulangan.

Pada penelitian ini digunakan diameter tulangan baja yang sama, dengan variasi rasio penulangan adalah; 0,00688; 0,01147; 0,01795; 0,02308, dan lebar retak yang ditinjau adalah pada daerah lentur. Pengujian dilakukan dengan sistem pembebanan *one third point loading* dan pembebanan dikerjakan dengan cara bertahap, pada setiap tahap dicatat lebar retak maksimal lendutan dan regangan baja hingga balok mengalami kehancuran.

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa untuk setiap variasi rasio penulangan, awal kerusakan balok terjadi saat lebar retak telah mencapai 0,001 dari tinggi balok. Pada rasio penulangan yang lebih besar retak yang terjadi lebih lebar dan retak pertama terjadi lebih awal dibandingkan pada rasio penulangan yang lebih kecil, tetapi setelah balok mengalami awal kerusakan rasio penulangan tidak lagi berpengaruh terhadap lebar retak. Retak pertama dan awal kerusakan masing-masing terjadi saat beban berkisar 20% dan 85% dari beban maksimal.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada struktur bangunan bertingkat dewasa ini, pemakaian beton mutu tinggi lebih menguntungkan dari beton biasa karena: mempunyai kuat tekan yang tinggi, lebih tahan terhadap lingkungan yang agresif, lebih kaku, dan lebih tahan terhadap abrasi. Dengan demikian dimungkinkan untuk mendapatkan ukuran panjang bentangan yang lebih panjang dan umur yang lebih lama pada suatu struktur.

Beton dapat mengalami retak-retak pada awal riwayat pembebanannya karena material ini lemah terhadap tarik. Retak lentur dapat terjadi apabila tegangan tarik telah melampaui kekuatan tarik beton (modulus kehancuran) pada suatu besar pembebanan tertentu. Apabila lebar retak lentur telah melampaui nilai tertentu (lebar retak maksimum yang disyaratkan ACI), maka dapat mempermudah proses korosi pada baja tulangan. Jika hal ini terjadi, maka kuat tarik (tegangan leleh) baja tulangan akan berkurang dan membahayakan struktur serta mempercepat kerusakan struktur. Untuk itu lebar retak lentur yang terjadi harus lebih kecil dari lebar retak maksimum, yaitu dengan menggunakan rasio penulangan tertentu agar didapatkan kekuatan tarik yang cukup untuk menahan tegangan tarik yang terjadi. Dengan mengetahui lebar retak lentur yang terjadi pada beton mutu tinggi dengan variasi rasio penulangan,

pada tingkat pembebanan diharapkan dapat diketahui pengaruh rasio penulangan terhadap lebar retak lentur yang terjadi saat beban layan.

1.2 Rumusan Masalah

Suatu balok beton bertulang dapat mengalami retak lentur pada pembebanan tertentu dan retak akan bertambah panjang dan lebar dengan adanya penambahan beban. Apabila lebar retak melebihi lebar retak maksimum, maka akan menimbulkan korosi pada baja tulangan dan akan mengurangi kekuatan struktur. Baja tulangan memberikan kontribusi terhadap kekuatan tarik pada balok. Semakin besar rasio luas tulangan maka balok akan mampu menerima beban yang lebih besar. Sehubungan dengan hal ini perlu diketahui bagaimana pengaruh variasi rasio penulangan terhadap lebar retak lentur pada beton mutu tinggi yang terjadi pada saat beban layan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh momen lentur terhadap lebar dan panjang retak dengan variasi rasio luas tulangan, mengetahui kekakuan, EI , serta pola retak yang terjadi pada masing-masing variasi rasio luas tulangan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio luas tulangan terhadap lebar retak lentur yang terjadi pada beton mutu tinggi saat beban layan sehingga dapat dihindari lebar retak lentur maksimum,

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut :

1. pengujian pada balok statis tertentu,
2. variasi tulangan yang digunakan dengan diameter yang sama yaitu $2\phi 12$, $3\phi 12$, $4\phi 12$, $5\phi 12$, pembuatan sampel untuk masing-masing variasi adalah 2 sampel,
3. mutu bahan yang direncanakan dalam penelitian ini adalah beton dengan mutu 50 MPa, dan dipakai baja tulangan dengan mutu 300 MPa,
4. lebar retak lentur hanya ditinjau sepertiga bentang yaitu pada keadaan lentur murni,
5. pengamatan lebar dan panjang retak pada bagian permukaan luar balok,
6. pengujian lentur dilakukan pada umur beton 28 hari.

1.6 Keaslian Penelitian

Sepanjang pengetahuan penulis dan juga berdasarkan studi literatur, diperoleh kenyataan bahwa penelitian tentang retak lentur pada beton mutu tinggi belum pernah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beton mutu tinggi didefinisikan sebagai beton dengan kuat tekan melebihi 43 MPa pada umur 28 hari (Parka, 1999). Jenis material dasar yang digunakan untuk menghasilkan beton mutu tinggi ini secara prinsip tidak banyak berbeda dengan jenis material dasar yang digunakan untuk memproduksi beton normal. Beton merupakan material komposit yang bersifat sangat heterogen yang terdiri atas unsur-unsur seperti pasta semen, agregat, zona kontak antara agregat-pasta, dan rongga-rongga kosong/voids. Oleh karena itu perilaku mekanik beton akan dipengaruhi oleh karakteristik unsur-unsur penyusunnya tersebut (Suhud, 1999).

Beton mutu tinggi mempunyai sifat-sifat sebagai berikut; kandungan semen tinggi, rasio air semen rendah, penggunaan agregat dengan mutu yang baik, agregat berkadar air rendah dan penggunaan bahan tambah mineral atau bahan tambah kimia (Wahyudi dan Rahim, 1997).

Beban-beban yang bekerja pada struktur, atau beban karena susut dan perubahan temperatur, menyebabkan lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok terjadi akibat dari regangan yang timbul karena beban luar (Nawy, 1990).

Apabila kuat tarik pada struktur lentur (modulus kehancuran) telah terlampaui, dan beban ditambah terus, maka kekuatan tarik beton akan segera tercapai, dan pada tingkatan ini mulai terjadi retak-retak akibat tarik. Retak-retak ini menjalar dengan cepat keatas sampai mendekati garis netral; garis netral tersebut kemudian akan bergeser keatas diikuti dengan menjalarnya retak-retak (George Winter dan Arthur H. Nilson, 1983). Retak lentur terjadi vertikal atau searah dengan gaya yang bekerja (Nawy, 1990)

Sebagaimana yang ditulis oleh Warner, Rangan dan Hall (1976), menurut Husain dan Ferguson (1968) penambahan beban pada balok akan mencapai kekuatan tarik beton, retak akan timbul pada permukaan balok pada interval yang berlainan retak ini disebut retak primer, dan akan bertambah sesuai dengan penambahan momen lentur. Secara umum retak yang terjadi berbentuk baji dan mempunyai lebar yang bervariasi dari lebar maksimum pada tepi bawah balok sampai nol pada garis netral. Retak akan menyebabkan penurunan drastis pada tegangan dan regangan beton oleh karena itu pada beton tarik menjadi tidak elastis, khususnya retak primer pada permukaan balok. Bagaimanapun, lekatan batang tulangan melindungi meluasnya kehilangan elastisitas. Berarti dapat dikatakan pada daerah beton disekeliling tulangan, akan menerima sebagian besar tegangan dan regangan, sebagai akibatnya lebar retak akan lebih kecil di dekat tulangan.

Masih ditulis oleh Warner, Rangan dan Hall (1976), dikutip dari Broms (1965), Gergely dan Lutz (1968). Kelanjutan dari tegangan beton ini membentuk retak sekunder. Bentuk ini akan terjadi di bagian dalam dekat tulangan, dimana

tegangan beton yang terjadi sangat besar, dan seringkali tidak meluas pada permukaan balok. Retak sekunder cenderung terjadi pada arah vertikal dan berada di antara retak primer. Pengulangan proses bentuk retak sekunder dapat membentuk retak kecil lebih lanjut antara retak primer dan retak sekunder (Warner; Rangan dan Hall, 1976). Retak terjadi dengan spasi yang tidak menentu dan juga terbentuk dari beragam variasi pada tegangan tarik baja, karena itu tegangan lekatan lentur terjadi di tempat tersebut diantara perbatasan retak (Warner; Rangan dan Hall, 1976). Dalam tulisan Warner; Rangan dan Hall (1976) dikutip dari Welch dan Janjua (1971). Jarak antara retak primer dipengaruhi oleh tebal penutup beton dan diameter tulangan. Penggunaan diameter tulangan yang lebih kecil akan mengurangi lebar retak (Hanna dan Faris, 1996). Kontrol terhadap retak lentur merupakan hal yang penting didalam upaya melindungi baja tulangan melawan korosi, sehingga ketahanan struktur beton bertulang dan perlindungan baja tulangan melawan korosi dianggap hal yang serius sebagai kekuatan struktur itu sendiri (Hanna dan Faris, 1996).

Kerusakan balok dapat dideteksi dengan perubahan kelengkungan (E.P. Popov, 1984), dengan persamaan *curvature mode* atau kelengkungan merupakan fungsi momen lentur. Mode kelengkungan (*curvature*) dapat diperoleh secara numerik dengan pendekatan *central difference* terhadap *displacement mode* (Pandey, 1991).

Hanna dan Faris (1996) mengadakan penelitian pengaruh tebal penutup beton terhadap lebar retak maksimum pada balok. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut; penambahan tebal penutup beton dari 30 sampai 60 mm memperbesar lebar

retak 16 persen, jarak antara dua retak dipengaruhi jarak sengkang, perkiraan lebar retak dipengaruhi pada tingkat rasio penulangan.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Michèle dan Brahim (1998) pada rasio penulangan terhadap kekuatan lentur beton adalah sebagai berikut: secara umum beban siklik memperbesar lebar retak, pada besar momen yang sama, penambahan rasio penulangan mengurangi lebar dan panjang retak, lebar retak tidak dipengaruhi kuat beton, penurunan lebar retak sebanding dengan penambahan rasio penulangan, lebar retak dari balok bertulang C-BAR dapat diprediksi dengan memodifikasi rumus Gergely-Lutz dengan koefisien K_g diambil sebesar $41 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Benmokrane, Chaallal dan Masmoudi (1996) pada rasio penulangan (tulangan FRP / *fiber reinforced plastic*) terhadap respon lentur beton adalah pada beban rendah, pola dan jarak retak pada balok beton dengan penulangan FRP serupa dengan balok bertulang biasa. Pada beban layan penulangan FRP terjadi lebih banyak retak dan lebih lebar dibandingkan dengan tulangan biasa.

Hasil penelitian yang dilakukan Marzouk dan Chen (1995) tentang energi retak dan sifat tarik beton mutu tinggi, menunjukkan bahwa perilaku beton mutu tinggi lebih getas dan lebih kaku dari pada beton normal, dengan modulus elastisitas awal yang besar dan mengalami penurunan yang lebih tajam pada kurva tegangan-lendutan setelah melewati beban puncak.

Untuk menggambarkan perilaku yang berbeda dari kuat tarik beton mutu tinggi, ditunjukkan dengan persentasi kuat tekan. Kuat tarik beton mutu tinggi kira-kira $5\% f_c'$ dan $8\% f_c'$ untuk beton normal.

Hasil penelitian yang dilakukan Karl, Marikunte dan Surendra (1996) tentang retak susut beton mutu tinggi, menyatakan beton mutu tinggi memiliki kuat tarik yang lebih besar dari beton normal pada segala umur, retak susut lebih kecil. Ini berarti bebas dari penyusutan (setelah bertahan 6 jam), rangkai yang lebih kecil, modulus elastisitas yang lebih besar, dan *interlock* agregat sepanjang retak lebih rendah.

Hasil penelitian yang dilakukan Reza dan Vijaya (1998) tentang lekatan antara beton normal dan beton mutu tinggi sambungan batang tulangan pada balok, menyatakan tegangan lekatan saat penutup beton retak adalah fungsi dari tebal minimum penutup beton, diameter tulangan, kuat tarik beton, dan sifat deformasi batang.

Hasil penelitian Surendra (1990) tentang kuat retak beton mutu tinggi adalah, nilai retak kritis dapat diperkirakan dengan dua parameter model retak (*effective Griffith crack* dan *typical plot of load against crack mounth*). Penurunan perluasan retak kritis dipengaruhi dengan penambahan kuat tekan.

Hasil penelitian Denis HomaYoun dan Sidney (1996) tentang pengaruh serat baja dan pelapisan *epoxy* tulangan pada kekakuan tarik dan retak beton bertulang, menyatakan bahwa; serat baja mengurangi lebar retak baik pada beton normal maupun beton mutu tinggi, beton mutu tinggi memperlihatkan lebar retak yang lebih

kecil dari pada beton normal, tulangan dengan lapisan *epoxy* menunjukkan lebar retak yang lebih besar dari pada tulangan tanpa lapisan. Penambahan ketebalan lapisan menyebabkan lebar retak yang lebih besar.

Hasil penelitian dari Walraven dan Reinhardt (1981) mengenai sifat mekanik retak pada beton bertulang dengan beban geser adalah sebagai berikut : dalam retak beton sederhana gaya normal dan arah geser sebagian besar adalah fungsi lebar retak, penurunan geser dan kualitas beton, apabila variasi diameter batang tulangan dalam retak beton bertulang, sementara rasio penulangan konstan, maka tidak mempengaruhi perilaku, variasi komposisi agregat dengan penambahan ukuran agregat tidak mempengaruhi perilaku, penurunan normal dan penurunan geser pada retak beton bertulang pada gaya geser berkurang dengan penambahan rasio penulangan dan kuat tekan beton.

Pada tugas akhir ini penelitian retak lentur yang akan dilakukan menggunakan beton mutu tinggi yang sebelumnya hanya diteliti pada beton normal, dan pada penelitian ini digunakan rasio luas tulangan yang bervariasi serta pengaruhnya terhadap retak lentur.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Beton

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil), dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen dan

air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan rawatan beton berlangsung.

Beton mutu tinggi dengan mutu beton atau kuat tekan beton (f_c') lebih besar dari 43 MPa pada umur 28 hari dengan pengembangan pada bahan tambah mineral (*fly Ash, blast furnace slag dan silica fume*) dan bahan tambah kimia (*plasticizer, super plasticizer*) telah memungkinkan diproduksi beton dengan kuat tekan 60 s.d 120 MPa (Parka, 1999).

Faktor air semen merupakan perbandingan antara berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan. Faktor air semen sangat mempengaruhi kekuatan beton dan sifat-sifat beton seperti permeabilitas, ketahanan terhadap gaya *frost* (pembekuan pada musim dingin) dan pengaruh cuaca, ketahanan terhadap abrasi, kekuatan tarik rayapan dan penyusutan (Murdock dan Brook, 1986). Semakin besar faktor air semen maka akan semakin rendah kuat desak beton. Untuk tujuan beton digunakan fas minimal mungkin namun masih cukup memberikan *workability* (sifat mudah dikerjakan). *Workability* dan mutu beton juga dipengaruhi oleh besar nilai slump yang merupakan pedoman untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton.

Perencanaan campuran beton dilakukan untuk menentukan proporsi masing-masing bahan yang akan dicampur dalam suatu adukan beton sesuai dengan kekuatan yang diinginkan. Dalam penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran beton mutu tinggi dari Suwandojo (1999).

2.2.2 Retak Lentur

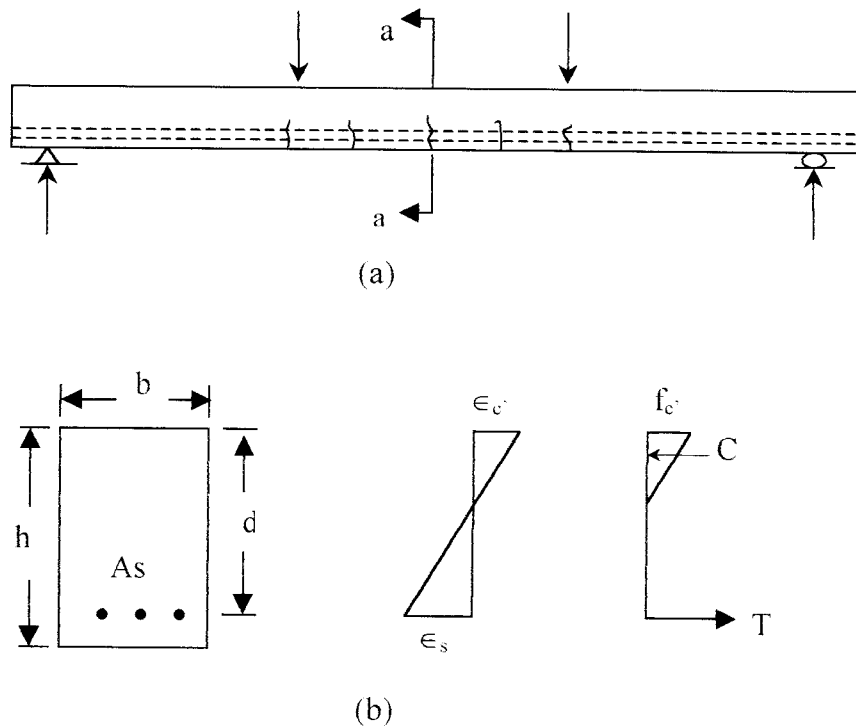
Retak lentur adalah retak yang terjadi dengan arah vertikal atau tegak lurus dengan gaya yang bekerja pada balok. Pada kegagalan balok, dimulai dengan retak yang sangat halus kemudian berkembang pada tengah bentang sehingga menyebabkan 50% dari kegagalan balok adalah akibat lentur. Dengan penambahan beban, retak akan semakin melebar dan panjang retak akan berkembang menuju garis netral, serta ditandai penambahan lendutan pada balok (Nawy, 1990).

Gelagar-gelagar beton murni tanpa (tanpa tulangan) tidak efisien sebagai batang-batang lentur karena kekuatan tarik lentur (modulus kehancuran) sangat kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya. Sebagai akibatnya gelagar tersebut mengalami kegagalan pada sisi tarik, pada pembebanan yang rendah, jauh sebelum kekuatan beton pada sisi tekan dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Berdasarkan hal ini maka dipakai tulangan pada bagian tarik.

Apabila pembebanan pada gelagar tersebut ditambah secara berangsur-angsur mulai dari nol sampai mencapai suatu nilai yang dapat menyebabkan kehancuran gelagar, maka bisa dibedakan dengan jelas adanya beberapa distribusi tegangan regangan yang berbeda.

Pada pembebanan yang kecil, selama tegangan tarik maksimum beton lebih kecil dari modulus kehancuran, maka seluruh beton dapat dikatakan efektif dalam memikul tegangan tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi yang lain. Apabila beban terus ditambah, maka kekuatan tarik beton akan segera tercapai, dan pada tingkatan ini mulai terjadi retak-retak akibat tarik. Retak-retak ini menjalar dengan cepat ke atas

sampai mendekati garis netral; akibatnya garis netral bergeser ke atas diikuti dengan menjalarnya retak-retak. Bentuk umum dan distribusi dari retak-retak ini diperlihatkan pada Gambar 2.1a. Pada gelagar-gelagar yang direncanakan dengan baik lebar retak ini sangat kecil (retak rambut). Adanya retak-retak ini cukup banyak mempengaruhi perilaku gelagar yang mengalami pembebanan. Pada suatu penampang retak, yaitu suatu penampang yang terletak pada tempat terjadinya retak seperti penampang a-a pada Gambar 2.1a, beton tidak menyalurkan tegangan-tegangan tarik. Dengan demikian, seperti juga pada batang-batang tarik, maka tulanganlah yang harus memikul semua tarik yang terjadi. Distribusi tegangan dan regangan pada atau didekat suatu penampang retak akan terlihat seperti yang dilukiskan pada Gambar 2.1b.



Gambar 2.1 Distribusi tegangan dan regangan pada beban sedang

Apabila luas tulangan yang dipakai relatif sedikit pada pembebanan tertentu, tulangan akan mencapai tegangan lelehnya. Pada tegangan tersebut tulangan akan meleleh secara tiba-tiba dan akan mengalami deformasi yang besar, dan retak-retak akibat tarik pada beton akan melebar sehingga dapat dilihat menjalar ke atas, diikuti secara serentak dengan terjadinya lenturan yang besar pada gelagar. Apabila ini terjadi, regangan pada daerah tekan akan bertambah sedemikian rupa sehingga dapat menghancurkan beton (George Winter dan Arthur H. Nilson, 1983).

2.2.3 Penentuan Lebar Retak Maksimum

Menurut Winter dan Arthur (1983) banyak perbedaan pendapat dalam menentukan lebar retak. Perbedaan pendapat ini sangat penting untuk mengembangkan persamaan dalam memperkirakan lebar retak

Keadaan sebenarnya melibatkan banyak variabel, misalnya keacakan perilaku retak, dan derajat ketidakteraturannya. Dari keadaan sesungguhnya idealisasi dan penyederhanaan perlu dilakukan. Salah satu penyederhanaan yang disusun berdasarkan penelitian statistik dari data uji adalah persamaan Gergely-Lutz (1968), yaitu :

$$w_{\max} = 0,076 \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c A} \quad (2.1)$$

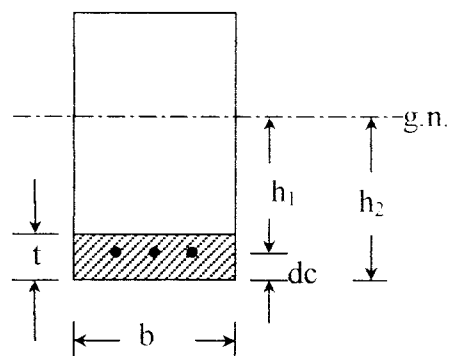
Dengan :

w_{\max} = lebar retak dengan satuan 0,001 in,

β = h_2 / h_1 = nilai rata-rata faktor tinggi = 1,20,

- d_c = tebal selimut beton sampai pusat lapisan pertama tulangan (in),
 f_s = tegangan maksimum (ksi) pada tulangan untuk taraf beban kerja yang apabila dihitung dapat digunakan $0.6 f_y$,
 A = luas beton yang tertarik dibagi dengan jumlah tulangan (in^2) = bt/γ_{bc} dengan γ_{bc} didefinisikan sebagai jumlah tulangan pada sisi yang tertarik.

Apabila perhitungan tegangan baja aktual tidak ada, $f_s = 0.6 f_y$ dapat digunakan. Perlu diperhatikan bahwa pembatasan ini hanya berlaku untuk struktur-struktur yang normal. Untuk struktur yang diekspos terhadap cuaca yang sangat bervariasi seperti struktur lepas pantai dan pabrik kimia, perlu ada perhitungan khusus. Selain itu, pusat berat bagian beton yang mengalami bagian tarik pada beton bertulang dapat dinyatakan dengan pusat berat tulangan baja yang tertarik. Dengan demikian untuk satu lapisan tulangan, tinggi t dari luas beton tarik adalah $2 d_c$. Luas yang diarsir pada Gambar 2.2 di bawah ini memperlihatkan luas beton total yang tertarik.



Gambar 2.2 Geometri balok

2.2.4 Penentuan Jarak Retak

Telah diamati oleh beberapa peneliti bahwa jarak retak tergantung dari ukuran batang tulangan dan tebal penutup beton. Sebagaimana ditulis Warner, Rangan dan Hall (1968) dalam rumus yang sederhana untuk jarak retak telah dikemukakan oleh Welch dan Janjua (1971) :

$$s = (1.5d_c + 3.0 d_b) \quad (2.2)$$

dengan d_c adalah penutup beton yang diukur dari pusat tulangan dan d_b adalah diameter tulangan.

2.2.5 Kontrol Retak

Warner, Rangan dan Hall (1976) menyatakan hubungan tetapan z adalah sebagai berikut (pendekatan ACI):

$$z = (d_c \cdot A)^{0.33} \sigma_{st} \times 10^{-3} \quad (2.3)$$

dengan d_c adalah jarak penutup beton ke pusat tulangan dan A adalah luas beton tarik yang disekeliling tulangan, sehingga :

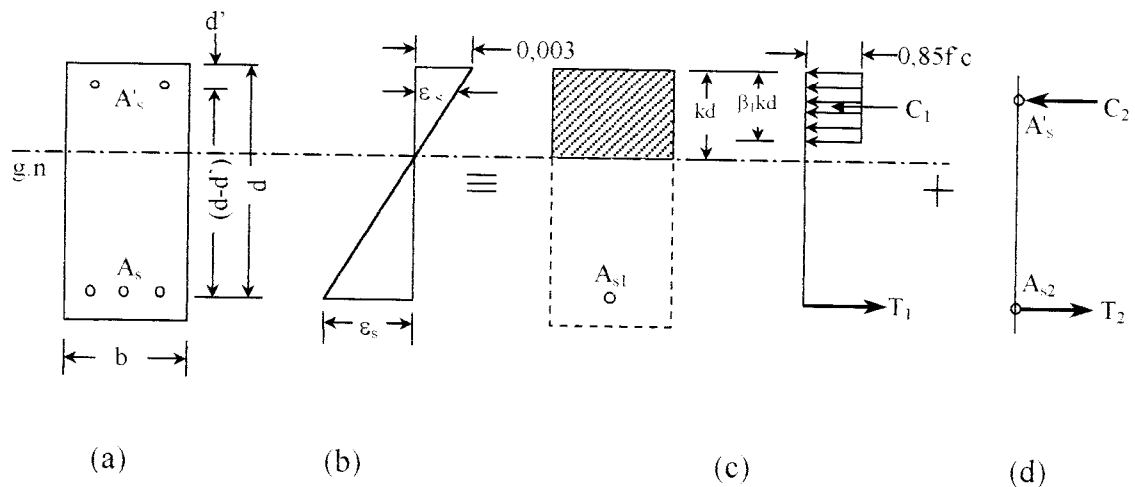
$$w_{\max} = 0.0132 z \quad (2.4)$$

dengan satuan z dinyatakan dalam kN/mm.

ACI menyarankan tegangan tarik baja harus terperinci sehingga z tidak melebihi 30 kN/mm untuk struktur bagian dalam atau 25 kN/mm untuk struktur luar. Hal ini sama dengan membatasi w_{\max} 0.41 mm dan 0.33 mm untuk struktur bagian dalam dan luar secara berturut-turut.

2.2.6 Penentuan Momen Nominal Balok

Menurut Nawy (1990) kapasitas momen tahanan nominal M_n dari suatu penampang dihitung dengan menggunakan persamaan keseimbangan dan dengan menggunakan sifat-sifat beton dan baja. Dalam analisis dan desain balok pada penelitian ini menggunakan penulangan rangkap atau mempunyai tulangan tekan A'_s sehingga luas tulangan tarik adalah $(A_s - A'_s)$. Mengacu pada Gambar 2.3 terlihat bahwa momen tahanan nominal total $M_n = M_{n1} + M_{n2}$.



Gambar 2.3 Desain balok bertulangan rangkap.

Gaya tarik $T_1 = A_{s1} \cdot f_y = C_1$. Akan tetapi $A_{s1} = A_s - A'_s$ karena syarat keseimbangan mengharuskan A_{s2} yang tertarik harus diimbangi oleh A_s pada sisi yang tertekan. Dengan demikian momen tahanan nominalnya adalah:

$$M_{n1} = A_{s1} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{atau} \quad M_{n1} = (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.5)$$

dengan keseimbangan gaya dalam $T_1 = C_1$ sehingga :

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2.6)$$

sedangkan $A'_s = A_{s2} = (A_s - A_{s1})$ dan $T_2 = C_2 = A'_s \cdot f_y$. Dengan mengambil momen terhadap tulangan tarik kita peroleh:

$$M_{n2} = A'_s \cdot f_y (d - d') \quad (2.7)$$

Dengan menjumlahkan Persamaan 2.5 dan 2.7 diperoleh:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \cdot f_y (d - d') \quad (2.8)$$

Distribusi regangan diseluruh tinggi penampang balok harus selalu diselidiki apakah mengikuti distribusi linear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.3b, sehingga perlu dilakukan pengecekan untuk menjamin regangan agar memenuhi keserasian (kompatibilitas) diseluruh tinggi balok. Pengecekan ini disebut kontrol keserasian-regangan (*strain-compatibility check*). Nilai f'_s pada Persamaan 2.9 berikut ini digunakan sebagai pendekatan awal terhadap kontrol keserasian regangan.

$$f'_s = 600 \left[1 - \frac{0,85 \beta_1 f'_c d'}{(\rho - \rho') f_y d} \right] \quad (2.9)$$

dan:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_s}{0,85 f'_c b} \quad (2.10)$$

Nilai f'_s dari Persamaan 2.9 pada coba awal untuk memperoleh nilai a dengan Persamaan 2.10 sehingga memperoleh jarak garis netral kd . Apabila kd telah

diketahui, ϵ'_s dapat dihitung dengan segitiga yang serupa pada Gambar 2.3b, sehingga didapat nilai f'_s yang baru untuk digunakan kembali sebagai coba-coba berikutnya. Perhitungan coba-coba f'_s ini hanya akan menghasilkan perbedaan yang secara praktis dapat diabaikan dalam menghitung kekuatan momen nominal M_n . Dalam hal demikian, kekuatan momen nominal pada Persamaan 2.8 menjadi:

$$M_n = (A_s f_y - A'_s f'_s) \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') \quad (2.11)$$

sedangkan untuk menghitung momen retak digunakan rumus sebagai berikut:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (2.12)$$

dengan:

- M_{cr} = momen pada saat timbul retak yang pertama kali,
- f_r = modulus retak beton,
- I_g = momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang, seluruh batang tulangan diabaikan,
- y_t = jarak dari garis netral penampang utuh (mengabaikan tulangan baja) ke serat tepi tertekan.

2.2.7 Penentuan Lendutan Balok

Menurut Nawy (1990) lendutan batang-batang struktural merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan atau kondisi ujung bentang (seperti tumpuan

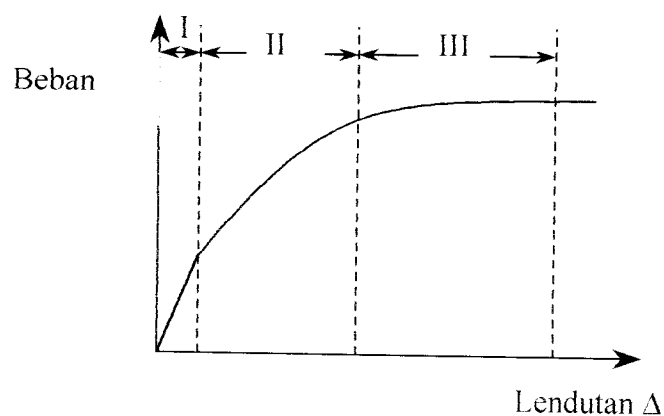
sederhana atau ada tahanan karena kesinambungan batang), jenis pembebanan (beban terpusat ataukah beban terdistribusi), dan kekakuan lentur EI dari elemen, dari persamaan umum lendutan maksimum Δ_{maks} pada balok elastis, dapat diperoleh lendutan pada tengah bentang Δ_{maks} , yaitu :

$$\Delta_{maks} = \frac{Pa (3l_n^2 - 4x^2)}{24 EI_c} \quad (2.13)$$

dengan :

- l_n = panjang bentangan bersih,
- E = modulus elastisitas beton,
- I_c = momen inersia penampang,
- P = beban titik,
- x = jarak P dari tumpuan.

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Grafik hubungan beban-lendutan pada balok

Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya retak.

Daerah I : taraf praretak, (batang-batang struktural bebas retak).

Daerah II : taraf pascaretak, (batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya).

Daerah III : taraf *pasca-serviceability*, (tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya).

2.2.8 Kelengkungan

Kerusakan balok dapat dideteksi dengan perubahan kelengkungan.

Kelengkungan balok menurut E.P. Popov (1984), adalah :

$$\frac{1}{\rho} = \phi = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (2.14)$$

bila dy/dx kecil, jika dikuadratkan akan mendekati nol, sehingga didapat :

$$\phi = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2.15)$$

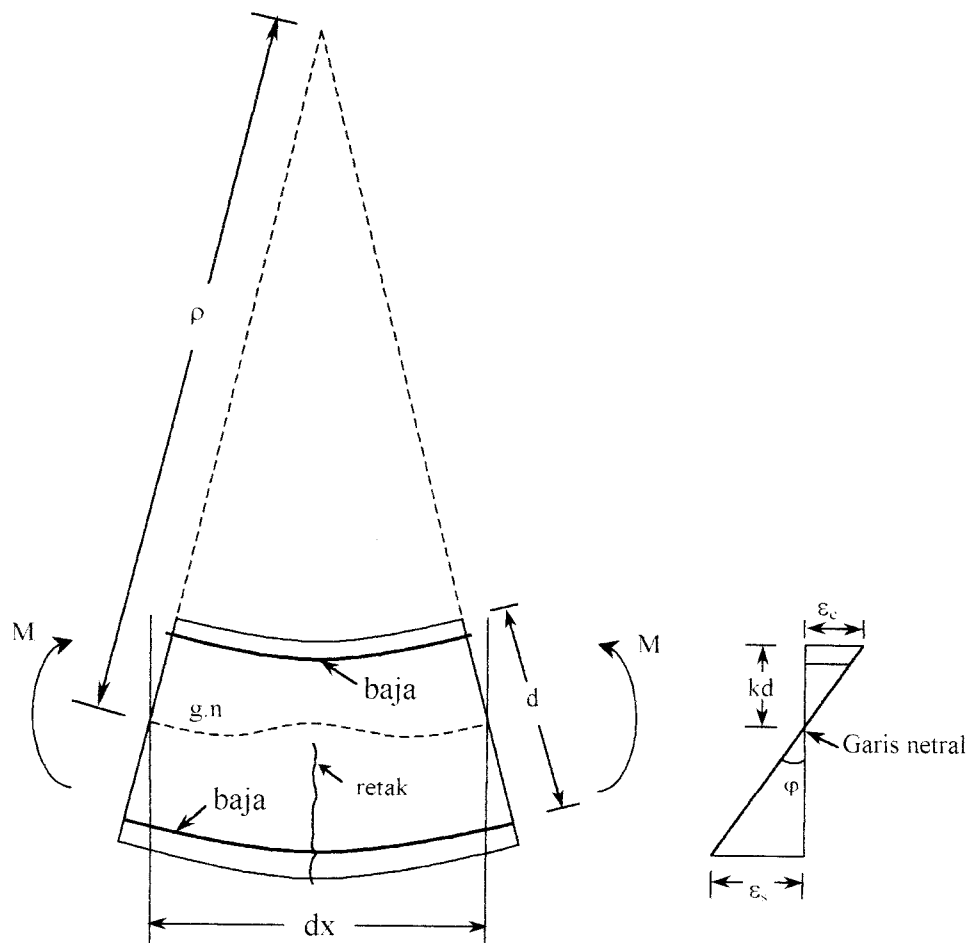
Menurut Park dan Paulay (1975), mengacu pada Gambar 2.5 dengan ρ , k_d , ϵ_c , ϵ_s secara berturut-turut adalah jari-jari kelengkungan yang diukur dari garis netral, jarak garis netral, regangan beton, dan regangan baja. Dengan mengambil elemen dx sehingga diperoleh :

$$\frac{dx}{\rho} = \frac{\varepsilon_c dx}{kd} = \frac{\varepsilon_s dx}{d(1-k)} \quad (2.16)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} \quad (2.17)$$

sehingga kelengkungan balok adalah :

$$\phi = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} \quad (2.18)$$

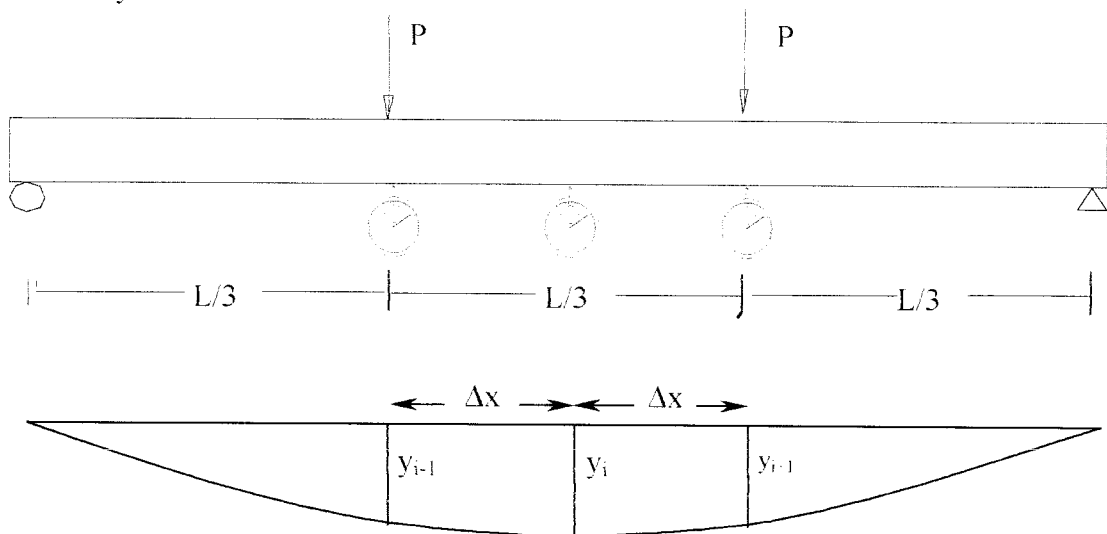


Gambar 2.5 Kelengkungan balok

Hubungan momen kelengkungan menurut Gere dan Timosenko (1987) dinyatakan dengan rumus :

$$\phi = \frac{M}{EI} \quad (2.19)$$

dengan ϕ , m , dan EI berturut-turut menyatakan kelengkungan, momen, dan faktor kekakuan. Menurut Chapra dan Raymond (1989), pada suatu potongan balok kelengkungan dapat ditentukan dengan pendekatan metode *central difference* dengan memanfaatkan tiga titik diskrit yang berurutan. Mengacu kepada Gambar 2.6 dan dari deret Taylor:



Gambar 2.6 Lendutan akibat beban P

$$f(y_{i+1}) = f(y_i) + f'(y_i)\Delta x + \frac{f''(y_i)}{2}\Delta x^2 + \dots \quad (2.20)$$

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

$$f(y_{i+2}) = f(y_i) + f'(y_i)(2\Delta x) + \frac{f''(y_i)}{2}(2\Delta x)^2 + \dots \quad (2.21)$$

dari Persamaan 2.21 dikurangi Persamaan 2.20 :

$$f(y_{i+2}) - 2f(y_{i+1}) = -f(y_i) + f''(y_i)\Delta x^2 \quad (2.22)$$

$$f''(y_i) = \frac{f(y_{i+2}) - 2f(y_{i+1}) + f(y_i)}{\Delta x^2} \quad (2.23)$$

untuk tengah bentang :

$$f''(y_i) = \frac{f(y_{i+1}) - 2f(y_i) + f(y_{i-1}))}{\Delta x^2} \quad (2.24)$$

dimana, $f''(y_i) = \frac{d^2y}{dx^2} = \phi$

sehingga :

$$\phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (2.25)$$

2.2.9 Metode Perencanaan Campuran Adukan Beton.

Metode perencanaan campuran beton mutu tinggi yang dipakai berdasarkan acuan dari Suwandojo (1999), adapun tahapan dalam proses penentuan campuran beton mutu tinggi adalah sebagai berikut :

1. Menentukan slump, Tabel 2.1 dan kuat tekan rata-rata f'_{cr} , Tabel 2.2, bila:
 - a. berdasarkan data lapangan f'_{cr} dipilih dari nilai terbesar dari :

$$f'_{cr} = f'_{c} + 1,34 S \quad \text{atau} \quad (2.26)$$

$$f'_{cr} = 0,9 f'_{c} + 2,33 S \quad (2.27)$$

b. berdasarkan data laboratorium :

$$f'_{cr} = (f'_c + 27,6) / 0,9 \quad (2.28)$$

Tabel 2.1 Slump yang disarankan

Dengan BPKA (mm)	Tanpa BPKA (mm)
20 – 50	50 – 100

Catatan : Atur slump dengan menambah/mengurangi BPKA (plasticizer) di lapangan

Tabel 2.2 Kuat tekan desain (bila rekaman data tidak tersedia)
Menentukan nilai deviasi standar.

Kuat tekan spesifik f'_{cr} (MPa)	Kuat tekan perlu f'_{cr} (MPa)
> 34,5	$f'_c + 9,7$

2. Diameter butir agregat, Tabel 2.3

Tabel 2.3 Ukuran maksimum diameter kerikil

Kuat beton yang disyaratkan (MPa)	Ukuran maksimum agregat, kerikil (mm)
< 62	19 – 25
≥ 62	10 – 12,5

3. Kandungan agregat kasar (kerikil) optimum, Tabel 2.4

Tabel 2.4 Fraksi volume kerikil sesuai ukuran maksimum nominal kerikil

Ukuran maksimum nominal (mm)	10	12,5	20	25
Volume fraksi dari kerikil kering oven, kompak, ϕ_{vol}	0,65	0,68	0,72	0,75

4. Diestimasi air-campuran dan kandungan udara (air content), Tabel 2.5 :

Tabel 2.5 Jumlah air-campuran (kg/m^3 beton) yang diperlukan dan kandungan udara untuk beton segar yang menggunakan pasir dengan rasio rongga 35%. (kandungan air-coba tahap awal)

Slump (mm)	Air-pencampur (kg/m^3) untuk ukuran maksimum agregat yang telah ditentukan (mm)			
	10	12,5	20	25
25 – 50	183	174	168	165
50 – 75	189	183	174	171
75 – 100	195	189	180	177
Udara (terperangkap), %	2,5	2,0	1,5	1,0

5. Menentukan rasio air/perekat, $w/(c+p)$, dalam berat, c = kandungan cement dan p = Pozzolan, Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 :

Tabel 2.6 Nilai rasio $w/(c+p)$ untuk beton tanpa BPKA
(Bahan Pengurang Kandungan Air)

Kuat beton lapangan f'_{cr} (MPa)		Rasio $w/(c+p)$ untuk ukuran maksimum agregat yang telah ditentukan (mm)			
		10	12,5	20	25
48	28 hari	0,41	0,41	0,40	0,39
48	56 hari	0,46	0,45	0,44	0,43
55	28 hari	0,35	0,34	0,33	0,33
55	56 hari	0,38	0,37	0,36	0,35
62	28 hari	0,30	0,29	0,29	0,28
62	56 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
69	28 hari	0,26	0,26	0,25	0,25
69	56 hari	0,29	0,28	0,27	0,26

Catatan : $f'_{cr} = (f'_c + 9,7)$ MPa, Tabel 2.2

Tabel 2.7 Rasio $w/(c+p)$ untuk beton dengan BPKA (*plasticizer*)

Kuat beton lapangan f'_{cr} (MPa)		Rasio $w/(c+p)$ untuk ukuran maksimum agregat yang telah ditentukan (mm)			
		10	12,5	20	25
48	28 hari	0,50	0,48	0,45	0,43
48	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
55	28 hari	0,44	0,42	0,40	0,38
55	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,40
62	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
62	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
69	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
76	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
76	56 hari	0,37	0,31	0,29	0,29
83	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
83	56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

Catatan : $f'_{cr} = (f'_c + 9,7)$ MPa, tabel 2.2

6. Menghitung material p (pozzolan-P) yang diperlukan. nilai ini didapat dari membagi jumlah air (m^3) tahap 4, dengan rasio $w/(c+p)$ tabel 2.6 dan tabel 2.7.
7. Menghitung proporsi campuran-dasar, tanpa bahan cementitious c.
8. Menghitung proporsi campuran menggunakan bahan pozzolan p,
9. Membuat hasil campuran-coba untuk setiap proporsi campuran yang didesain dari langkah-1 sampai langkah-8.
10. Mengatur (melakukan modifikasi) proporsi-campuran untuk mencapai slump yang ditetapkan, dengan mengubah kandungan bahan, mengatur kandungan BPKA untuk beberapa campuran-coba.
11. Menetapkan campuran yang optimum.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian terlebih dahulu harus diketahui sifat-sifatnya, sehingga bahan yang digunakan sesuai dengan persyaratan yang ditentukan.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Bahan Pusat Antar Universitas, Ilmu Teknik, Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

3.2 Bahan Penelitian

3.2.1 Semen

Semen sebagai bahan pengikat adukan beton menggunakan semen portland tipe I produksi PT. Semen Gresik. Pengamatan dilakukan secara visual terhadap kemasan kantong 50 kg, tertutup rapat, bahan butirannya halus serta tidak terjadi penggumpalan.

3.2.2 Agregat

1. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dari *stone crusher* dengan ukuran diameter maksimum 20 mm, diperoleh dari Celereng, Yogyakarta.

2. Agregat halus (pasir)

Agregat halus yang digunakan mempunyai ukuran lebih kecil 5 mm, tidak mengandung bahan organik, lumpur dan bahan-bahan lain yang dapat merusak beton, diperoleh dari Bebeng, Yogyakarta.

3.2.3 Air

Air yang digunakan adalah air yang diambil dari Laboratorium Mekanika Bahan Pusat Antar Universitas, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. Pengamatan dilakukan secara visual, yaitu jernih dan tidak berbau.

3.2.4 Bahan Tambah

Pada penelitian ini menggunakan bahan tambah berupa *silica fume* merek Sikafume produksi PT. Sika Nusa Pratama dan *superplasticizer* merk Sikament produksi PT. Sika Nusa Pratama.

3.2.5 Baja Tulangan

Tulangan pokok yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter 12 mm, dan sengkang tulangan polos dengan diameter 8 mm serta tulangan pada sisi atas menggunakan tulangan polos dengan diameter 6 mm.

3.3 Peralatan Penelitian

Berikut ini peralatan penelitian yang digunakan :

1. *Hydraulic jack*

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok, dengan kapasitas alat 10 ton, merk Mega, dan tipe BM-1.

2. Mesin uji kuat desak

Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat desak silinder beton, dengan kapasitas alat 100 ton dan merk Daiichi keiki.

3. Mesin uji kuat tarik

Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja tulangan, dengan kapasitas alat 13 ton dan merk United Test System.

4. Timbangan

Alat ini digunakan untuk menimbang pada pengujian material dan pada pembuatan campuran adukan beton. Timbangan yang digunakan ada tiga macam yaitu merk Ohaus, kapasitas 2,5 kg; merk Murayama, kapasitas 5 kg; dan merk Fagani, kapasitas 500 kg.

5. Mistar dan kaliper

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

6. Mesin pengaduk beton (*mixer*)

Alat ini digunakan untuk mengaduk bahan susun beton (semen, batu pecah, pasir dan air) sehingga diperoleh campuran adukan beton yang homogen, dengan kapasitas alat 0.3 m³ atau 350 kg dan merk MBS.

7. Penggetar (*Internal Vibrator*)

Alat ini digunakan untuk memadatkan adukan beton didalam cetakan balok uji.

8. Ayakan

Alat ini digunakan untuk mengetahui gradasi pasir dan batu pecah, dengan merk Macross.

9. *Los Angeles Abrasion Test Machine*

Alat ini digunakan untuk menguji kekerasan/keausan agregat kasar, memiliki kecepatan 30 sampai 33 rpm dan putaran 50 Hz, dengan merk BBS.

10. Kerucut Abrams

Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan beton, tinggi 30 cm dengan diameter atas 10 cm dan diameter bawah 20 cm dilengkapi dengan alat penumbuk besi, panjang 60 cm dengan diameter 16 mm.

11. *Dial Gauge*

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi, dengan kapasitas lendutan maksimal 50 mm, ketelitian 0,01 mm, merk Peacock.

12. *Strain Gauge*

Alat ini diletakan pada tulangan benda uji digunakan untuk mengetahui besar regangan yang terjadi pada taraf pembebanan, dengan merk Showa, tipe N11-FA-10-120-11

13. *Strain Indicator*

Alat ini dipakai untuk membaca regangan yang dihubungkan dari *strain gauge*, dengan tipe P-3500.

14. *Micrometer*

Alat ini digunakan untuk mengukur lebar retak yang terjadi, dengan merk ELE International dan ketelitian 0,02 mm.

15. *Gage Installation Tester*

Alat ini digunakan untuk menguji tahanan strain gauge.

16. *Load Cell*

Alat ini berfungsi sebagai penerima beban yang bekerja dan dihubungkan ke Tranducer, dengan kapasitas alat 10 ton dan merk Showa.

17. *Tranducer*

Alat ini membaca beban yang terjadi pada load cell, dengan merk Showa.

18. *Loading frame*

Alat ini terdiri dari portal dan landasan untuk tempat pengujian, dengan kapasitas alat 200 ton dan merk Power Team.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Tahap persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini meliputi:

1. pencucian agregat,
2. uji sifat-sifat teknis bahan penyusun beton.
3. pemotongan tulangan dan pembuatan sengkang,
4. pembuatan acuan.
5. perencanaan adukan beton.

Perencanaan campuran beton mutu tinggi mengikuti cara Suwandojo (1999).

Data yang diperlukan untuk perhitungan :

1. Mutu beton direncanakan, $f'_c = 50$ MPa.
2. Slump 50 mm.
3. Menggunakan BPKA (Bahan Pengurang Kandungan Air) *Superplasticizer* (Sikament-NN) = 1% berat semen.
4. Menggunakan *Silikafume* (SikaFume) = 5% berat semen.

Data pasir (uji laboratorium) yang digunakan (Lampiran 1)

1. Modulus halus butir = 2,9
2. Berat jenis gembur kering, γ_{gk} = 2,36
3. Absorpsi (bobot kering) = 1,36%
4. Berat kompak, W_{kop} = 1618 kg/m³
5. Kadar Air (*moisture*) = 4,12%

Data kerikil (uji laboratorium) yang digunakan (Lampiran 1)

1. Diameter maksimum agregat kasar = 20 mm
2. Berat jenis gembur kering, γ_{gk} = 2,71
3. Absorpsi (bobot kering) = 0,84%
4. Berat kompak, W_{kop} = 1432 kg/m³
5. Kadar Air (*moisture*) = 0,73%

Didapat proporsi campuran dalam berat untuk beton 1 m³:

Semen	= 386 kg
<i>Silika fume</i>	= 21 kg
Pasir	= 702 kg
Kerikil	= 1039 kg
Air + <i>Superplasticizer</i>	= <u>132 kg</u>
	= 2280 kg

Volume beton untuk benda uji :

Balok	= $0,14 \times 0,21 \times 1,70 \times 8$	= 0,3998 m ³
Silinder	= $0,25 \times 0,15^2 \times \pi \times 0,3 \times 24$	= <u>0,1272 m³</u>
Jumlah		= 0,527 m ³

Volume beton = $1,2 \times 0,527 = 0,6324 \text{ m}^3$

Kebutuhan bahan untuk 0,6324 m³ beton :

Semen	= 386 x 0,6324	= 244,11 kg
<i>Silika fume</i>	= 21 x 0,6324	= 13,28 kg
Pasir	= 702 x 0,6324	= 443,94 kg
Kerikil	= 1039 x 0,6324	= 657,06 kg
<i>Superplasticizer</i>	= 1% x 244,11	= 2,44 kg
Air	= (132 x 0,6324) - 2,44	= 81,04 kg

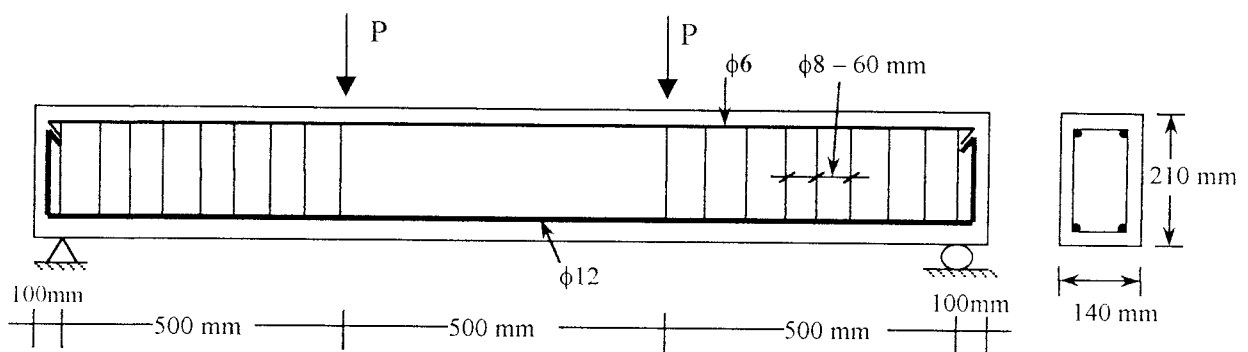
3.4.2 Perencanaan tulangan

Perhitungan perencanaan tulangan dapat dilihat pada Lampiran 2, dengan menggunakan tulangan pokok dengan diameter 12 mm; $f_y = 300$ MPa, sedangkan hasil pengujian kuat tarik baja dapat dilihat pada Lampiran 3. Variasi rasio luas tulangan diambil dari ρ minimum sampai dengan 50% ρ max sehingga diperoleh empat variasi dalam Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Variasi Rasio Luas Tulangan

Variasi	Rasio luas tulangan (ρ)
I	0,00688
II	0,01147
III	0,01795
IV	0,02308

Dipakai diameter tulangan geser = 8 mm ; $f_y = 350$ MPa (Lampiran 3), dengan jarak sengkang = 60 mm untuk semua variasi, untuk pemasangan sengkang dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Model benda uji

3.4.3 Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dikerjakan dengan langkah-langkah sebagai berikut ini:

1. Mempersiapkan tulangan yang telah dipasang strain gauge dan memasukkan kedalam bekisting yang terlebih dahulu diolesi minyak pelumas, dan digunakan tahu beton untuk menjaga posisi tulangan terhadap acuan.
2. Mempersiapkan cetakan silinder dan diolesi dengan minyak pelumas.
3. Melakukan penimbangan bahan-bahan, seperti semen, pasir, kerikil, *silica fume*, serta pengukuran air dan *superplasticizer* sesuai dengan kebutuhan rencana campuran adukan beton.

4. Memasukkan semen, pasir, kerikil, silika fume, kedalam mesin pengaduk beton, dilanjutkan dengan menghidupkan mesin, dan memasukkan air yang telah dicampur *superplasticizer* sedikit demi sedikit.
5. Pada saat mesin pengaduk beton mulai berputar diusahakan selalu dalam keadaan miring sekitar 45°, agar terjadi adukan beton yang merata.
6. Setelah adukan beton terlihat merata, adukan beton dituang secukupnya dan dilakukan pengujian slump dengan menggunakan kerucut Abrams.
7. Mengeluarkan adukan beton dari mesin pengaduk beton, dan ditampung dalam talam.
8. Memasukkan adukan beton kedalam cetakan dengan memakai sekop dan cetok, dilakukan sedikit demi sedikit sambil digetarkan dengan *vibrator* agar beton tidak keropos, selama penggetaran dengan *vibrator*, tahanan (*resistance*) dari *strain gauge* selalu dicek, dan penggetaran dilakukan sangat hati-hati agar tidak merusak *strain gauge*, dan sisa beton dimasukkan kedalam cetakan silinder.
9. Adukan yang telah dicetak diletakkan di tempat yang terlindung dari sinar matahari dan hujan didiamkan selama 48 jam agar mempunyai kekerasan yang cukup sewaktu diadakan pembongkaran acuan dan pengangkatan balok, sedangkan untuk acuan silinder dapat dibuka setelah 24 jam.
10. Cetakan dibuka, dengan memberi kode/keterangan pada beton.

3.4.4 Rawatan benda uji

Rawatan beton sangat perlu dilakukan agar permukaan beton tetap dalam keadaan lembab. Kehilangan air oleh penguapan dapat mengakibatkan proses hidrasi berjalan tidak sempurna, sehingga kekuatan beton akan berkurang. Penguapan dapat juga menyebabkan penyusutan kering terlalu awal dan cepat, sehingga berakibat timbul 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 atau bahkan beberapa minggu.

Pada penelitian ini, rawatan beton dilakukan dengan cara merendam silinder dan untuk balok uji dengan cara menyelimuti balok uji dengan karung yang selalu dibasahi sampai sehari sebelum benda uji tersebut dilakukan pengujian. Rawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki beberapa segi dari kualitasnya. Disamping lebih kuat dan lebih awet terhadap agresi kimia, beton ini juga lebih tahan terhadap aus dan lebih kedap air.

3.4.5 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian desak dan lentur dilakukan setelah benda uji mencapai umur yang direncanakan yaitu pada umur 28 hari.

1. Pengujian kuat desak beton

Pengujian kuat desak beton dilakukan dengan benda uji silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

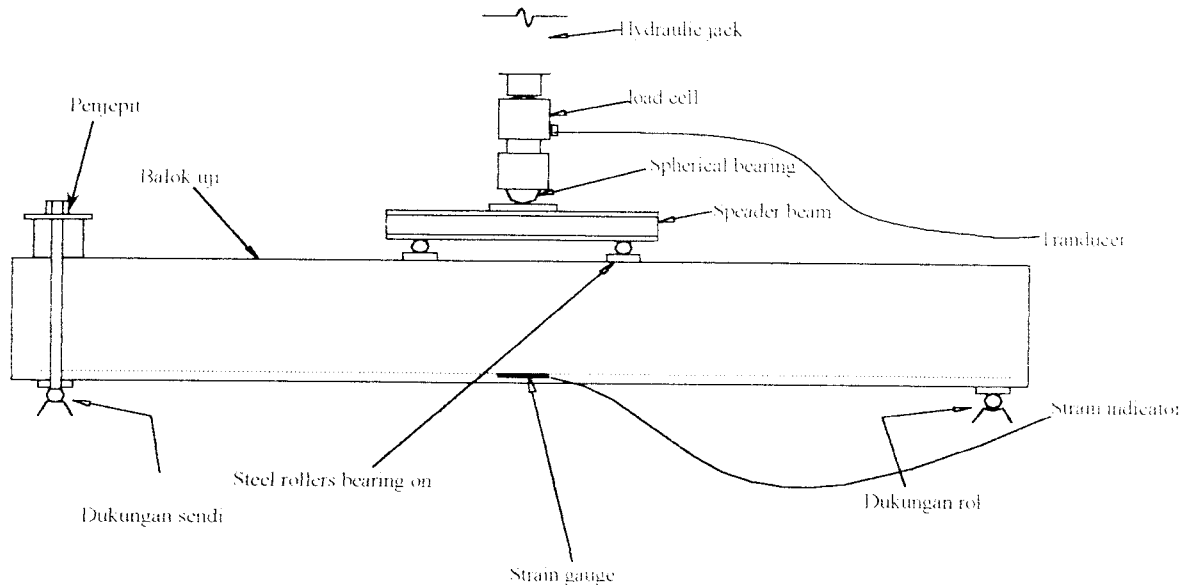
1. mencatat dimensi benda uji yaitu diameter dan tingginya,
2. menimbang benda uji,
3. agar permukaan silinder rata dilakukan *keeping* dengan menggunakan *gibs*,
4. meletakkan benda uji diatas mesin penguji desak, lalu dilakukan pembebanan secara berangsur-angsur,
5. mencatat beban maksimum yang terjadi, dimana benda uji mulai mengalami kehancuran.

2. Pengujian retak lentur balok

Setup untuk pengujian retak lentur dapat dilihat pada gambar 3.2, dan pelaksanaan pengujian retak lentur beton dilakukan dengan cara sebagai berikut ini:

1. benda uji yang digunakan adalah balok berukuran 14x21x170 cm yang telah dicatat dimensi seperti panjang, lebar dan tingginya,
2. menggambar garis kotak-kotak dan memberi tanda dengan spidol pada benda uji titik untuk pembebanan, perletakan *dial gauge*, dan titik-titik untuk perletakan tumpuan,
3. meletakkan benda uji di tumpuan pada *loading frame* sesuai dengan tanda yang telah diberikan,

4. memasang *dial gauge* sebanyak dua buah yang diletakkan di bawah titik beban (P) dan satu buah ditengah bentang,
5. mengecek *resistance* dari *strain gauge* apakah masih *normal* dimana dalam keadaan normal besar *resistance* adalah 120,3 Ω ,
6. menghubungkan kabel *strain gauge* pada *strain indikator* dan mengeset *gauge factor* dimana harus sesuai dengan spesifikasi *strain gauge* yang dipakai yaitu sebesar $2,14 \pm 1\%$,
7. mulai memberikan pembebanan secara berangsur-angsur dengan *step* pembebanan diberikan sebesar 200 kg, dan pada setiap *step* pembebanan dicatat lendutan yang terjadi,
8. setelah retak pertama (*first crack*) terjadi kemudian pada setiap *step* pembebanan dibaca lebar retak maksimum pada daerah lentur, dicatat regangan, lendutan yang terjadi, membuat nomor urut retak dan menggaris/menggambar retak tersebut,
9. pengujian dihentikan setelah tercapai beban runtuh.



Gambar 3.2 Pengujian lentur

3. Pengujian kuat tarik baja

Adapun tahapan-tahapan pengujian kuat tarik baja adalah sebagai berikut :

1. diameter tulangan yang lebih besar dari 6mm, sebelumnya harus dibubut sehingga diameter tulangan tidak lebih dari 6 mm, lalu dilanjutkan dengan mengukur panjang dan diameter tulangan,
2. tulangan dijepitkan kedua ujungnya pada mesin *Universal Testing Machine*,
3. mesin uji dijalankan, dengan penambahan beban secara berangsur-angsur hingga tulangan putus, sejalan dengan itu komputer mencatat pertambahan beban, tegangan dan regangan yang terjadi pada tulangan tersebut.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian retak lentur pada beton mutu tinggi meliputi; kuat desak beton silinder dan uji lentur balok. Adapun hasil pengujian adalah sebagai berikut ini;

4.1.1 Hasil Pengujian Kuat Desak Beton Silinder

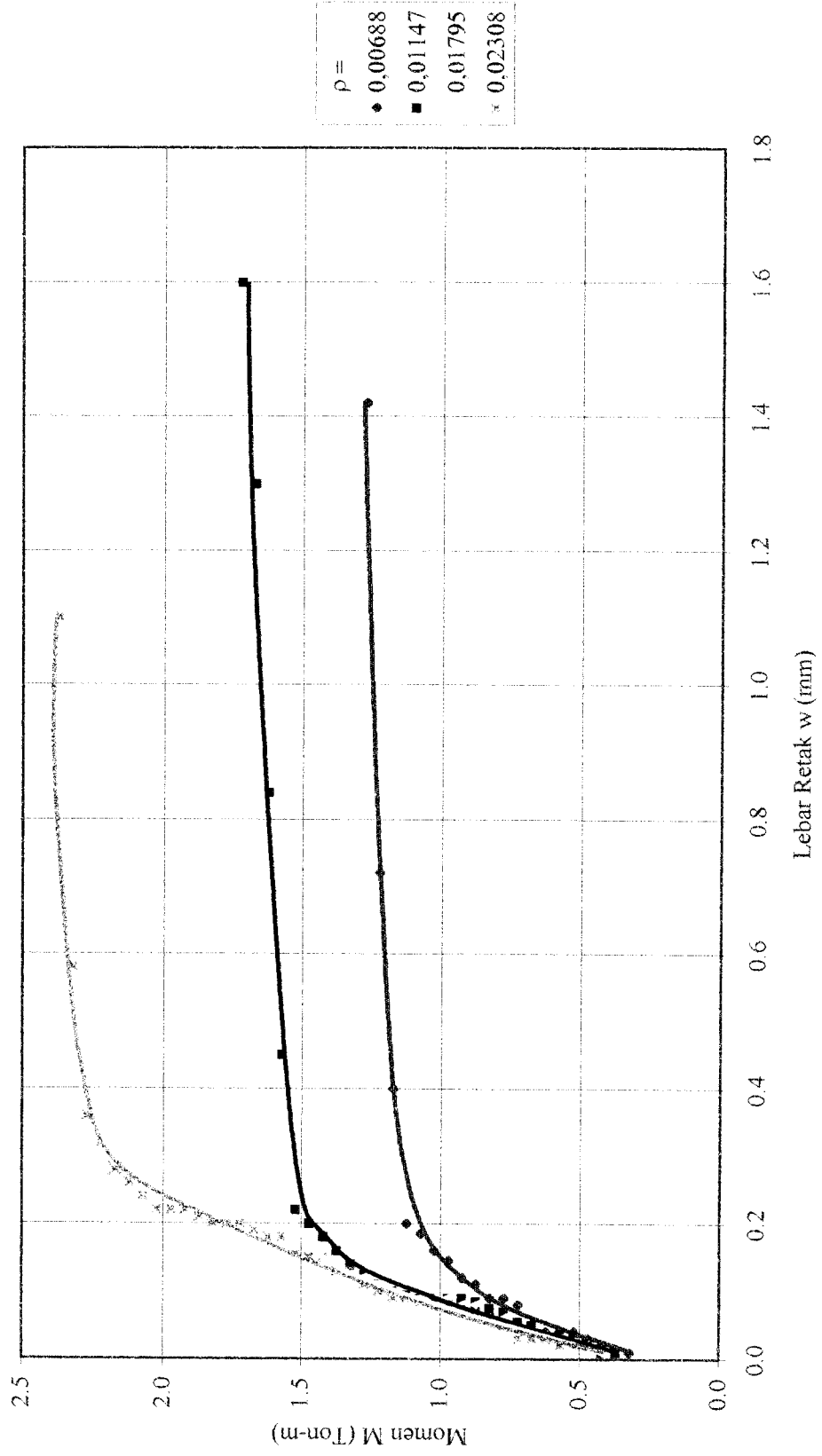
Hasil pengujian kuat desak pada silinder beton dengan diameter 15 cm, tinggi 30 cm, sebanyak 24 buah, diperoleh kuat desak beton rerata pada umur 28 hari sebesar 53,99 MPa (Lampiran 4 Tabel 1), dengan deviasi standar sebesar 1,523 MPa (Lampiran 4 Tabel 2).

4.1.2 Hasil Pengujian Lentur Balok

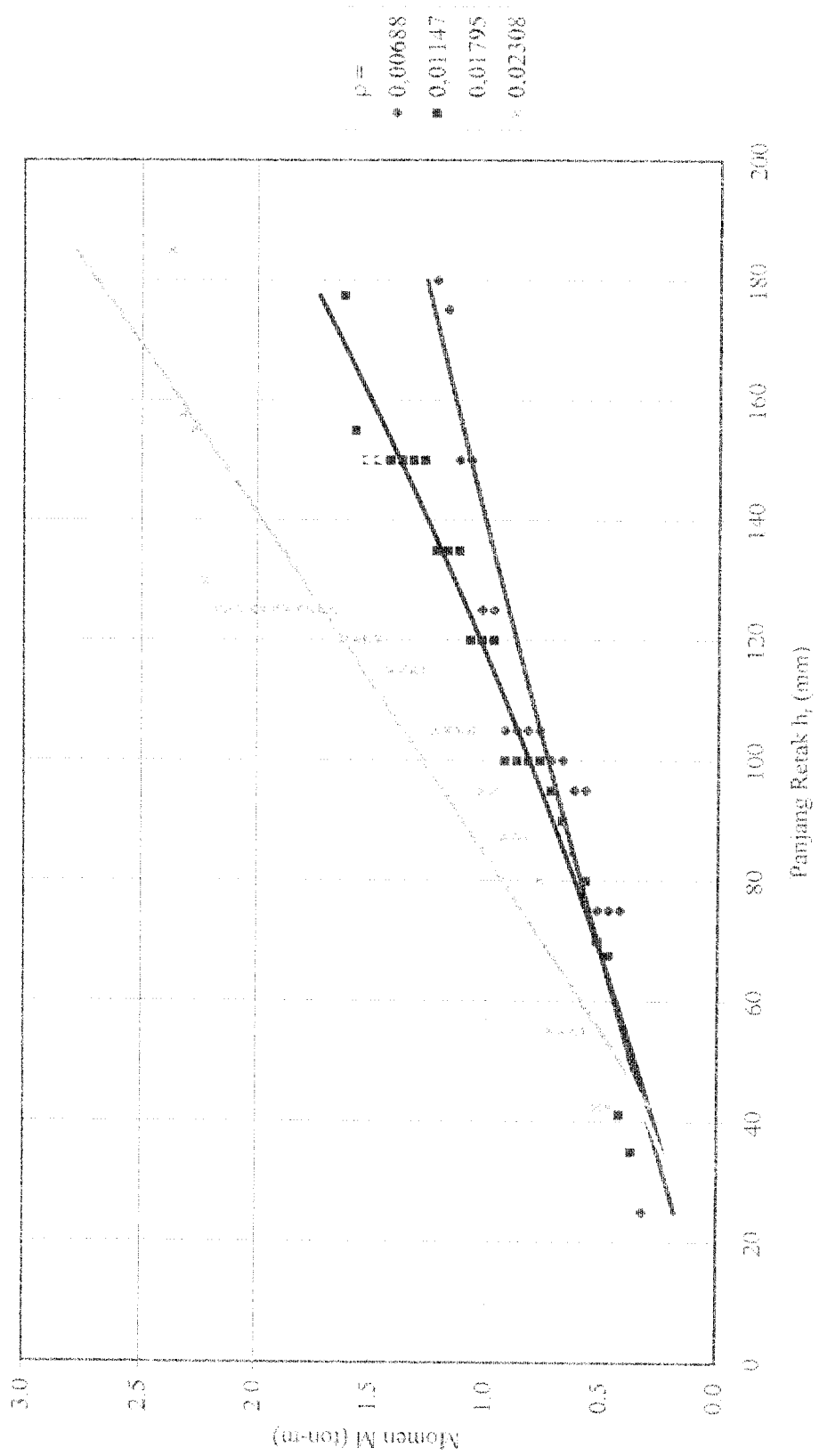
Hasil dari pengujian lentur balok pada masing-masing variasi berdasarkan rasio luas tulangan meliputi; lebar retak, regangan baja, lendutan dan urutan kejadian retak pada setiap penambahan beban ditampilkan pada Lampiran 5 Tabel 1 sampai Tabel 8, dari hasil tersebut kemudian dibuat nilai rata-rata setiap variasi rasio luas tulangan yang ditampilkan pada Lampiran 5 Tabel 9. Pada Lampiran 5 Tabel 10 adalah hubungan momen dan kelengkungan, dan tabel selanjutnya yaitu Tabel 11

pada Lampiran 5 adalah hubungan P/P_{max} , w/H dan h_r/H , dengan w , H , h_r secara berturut-turut adalah lebar retak, tinggi balok dan panjang retak. Pada Lampiran 5 grafik hubungan beban P dan regangan baja, digunakan untuk mencari titik leleh tulangan baja pada masing-masing variasi. Dengan menggunakan Tabel 9 sampai Tabel 11 pada Lampiran 5 tersebut, kemudian dibuat grafik dengan cara memplotkan langsung di setiap titik kenaikan beban pada masing-masing rasio luas tulangan, selanjutnya grafik-grafik tersebut dianalisis dan kemudian diregresi. Grafik setelah diregresi ditampilkan pada Grafik 4.1 sampai Grafik 4.6 dan pola retak yang mewakili masing-masing variasi rasio luas tulangan ditampilkan pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4.

Pada Grafik 4.2, oleh karena kejadian retak yang tidak konsisten pada satu pola retak, maka pengukuran panjang retak tidak diukur pada satu tempat pola retak, melainkan diambil dari urutan retak yang terjadi pada daerah lentur, hal ini agar didapat panjang retak yang dapat mewakili untuk masing-masing variasi rasio penulangan sesuai dengan tahapan pembebanan, dan panjang retak diukur dengan arah vertikal atau tegak lurus dengan garis netral. Pada Grafik 4.1; 4.2; 4.5 dan 4.6, grafik tidak dimulai dari titik nol, hal ini dikarenakan sebelum terjadi retak pertama, retak yang terjadi pada awal pembebanan tidak dapat diukur atau dideteksi dengan peralatan yang ada.

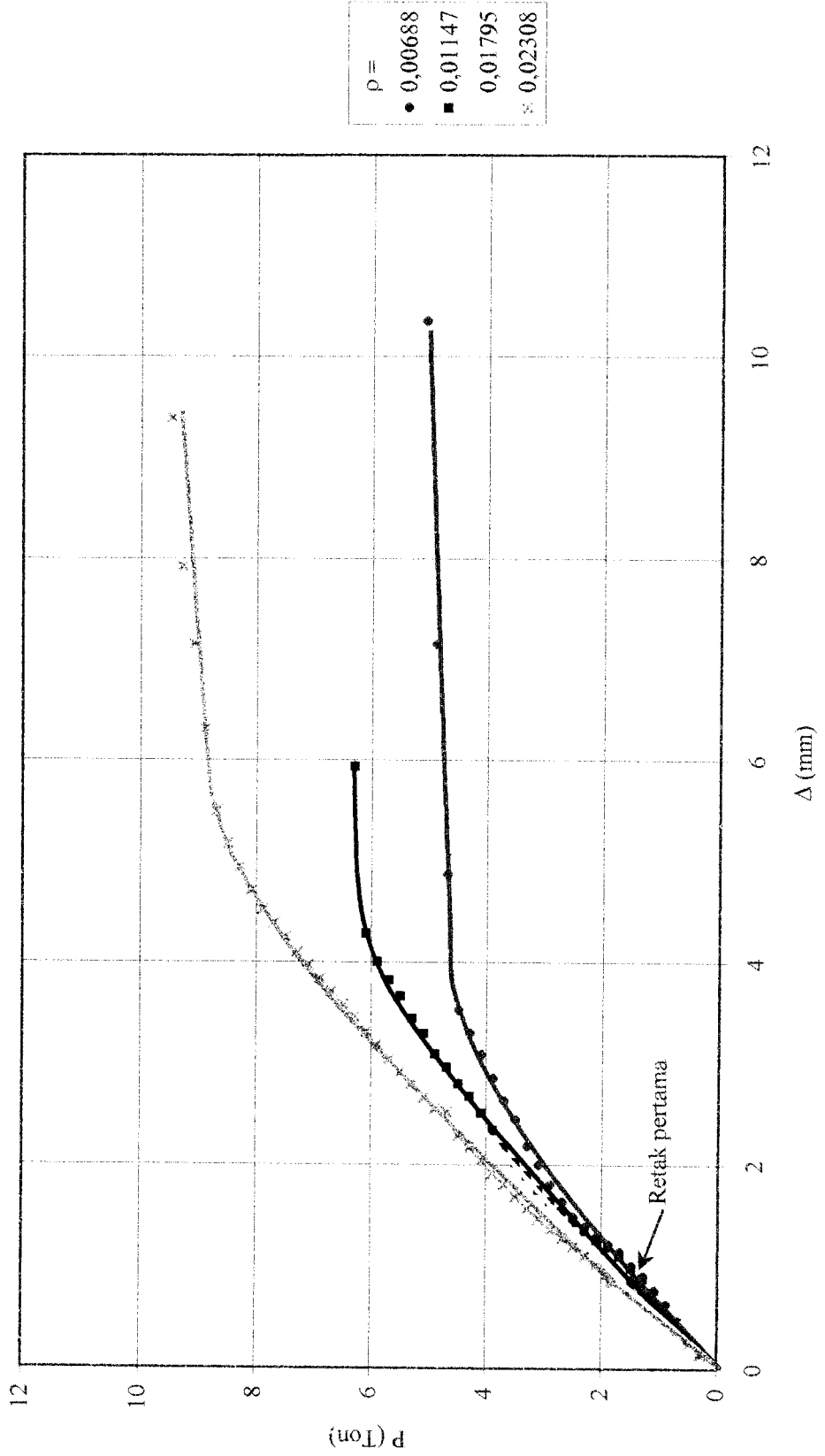


Grafik 4.1 Hubungan Momen Lentur dan Lebar Retak

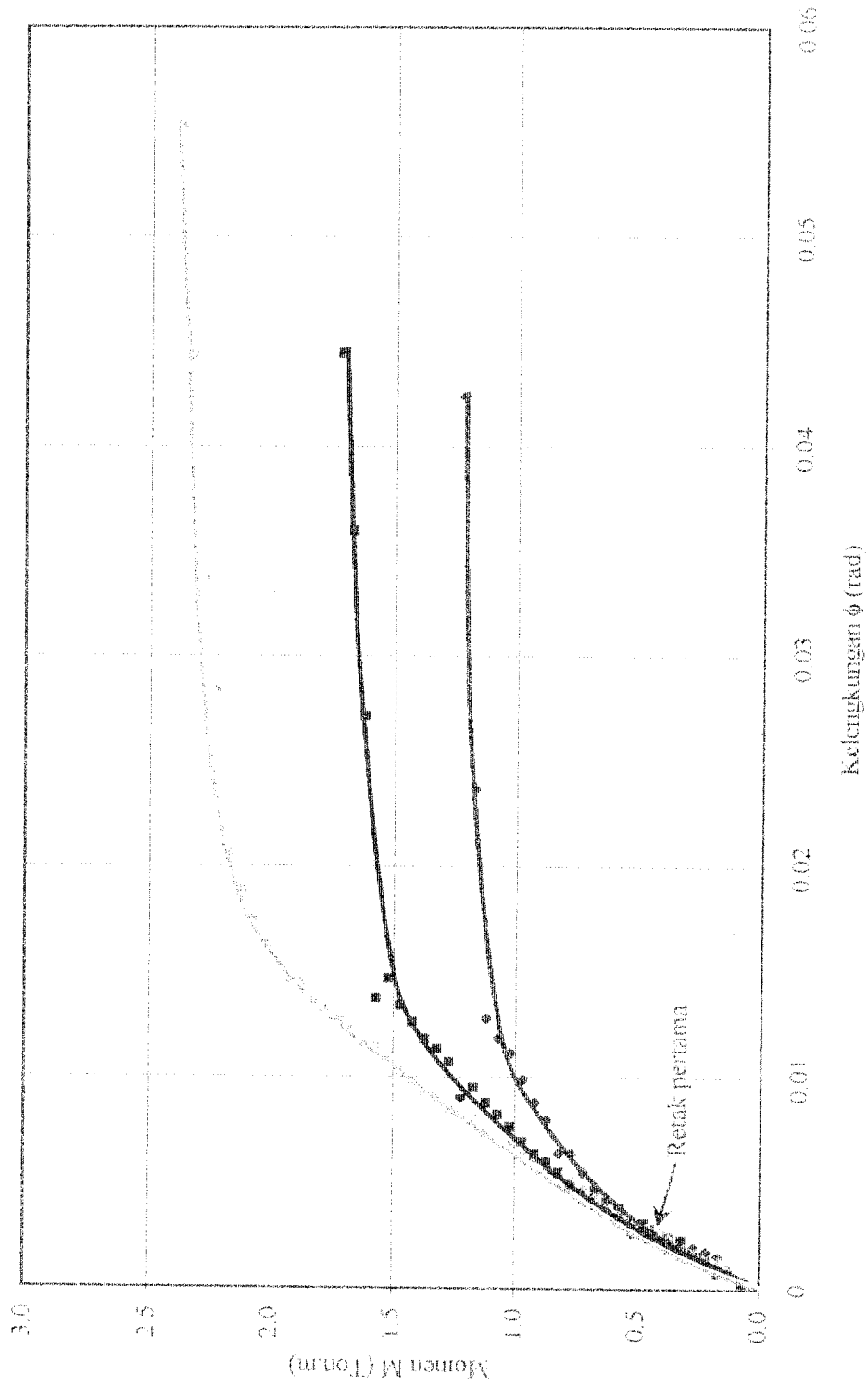


Grafik 4.2 Hubungan Momen Lentur dan Panjang Retak

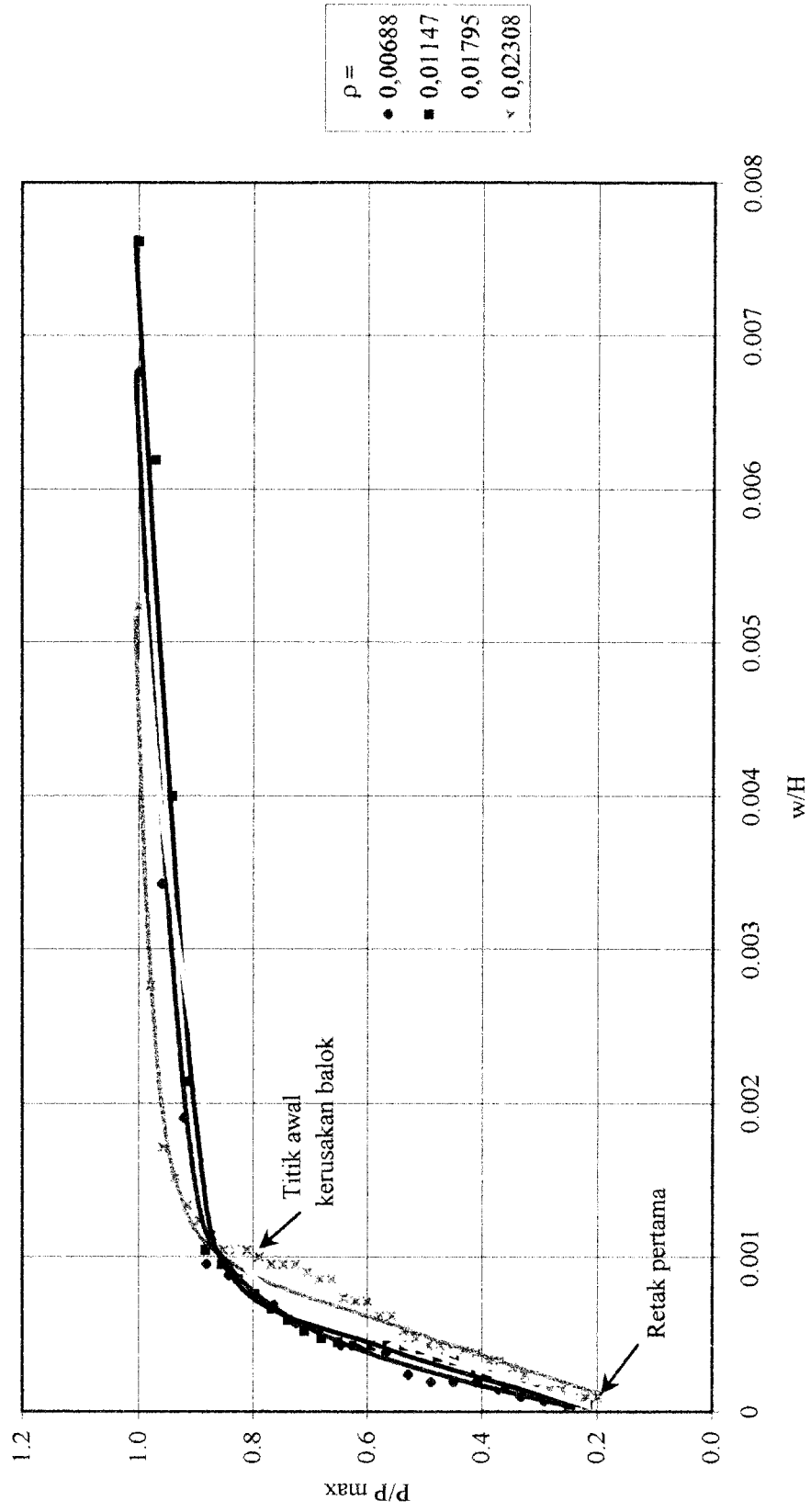




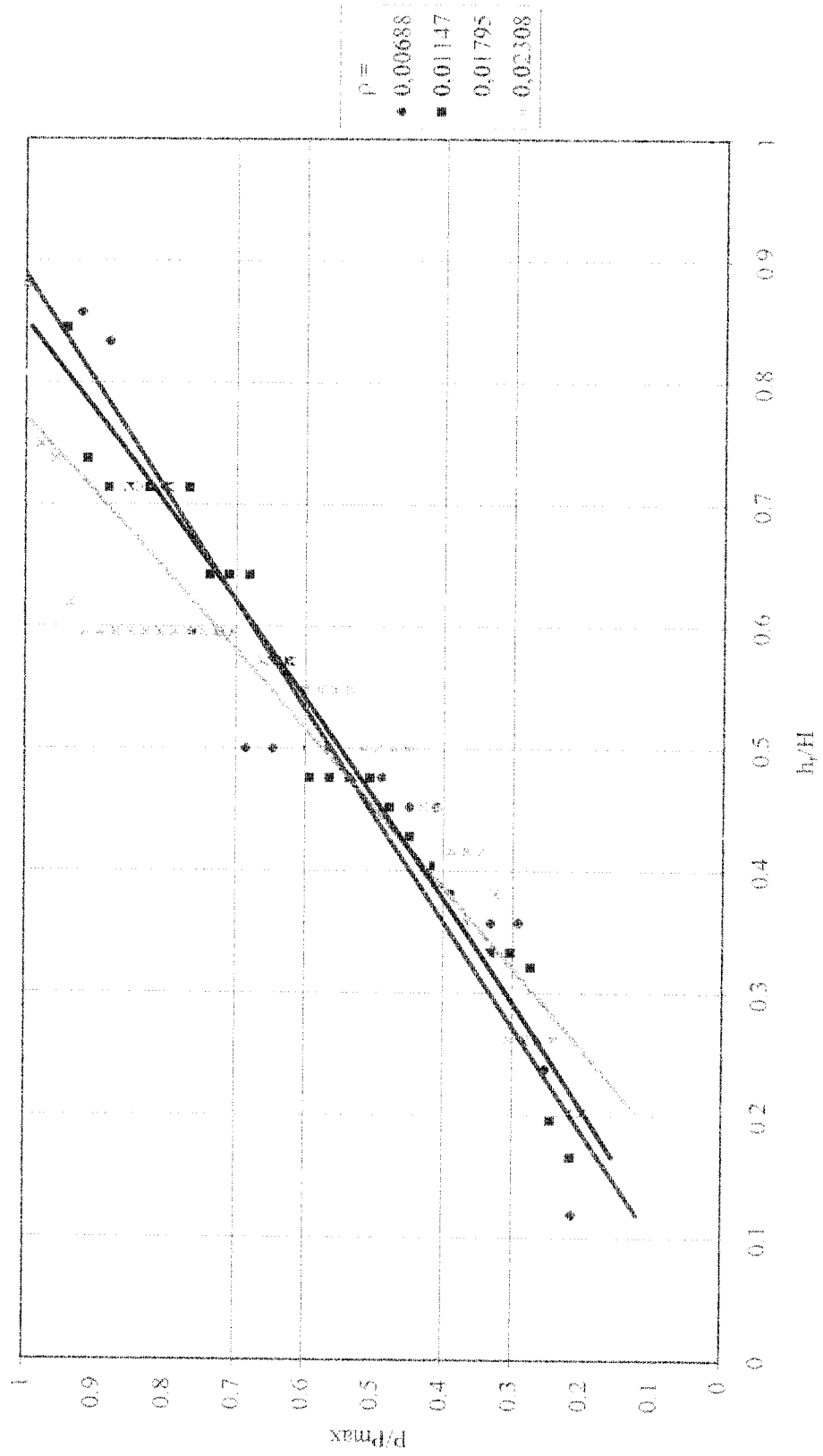
Grafik 4.3 Hubungan Beban P dan Lentutan



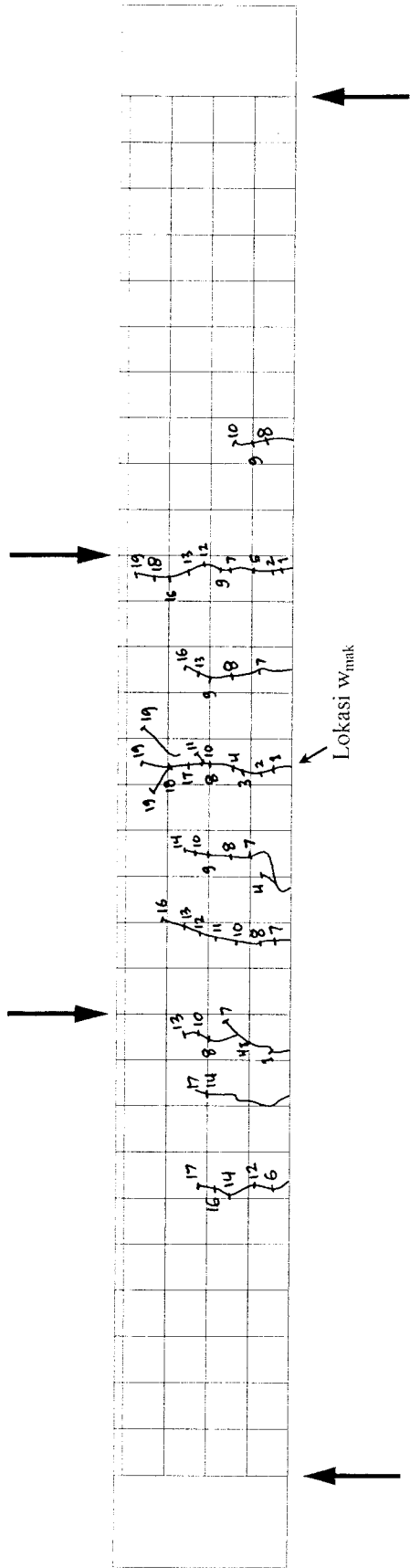
Grafik 4.4 Hubungan Momen dan Kelengkungan



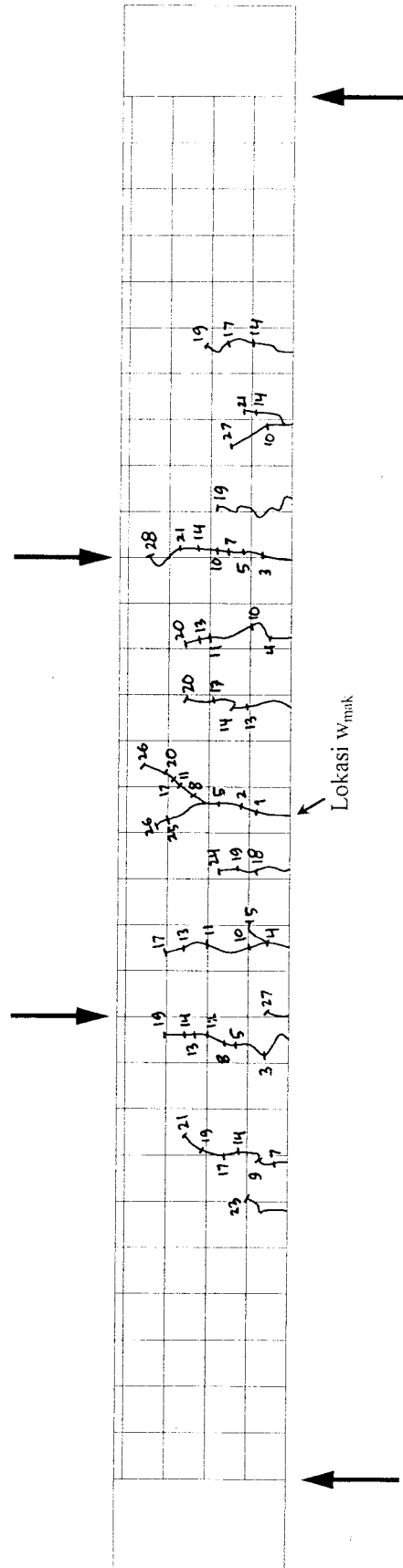
Grafik 4.5 Hubungan P/P_{max} dan w/H



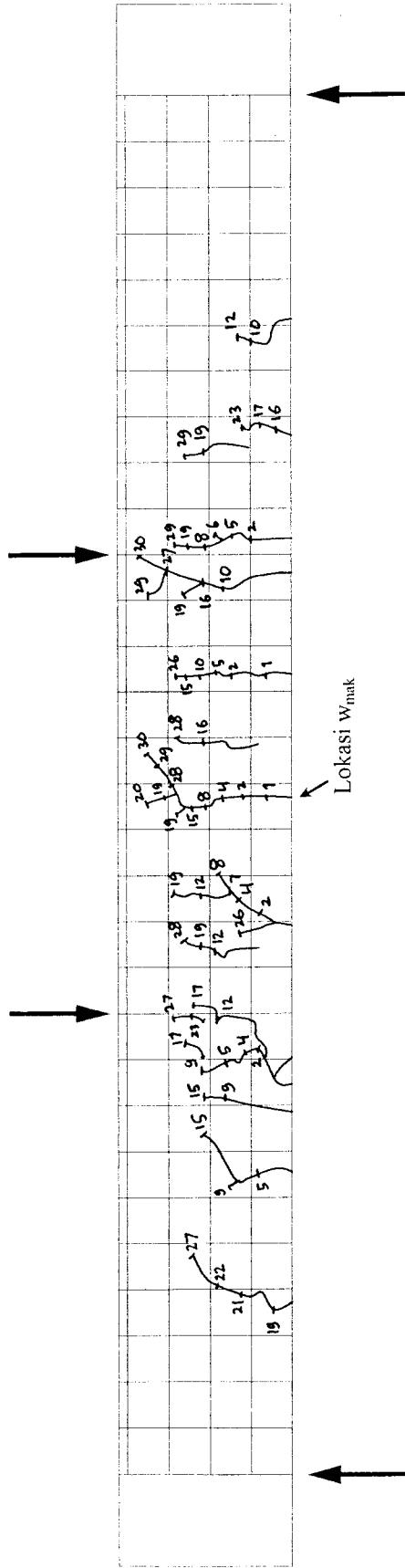
Grafik 4.6 Hubungan P/P_{max} dan h_v/H



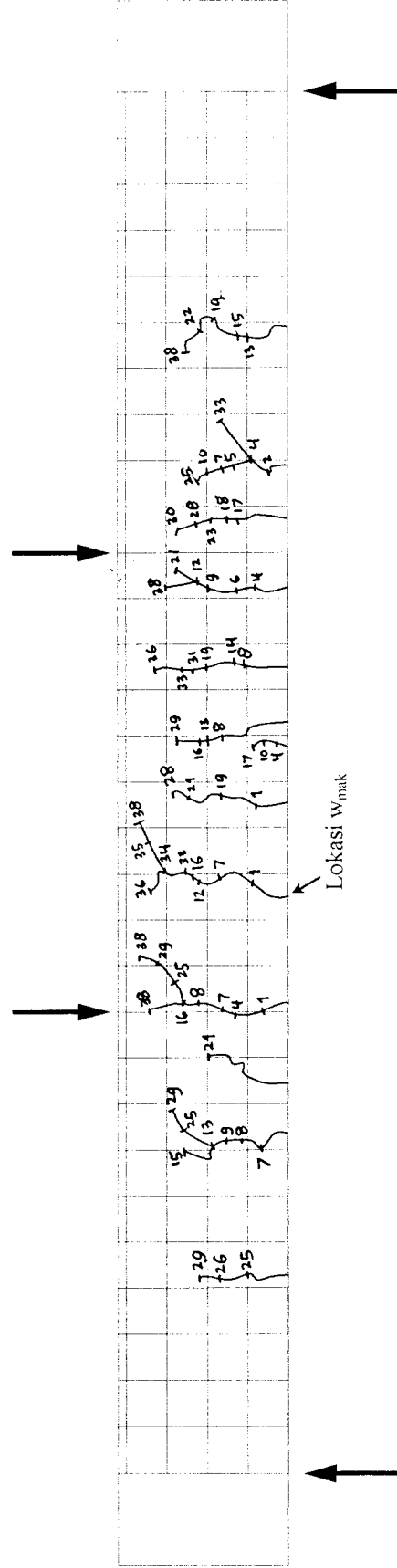
Gambar 4.1 Pola retak balok $\rho = 0,00668$



Gambar 4.2 Pola retak balok $\rho = 0,01147$



Gambar 4.3 Pola retak balok $\rho = 0,01795$



Gambar 4.4 Pola retak balok $\rho = 0,02308$

4.2 Pembahasan

4.2.1 Kuat Desak Beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat desak pada 24 buah silinder beton pada umur 28 hari, didapat nilai kuat tekan beton rata-rata (f'_c) adalah 53,99 MPa. Nilai kuat desak beton ini telah melebihi 43 MPa untuk kuat desak beton mutu tinggi sebagaimana yang dikemukakan oleh Parka (1999). Hasil yang diperoleh ini tidak terlalu jauh dari perencanaan atau dalam perhitungan proporsi campuran beton (*mix design*) yaitu dengan f'_c rencana 50 MPa. Kuat desak rata-rata yang lebih tinggi sebesar 8 % ini dimungkinkan karena tidak adanya data lapangan yang memadai (Persamaan 2.26 dan 2.27) sehingga mengambil nilai S (standar deviasi) yang tinggi dan hanya berdasarkan campuran uji coba di laboratorium (Persamaan 2.28). Deviasi standar yang diperoleh berdasarkan Lampiran 4 Tabel 2 adalah 1,523 MPa. Nilai deviasi standar ini relatif kecil, hal ini menunjukkan keseragaman hasil yang diperoleh.

4.2.2 Retak Lentur Beton Mutu Tinggi

1. Hubungan Momen Lentur dan Retak Lentur

Pada variasi rasio luas tulangan 0,00688; 0,01147; 0,01795; dan 0,02308, dengan penambahan rasio luas tulangan yang relatif konstan diperoleh penambahan momen yang sebanding untuk semua variasi, tetapi terdapat perbedaan pada variasi II ke variasi III yaitu terjadi penurunan momen sebesar 50%, hal ini disebabkan perbedaan jumlah lapis tulangan tarik yang dipakai. Pada hubungan momen lentur

dan panjang retak (Grafik 4.2), sejalan dengan penambahan momen lentur maka panjang retak akan bertambah panjang secara linear hal ini dimungkinkan karena pada setiap penambahan momen maka garis netral juga akan terus bergerak ke arah tepi tertekan, hal ini sesuai yang dikemukakan oleh Winter dan Arthur (1983), sehingga panjang retak yang terjadi linear terhadap penambahan momen, sedangkan pada hubungan momen lentur dan lebar retak (Grafik 4.1), pada setiap penambahan momen, sebelum baja tulangan luluh pertambahan lebar retak yang terjadi masih cenderung kecil tetapi setelah baja tulangan luluh lebar retak akan bertambah dengan cepat.

2. Hubungan Beban dan Lendutan

Nilai kekakuan balok diperoleh dari perbandingan hubungan beban dan lendutan (Grafik 4.3). Pada rasio luas tulangan yang lebih besar, maka kekakuan akan lebih besar, dengan rasio luas tulangan 0,00688; 0,01147; 0,01795; dan 0,02308, nilai kekakuan mengalami peningkatan secara berturut turut sebesar 19,08%; 25,71%; 41,58%. Terlihat pada Grafik 4.3 bahwa retak pertama tidak dipengaruhi oleh beban P , dan pada saat beban mencapai suatu tingkat yang menyebabkan tulangan baja meluluh atau dapat dikatakan telah runtuh secara struktural, selanjutnya komponen terus melendut meskipun tanpa ada tambahan beban, karena modulus elastisitas beton terus berkurang, hal ini sesuai yang dikemukakan oleh Istimawan (1994).

3. Hubungan Momen dan Kelengkungan

Nilai EI diperoleh dari perbandingan hubungan momen dan kelengkungan (Grafik 4.4). Pada rasio luas tulangan yang lebih besar maka EI akan lebih besar, dengan rasio luas tulangan 0,00688; 0,01147; 0,01795; dan 0,02308, nilai EI mengalami peningkatan secara berturut turut sebesar 21,72%; 30,96%; 35,67%. Terlihat pada Grafik 4.4 bahwa retak pertama tidak dipengaruhi oleh beban P.

4. Hubungan Non Dimensional

Pada grafik hubungan P/P_{max} dan w/H (Grafik 4.5) terlihat bahwa awal kerusakan balok terjadi pada saat w/H sama dengan 0,001, ini berarti bahwa awal kerusakan balok terjadi saat lebar retak telah mencapai 0,001 dari tinggi balok dan hal ini tidak dipengaruhi oleh rasio luas tulangan. Retak pertama pada masing-masing rasio luas tulangan terjadi pada P/P_{max} yang hampir bersamaan, dengan prosentase terhadap P_{max} sebagai berikut; 25%; 22%; 22%; 20%, dengan masing-masing rasio penulangan secara berurutan 0,00688; 0,01147; 0,01795; dan 0,02308. Pada rasio luas tulangan yang lebih besar retak pertama terjadi lebih dahulu dan lebar retak akan lebih besar (Grafik 4.6) dan setelah balok mengalami awal kerusakan maka rasio luas tulangan tidak mempengaruhi lebar retak.

5. Pola Retak Lentur

Pada setiap variasi rasio luas tulangan pola retak yang terjadi dengan arah vertikal atau tegak lurus dengan gaya yang bekerja (Gambar 4.1 sampai 4.4), hal ini menunjukkan retak yang terjadi adalah retak lentur seperti yang dikemukakan oleh Nawy (1990), demikian pula pada daerah geser retak yang terjadi dengan arah vertikal hal ini disebabkan karena pemberian tulangan geser yang cukup kuat. Pada variasi luas tulangan yang lebih besar terlihat bahwa jarak antar retak (spasi retak) cenderung semakin kecil atau jumlah retak cenderung lebih banyak dibandingkan pada rasio luas tulangan yang lebih kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian terhadap benda-benda uji lentur dan uji desak pada penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. pada struktur statis tertentu awal kerusakan balok terjadi saat lebar retak telah mencapai 0,001 dari tinggi balok (periksa Grafik 4.5),
2. retak pertama terjadi pada saat beban berkisar sebesar 20% dari beban maksimal (periksa Grafik 4.5),
3. awal kerusakan balok terjadi pada saat beban berkisar sebesar 85% dari beban maksimal (periksa Grafik 4.5),
4. semakin tinggi rasio penulangan retak yang terjadi semakin lebar, tetapi setelah balok mengalami awal kerusakan rasio penulangan tersebut tidak lagi berpengaruh terhadap lebar retak (periksa Grafik 4.5),
5. jumlah tulangan yang terlalu banyak cenderung mempercepat terjadinya retak,
6. pada rasio luas tulangan yang lebih besar jarak antar retak (spasi retak) cenderung lebih pendek (periksa Gambar 4.1 sampai 4.4),
7. kekakuan dan EI akan lebih besar pada rasio luas tulangan yang lebih besar (periksa Grafik 4.3 dan 4.4).

5.2 Saran-Saran

Saran-saran yang diberikan pada penelitian ini, antara lain;

1. diupayakan tahap (*step*) pembebanan yang diberikan lebih kecil agar retak pertama dapat diketahui pada beban yang sesuai,
2. pada pemasangan sampai pengecoran *strain gauge* diusahakan selalu dikontrol agar berfungsi dengan baik,
3. perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan variasi rasio penulangan dan mutu beton yang lebih beragam,

DAFTAR PUSTAKA

_____, 1990, **TATA CARA PERHITUNGAN BETON BERTULANG INDONESIA**, SK-SNI-T-15-1990-03, Yayasan LPMB, Bandung.

Alberto Carpinteri, 1997, **STRUCTURAL MECHANICS A UNIFIED APPROACH**, First Edition, E & FN SPON, UK

Ansel C. Ugural Dan Saul K. Fenster, 1994, **ADVANCE STRENGTH AND APPLIED ELASTICITY**, Third Edition, PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

Antono A., 1985, **TEKNOLOGI BETON**, KMTS-UGM, Yogyakarta.

B. Benmokrane, O. Chaallal, dan R. Masmoudi, 1995, **FLEXURAL RESPONSE OF CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH FRP REINFORCING BARS**, ACI Structural / May-June

Ben C. Gerwick, Jr, 1993 **CONSRUCTION OF PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES**, Edisi Kedua, John Wiley & Sons, Inc.

Denis Mitchell, Homayoun Hosseini Abrishami, dan Sidney Mindess, 1996, **THE EFFECT OF STEEL FIBERS AND EPOXY-COATED REINFORCEMENT ON TENSION STIFFENING AND CRACKING OF REINFORCED CONCRETE**, ACI Materials Journal / January-February.

E. P. Popov, 1984, **MEKANIKA TEKNIK**, Erlangga, Jakarta.

Edward G Nawy, 1990 **BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR**, PT ERESKO, Bandung.

George Winter Dan Arthur H. Nilson, 1983 **DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES**, Ninth Edition, Mc Graw-Hill International Book Corporation

H. Marzouk dan Z. W. Chen, 1995, **FRACTURE ENERGY AND TENSION PROPERTIES OF HIGHT STRENGTH CONCRETE**, JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING / May

Hanna M. Makhlof Dan Faris A. Malhas, 1996 **THE EFFECT OF THICK CONCRETE COVER ON THE MAXIMUM FLEXURAL CRACK WIDTH UNDER SERVICE LOAD**, ACI STRUCTURAL JOURNAL, May-June

Istimawan D, 1994, **STUKTUR BETON BERTULANG**, SK SNI T-15-1991-03, DPU, PT Gramedia, Jakarta.

J.C. Walraven. Dan H.W. Reinhardt, 1981, **HERON**, VOLUME 26, NO. 1A

J.H. Bungey. Dan S.G. Millard, 1996 **TESTING OF CONCRETE IN STRUCTURE**, Edisi ketiga, Blackie Academic of Professional.

Karl Wiegink, Shashidhara Marikunte, dan Surendra P. Shah, 1996, **SHRINKAGE CRACKING OF HIGHT-STRENGTH CONCRETE**, ACI Materials Journal / September-October

Keitetsu Rokugo, Yuichida, Hidenori Katoh, dan Wataru Kayanagi, 1995, **FRACTURE MECHANICS APPROACH TO EVALUATION OF FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE**, ACI Material Journal, Sept-Oct.

Kusuma G. dan Vis, 1991, **PEDOMAN Pengerjaan Beton**, SK SNI T-15-1991-03, Yayasan LPMB, Bandung.

M. Reza Esfahani dan B. Vijaya Rangan, 1998, **BOND BETWEEN NORMAL STRENGTH AND HIGHT-STRENGTH CONCRETE (HSC) AND REINFORCING BARS IN SPLICES IN BEAMS**, ACI Structural Journal / May-June

Michele Theriault dan Brahim Benmokrane, 1998, **EFFECTS OF FRP REINFORCEMENT RATIO AND CONCRETE STRENGTH ON FLEXURAL BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS**, JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION / February

Murdock L.J. dan Brook K.M., 1986, **BAHAN DAN PRAKTEK BETON**, Edisi keempat, Erlangga.

Parka I.N, 1999, **MAKALAH SEMINAR BETON MUTU TINGGI**, BMPTSI dan Universitas Tarumanegara.

R F Warner, B V Rangan, dan A S Hall, 1976, **REIFORCED CONCRETE**, First Published, Pitman

Richard W. Hertzberg, 1996, **DEFORMATION AND FRACTURE MECHANICS OF ENGINEERING MATERIALS**, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc.

R. Park, T. Paulay, 1975, **REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**, John Wiley & Sons, Inc.

Steven C. Chapra, Raymond P. Canale, 1989, **NUMERICAL METHODS FOR ENGINEERS**, Second Edition, Mc Graw-Hill International Edition.

Suhud R, 1999, **MAKALAH SEMINAR BETON MUTU TINGGI**, BMPTSI dan Universitas Tarumanegara.

Surendra P Shah, 1990, **FRACTURE TOUGHNESS FOR HIGH-STRENGTH CONCRETE**, ACI Materials Journal / May-June

Suwandojo siddiq, 1999, **PERENCANAAN CAMPURAN BETON MUTU TINGGI UNTUK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT TINGGI**, Jurnal Penelitian Pemukiman, DPU.

Tata S, Prof .Ir.MS.Met, E, dan Shinroku S, Prof. DR, **PENGETAHUAN BAHAN TEKNIK**,

Tjokrodimuljo K., 1995, **TEKNOLOGI BETON**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil UGM, Yogyakarta

Wahyudi L., dan Rahim S.A., 1997, **STUKTUR BETON BERTULANG STANDAR BARU**, SNI-15-1991-03, PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Lampiran

GRADASI PASIR DAN MODULUS HALUS PASIR

PASIR 1

No	Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal komulatif (%)
1	4.8	0	0	0
2	2.4	38.95	7.79	7.79
3	1.2	137.25	27.44	35.23
4	0.6	160.85	32.16	67.39
5	0.3	93.45	18.68	86.07
6	0.15	49.65	9.93	96.00
7	Sisa	20	3.99	-

$$\Sigma = 292.5$$

$$M_{hb} = \frac{292.5}{100} \times 100\% = 2.925$$

PASIR 2

No	Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal komulatif (%)
1	4.8	0	0	0
2	2.4	39.95	7.98	7.98
3	1.2	136.35	27.22	35.20
4	0.6	162.65	32.47	67.67
5	0.3	94.45	18.86	86.53
6	0.15	48.45	9.67	96.21
7	Sisa	19	3.79	-

$$\Sigma = 293.6$$

$$M_{hb} = \frac{293.6}{100} \times 100\% = 2.936$$

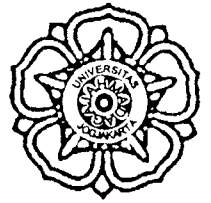
$$\text{Rata - rata} = \frac{2,925 + 2,936}{2} = 2,9305$$



LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN PAU ILMU TEKNIK - UNIVERSITAS GADJAH MADA

(Mechanics of Materials Lab., Inter University Centre, Gadjah Mada Univ.)

JALAN TEKNIKA UTARA - BAREK, YOGYAKARTA 55281 TELP. (62) (0274) 565834, 902287 FAX. (62) 565834



BERAT JENIS GEMBUR KERING PASIR, γ_{gk}

Rumus :

$$\gamma_{gk} \text{ pasir} = \frac{B_0}{B_s + B_0 - B_l}$$

$$1. \frac{500}{702.1 + 500 - 986.1} = 2,31$$

$$2. \frac{500}{702.1 + 500 - 994.2} = 2,41$$

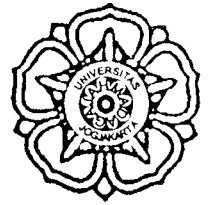
$$\text{Rata - rata} = \frac{2,31 + 2,41}{2} = 2,36$$



LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN PAU ILMU TEKNIK - UNIVERSITAS GADJAH MADA

(Mechanics of Materials Lab., Inter University Centre, Gadjah Mada Univ.)

JALAN TEKNIKA UTARA - BAREK, YOGYAKARTA 55281 TELP. (62) (0274) 565834, 902287 FAX. (62) 565834



PENYERAPAN PASIR (ABSORBSI)

Rumus :

$$\text{Penyerapan} = \frac{\text{pasir basah} - \text{pasir ssd}}{\text{pasir ssd}} \times 100\%$$

1. $\frac{500 - 493,75}{493,75} \times 100\% = 1,266\%$

2. $\frac{500 - 493}{493} \times 100\% = 1,42\%$

3. $\frac{2457,9 - 2424,4}{2424,4} \times 100\% = 1,38\%$

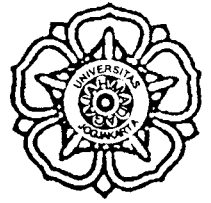
$$\text{Rata - rata} = \frac{1,266\% + 1,42\% + 1,38\%}{3} = 1,36\%$$



LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN PAU ILMU TEKNIK - UNIVERSITAS GADJAH MADA

(Mechanics of Materials Lab., Inter University Centre, Gadjah Mada Univ.)

JALAN TEKNIKA UTARA - BAREK, YOGYAKARTA 55281 TELP. (62) (0274) 565834, 902287 FAX. (62) 565834



BERAT KOMPAK PASIR (Wkop)

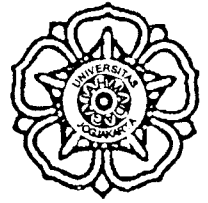
Berat bejana = 2550 gr

Berat bejana + pasir kering tumbuk = 7 kg (berat isi bejana)

Volume bejana = 0,00275 m³

$$W_{kop} = \frac{\text{berat bejana isi} - \text{berat bejana}}{\text{volume bejana}}$$

$$= \frac{7 - 2,55}{0,00275} = 1618,181 \text{ kg/m}^3$$



KADAR AIR / MOISTURE PASIR

Rumus :

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{pasir ssd} - \text{pasir kering oven}}{\text{pasir kering oven}} \times 100\%$$

$$1. \frac{1000 - 957,7}{957,7} \times 100\% = 4,42\%$$

$$2. \frac{1000 - 963,2}{963,2} \times 100\% = 3,82\%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{4,42\% + 3,82\%}{2} = 4,12\%$$

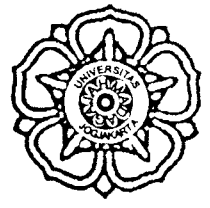


LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN

PAU ILMU TEKNIK - UNIVERSITAS GADJAH MADA

(Mechanics of Materials Lab., Inter University Centre, Gadjah Mada Univ.)

JALAN TEKNIKA UTARA - BAREK, YOGYAKARTA 55281 TELP. (62) (0274) 565834, 902287 FAX. (62) 565834



KANDUNGAN LUMPUR PASIR

Rumus :

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{\text{tinggi lumpur dalam bejana}}{\text{tinggi total}} \times 100\%$$

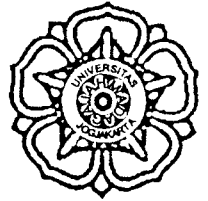
$$= \frac{0,8}{64} \times 100\% = 1,25\%$$



LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN PAU ILMU TEKNIK - UNIVERSITAS GADJAH MADA

(Mechanics of Materials Lab., Inter University Centre, Gadjah Mada Univ.)

JALAN TEKNIKA UTARA - BAREK, YOGYAKARTA 55281 TELP. (62) (0274) 565834, 902287 FAX. (62) 565834



BERAT JENIS GEMBUR KERING KERIKIL, γ_{gk}

Rumus :

$$\gamma_{gk} \text{ kerikil} = \frac{\text{kerikil ssd}}{\text{kerikil ssd} - \text{kerikil dalam air}}$$

$$1. \frac{5000}{5000 - 3155} = 2,71$$

$$2. \frac{4990}{4990 - 3150} = 2,71$$

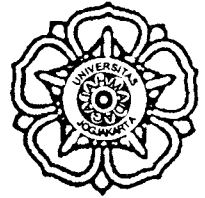
$$\text{Rata - rata} = \frac{2,71 + 2,71}{2} = 2,71$$



LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN PAU ILMU TEKNIK - UNIVERSITAS GADJAH MADA

(Mechanics of Materials Lab., Inter University Centre, Gadjah Mada Univ.)

JALAN TEKNIKA UTARA - BAREK, YOGYAKARTA 55281 TELP. (62) (0274) 565834, 902287 FAX. (62) 565834



PENYERAPAN KERIKIL (ABSORBSI)

Rumus :

$$\text{Penyerapan} = \frac{\text{kerikil basah} - \text{kerikil ssd}}{\text{kerikil ssd}} \times 100\%$$

$$1. \quad \frac{5000 - 4964}{4964} \times 100\% = 0,725\%$$

$$2. \quad \frac{5000 - 4953}{4953} \times 100\% = 0,95\%$$

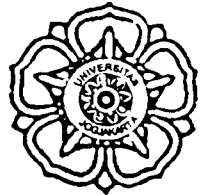
$$\text{Rata - rata} = \frac{0,725\% + 0,95\%}{2} = 0,84\%$$



LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN PAU ILMU TEKNIK - UNIVERSITAS GADJAH MADA

(Mechanics of Materials Lab., Inter University Centre, Gadjah Mada Univ.)

JALAN TEKNIKA UTARA - BAREK, YOGYAKARTA 55281 TELP. (62) (0274) 565834, 902287 FAX. (62) 565834



BERAT KOMPAK KERIKIL (Wkop)

Berat bejana = 5,5 kg

Berat bejana + kerikil kering tumbuk = 20 kg (berat isi bejana)

Volume bejana = 0,010129 m³

$$W_{kop} = \frac{\text{berat bejana isi} - \text{berat bejana}}{\text{volume bejana}}$$

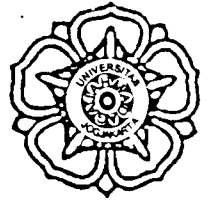
$$= \frac{20 - 5,5}{0,010129} = 1431,52 \text{ kg/m}^3$$



LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN PAU ILMU TEKNIK - UNIVERSITAS GADJAH MADA

(Mechanics of Materials Lab., Inter University Centre, Gadjah Mada Univ.)

JALAN TEKNIKA UTARA - BAREK, YOGYAKARTA 55281 TELP. (62) (0274) 565834, 902287 FAX. (62) 565834



KADAR AIR / MOISTURE KERIKIL

Rumus :

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{kerikil ssd} - \text{kerikil kering oven}}{\text{kerikil kering oven}} \times 100\%$$

$$1. \frac{5036 - 4990}{4990} \times 100\% = 0,92\%$$

$$2. \frac{5027 - 5000}{5000} \times 100\% = 0,54\%$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{0,92\% + 0,54\%}{2} = 0,73\%$$

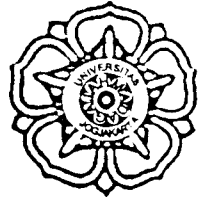


LABORATORIUM MEKANIKA BAHAN

PAU ILMU TEKNIK - UNIVERSITAS GADJAH MADA

(Mechanics of Materials Lab., Inter University Centre, Gadjah Mada Univ.)

JALAN TEKNIKA UTARA - BAREK, YOGYAKARTA 55281 TELP. (62) (0274) 565834, 902287 FAX. (62) 565834



KEAUSAN KERIKIL

Rumus :

$$\begin{aligned}\text{Keausan} &= \frac{A - B}{A} \times 100 \% \\ &= \frac{5000 - 4200}{5000} \times 100 \% = 16 \%\end{aligned}$$

dengan;

A = berat kerikil lolos saringan 19,05 mm dan tertahan saringan 9,51 mm

B = berat kerikil tertahan saringan 1,7 mm setelah diputar 500 kali

Lampiran 2

Perencanaan tulangan

$$f_c = 53 \text{ MPa} \quad ; \quad \beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c - 30) = 0,666$$

$$f_y = 300 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 53 \cdot 0,666 \left(\frac{600}{600 + 300} \right)}{300} = 0,0667 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0667 = 0,050$$

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 1,4/300 = 0,00467$$

$$\text{Luas tulangan } A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$d_{s1} = 20 + 8 + 12/2 = 34 \text{ mm}$$

$$d_1 = 210 - 34 = 176 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = 20 + 8 + 12 + 25/2 = 52,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = 210 - 52,5 = 157,5 \text{ mm}$$

Diperhitungkan sebagai tulangan rangkap

Variasi I

$$2D12 (A_s = 226,2 \text{ mm}^2); d_1 = 176 \text{ mm}; A_s' = 56,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = 226,2 - 56,6 = 169,6 \text{ mm}^2$$

$$\rho = A_{s1}/b \cdot d = 169,6/(140 \cdot 176) = 0,00688$$

Lampiran 2

Variasi II

$$3D12 (A_s = 339,3 \text{ mm}^2); d_1 = 176 \text{ mm}; A_s' = 56,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = 339,3 - 56,6 = 282,7 \text{ mm}^2$$

$$\rho = A_{s1}/b.d = 282,7/(140.176) = 0,01147$$

Variasi III

$$4D12 (A_s = 452,4 \text{ mm}^2); d_2 = 157,5 \text{ mm}; A_s' = 56,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = 452,4 - 56,6 = 395,8 \text{ mm}^2$$

$$\rho = A_{s1}/b.d = 395,8/(140.157,5) = 0,01795$$

Variasi IV

$$5D12 (A_s = 565,5 \text{ mm}^2); d_2 = 157,5 \text{ mm}; A_s' = 56,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = 565,5 - 56,6 = 508,9 \text{ mm}^2$$

$$\rho = A_{s1}/b.d = 508,9/(140.157,5) = 0,02308$$

Perencanaan tulangan geser

Dipakai diameter tulangan geser = 8 mm ; $f_y = 350 \text{ MPa}$

Dicoba dengan variasi terbesar 5D12 ; $A_s = 565,5 \text{ mm}^2$

Keseimbangan gaya-gaya dalam :

$$T = C_c + C_s$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a = 0,85 \cdot 53,99 \cdot 140 \cdot a = 6424,81a$$

$$C_s = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c) = 56,6 (350 - 0,85 \cdot 53,99) = 17212,54 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y = 565,5 \cdot 300 = 169650 \text{ N}$$

Lampiran 2

$$T = C_c + C_s$$

$$169650 = 6424,81a + 17212,54$$

$$a = 23,73$$

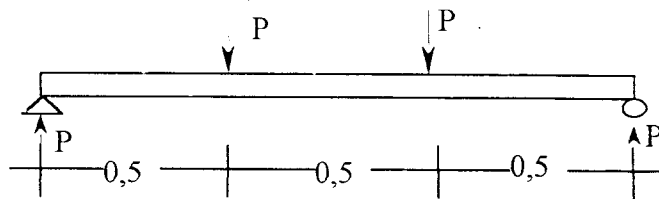
$$M_n = C_c (d - a/2) + C_s (d - d')$$

$$= (6424,81 \cdot 23,73) (157,5 - 23,73/2) + 17212,54 (157,5 - 20)$$

$$= 24570344,31 \text{ Nmm} = 24,57 \text{ KNm}$$

$$M_u = 0,8M_n$$

$$= 0,8 \cdot 24,57 = 19,66 \text{ KNm}$$



$$M_{\max} = P \cdot 0,75 - P \cdot 0,25 = 0,5P$$

$$M_{\min} = M_u$$

$$0,5P = 19,66$$

$$P = 19,66/0,5 = 39,32 \text{ KN}$$

Tulangan geser

$$V_u = P = 39,32 \text{ KN}$$

$$V_u/\phi = 39,32/0,6 = 65,53 \text{ KN}$$

Lampiran 2

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$$

$$= 1/6 \cdot \sqrt{53,99} \cdot 140 \cdot 157,5 = 26,24 \text{ KN}$$

$$V_s \text{ min} = 1/3 b \cdot d = 1/3 \times 140 \times 157,5 = 7350 \text{ N}$$

$$= 7,35 \text{ KN}$$

$$V_c + V_s \text{ min} = 26,24 + 7,35 = 33,59 \text{ KN}$$

$$3V_c = 3 \times 26,24 = 78,73 \text{ KN}$$

$$(V_c + V_s \text{ min}) < \frac{V_u}{\phi} < 3V_c \quad (\text{perlu tulangan geser})$$

dipakai sengkang diameter 8 mm, $A_v = 100,6 \text{ mm}^2$; $f_y = 350 \text{ MPa}$

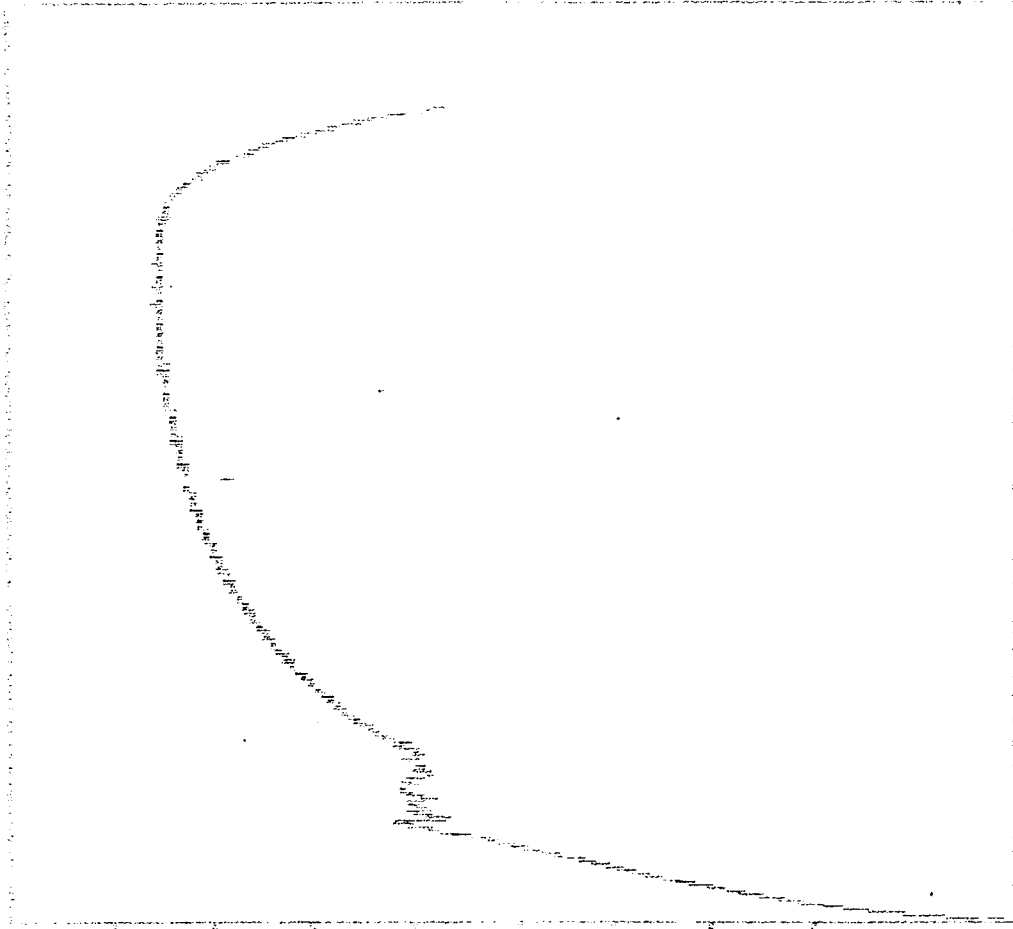
$$S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c \right)}$$

$$\leq \frac{100,6 \cdot 350 \cdot 157,5}{(65,53 - 26,24) \cdot 10^3} = 141 \text{ mm}$$

$$S \leq d/2 = 157,5/2 = 78,75 \text{ mm}$$

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

Dipakai sengkang P8-60 mm untuk semua variasi



1000
 800
 600
 400
 200
 0
 -200
 -400
 -600
 -800
 -1000

0.000
 0.001
 0.002
 0.003
 0.004
 0.005
 0.006
 0.007
 0.008
 0.009
 0.010

1000
 800
 600
 400
 200
 0
 -200
 -400
 -600
 -800
 -1000

0.000
 0.001
 0.002
 0.003
 0.004
 0.005
 0.006
 0.007
 0.008
 0.009
 0.010

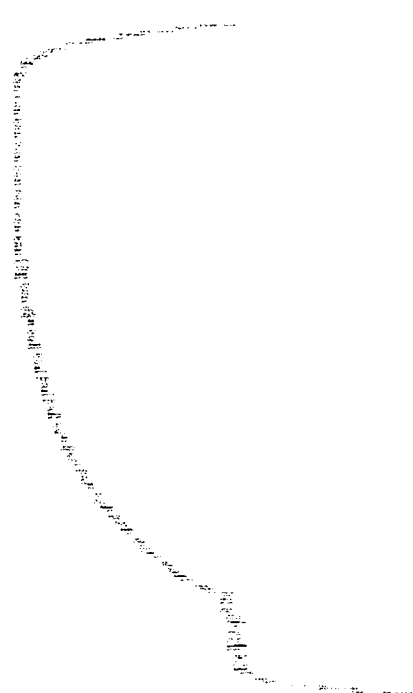
1000
 800
 600
 400
 200
 0
 -200
 -400
 -600
 -800
 -1000

0.000
 0.001
 0.002
 0.003
 0.004
 0.005
 0.006
 0.007
 0.008
 0.009
 0.010

1000
 800
 600
 400
 200
 0
 -200
 -400
 -600
 -800
 -1000

0.000
 0.001
 0.002
 0.003
 0.004
 0.005
 0.006
 0.007
 0.008
 0.009
 0.010

1950
 1951
 1952
 1953
 1954
 1955
 1956
 1957
 1958
 1959
 1960
 1961
 1962
 1963
 1964
 1965
 1966
 1967
 1968
 1969
 1970
 1971
 1972
 1973
 1974
 1975
 1976
 1977
 1978
 1979
 1980
 1981
 1982
 1983
 1984
 1985
 1986
 1987
 1988
 1989
 1990
 1991
 1992
 1993
 1994
 1995
 1996
 1997
 1998
 1999
 2000
 2001
 2002
 2003
 2004
 2005
 2006
 2007
 2008
 2009
 2010
 2011
 2012
 2013
 2014
 2015
 2016
 2017
 2018
 2019
 2020
 2021
 2022



1950
 1951
 1952
 1953
 1954
 1955
 1956
 1957
 1958
 1959
 1960
 1961
 1962
 1963
 1964
 1965
 1966
 1967
 1968
 1969
 1970
 1971
 1972
 1973
 1974
 1975
 1976
 1977
 1978
 1979
 1980
 1981
 1982
 1983
 1984
 1985
 1986
 1987
 1988
 1989
 1990
 1991
 1992
 1993
 1994
 1995
 1996
 1997
 1998
 1999
 2000
 2001
 2002
 2003
 2004
 2005
 2006
 2007
 2008
 2009
 2010
 2011
 2012
 2013
 2014
 2015
 2016
 2017
 2018
 2019
 2020
 2021
 2022

1950
 1951
 1952
 1953
 1954
 1955
 1956
 1957
 1958
 1959
 1960
 1961
 1962
 1963
 1964
 1965
 1966
 1967
 1968
 1969
 1970
 1971
 1972
 1973
 1974
 1975
 1976
 1977
 1978
 1979
 1980
 1981
 1982
 1983
 1984
 1985
 1986
 1987
 1988
 1989
 1990
 1991
 1992
 1993
 1994
 1995
 1996
 1997
 1998
 1999
 2000
 2001
 2002
 2003
 2004
 2005
 2006
 2007
 2008
 2009
 2010
 2011
 2012
 2013
 2014
 2015
 2016
 2017
 2018
 2019
 2020
 2021
 2022

1950
 1951
 1952
 1953
 1954
 1955
 1956
 1957
 1958
 1959
 1960
 1961
 1962
 1963
 1964
 1965
 1966
 1967
 1968
 1969
 1970
 1971
 1972
 1973
 1974
 1975
 1976
 1977
 1978
 1979
 1980
 1981
 1982
 1983
 1984
 1985
 1986
 1987
 1988
 1989
 1990
 1991
 1992
 1993
 1994
 1995
 1996
 1997
 1998
 1999
 2000
 2001
 2002
 2003
 2004
 2005
 2006
 2007
 2008
 2009
 2010
 2011
 2012
 2013
 2014
 2015
 2016
 2017
 2018
 2019
 2020
 2021
 2022

2022

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Desak Silinder Beton

No	Kode	Slump	Diameter	Tinggi	Berat	Berat Jenis	P Desak	Kuat Desak
		(cm)	(cm)	(cm)	(kg)	(kg/cm ³)	KN	(Mpa)
1	nstg1	5	15,075	30,20	13,3	0,0024581	1000	56,03
2	nstg2	5	15,015	30,30	13,2	0,0024603	950	53,65
3	nstg3	5	15,120	30,30	13,2	0,0024263	960	53,47
4	nstg4	5	15,010	30,30	13,0	0,0024247	950	53,69
5	nstg5	5	15,100	30,30	13,0	0,0023958	920	51,37
6	nstg6	5	15,070	30,00	13,1	0,0024481	910	51,02
7	nstg7	5,5	15,070	30,00	13,0	0,0024294	940	52,70
8	nstg8	5,5	14,970	30,00	13,0	0,002462	910	51,70
9	nstg9	5,5	14,980	30,00	13,1	0,0024776	930	52,77
10	nstg10	5	15,005	30,30	13,2	0,0024636	980	55,42
11	nstg11	5	15,105	30,00	13,2	0,0024554	955	53,29
12	nstg12	5	14,990	30,00	13,0	0,0024554	940	53,26
13	stg1	7	15,050	30,20	13,4	0,0024942	950	53,40
14	stg2	7	15,000	30,00	13,1	0,002471	940	53,19
15	stg3	7	15,000	30,10	13,2	0,0024816	970	54,89
16	stg4	3	14,900	30,20	13,4	0,0025447	970	55,63
17	stg5	3	15,050	30,30	13,3	0,0024674	1000	56,21
18	stg6	3	14,945	30,40	13,3	0,002494	960	54,73
19	stg7	5	14,980	30,10	13,1	0,0024694	940	53,34
20	stg8	5	15,010	30,20	13,2	0,0024701	1000	56,51
21	stg9	5	15,020	30,00	13,0	0,0024456	970	54,74
22	stg10	3	15,080	30,00	13,3	0,0024822	1000	55,99
23	stg11	3	14,985	30,10	13,2	0,0024866	960	54,43
24	stg12	3	15,090	30,10	13,3	0,0024707	970	54,24

$$\text{Kuat desak rata-rata } f_c' = 1295,68 / 24 = 53,99 \text{ MPa}$$

Tabel 2. Perhitungan deviasi standar

No	fc (MPa)	Ni	(fc-fcr)	(fc-fcr) ²	Ni(fc-fcr) ²
1	56.03	1	2.04	4.14837	4.14837
2	53.65	1	-0.34	0.11448	0.11448
3	53.47	1	-0.52	0.27457	0.27457
4	53.69	1	-0.30	0.09157	0.09157
5	51.37	1	-2.62	6.84304	6.84304
6	51.02	1	-2.97	8.83168	8.83168
7	52.70	1	-1.29	1.66383	1.66383
8	51.70	1	-2.29	5.23464	5.23464
9	52.77	1	-1.22	1.49364	1.49364
10	55.42	1	1.43	2.04405	2.04405
11	53.29	1	-0.70	0.48549	0.48549
12	53.26	1	-0.73	0.52691	0.52691
13	53.40	1	-0.59	0.34528	0.34528
14	53.19	1	-0.80	0.63502	0.63502
15	54.89	1	0.90	0.81139	0.81139
16	55.63	1	1.64	2.68971	2.68971
17	56.21	1	2.22	4.94193	4.94193
18	54.73	1	0.74	0.54092	0.54092
19	53.34	1	-0.65	0.42870	0.42870
20	56.51	1	2.52	6.36577	6.36577
21	54.74	1	0.75	0.56955	0.56955
22	55.99	1	2.00	3.99844	3.99844
23	54.43	1	0.44	0.19687	0.19687
24	54.24	1	0.25	0.06149	0.06149
	1295.68	24			53.33734

$$S = \sqrt{\frac{53,33734}{24-1}} = 1,523\text{MPa}$$

Lampiran 5

1. Tabel hasil pengujian lentur balok

Tabel 1. Pengujian lentur balok $\rho = 0,00688$ (nstg) pada umur 28 hari

No	P lentur (kg)	Lebar retak (mm)	Lendutan			Ket
			Kiri	Tengah	Kanan	
1	291.8		16	18.5	17	
2	491.8		34	36	30	
3	691.8		50	54	44	
4	891.8		64	69.5	56	
5	1091.8		75.6	81	66	
6	1291.8	0.01	86	90	73	Retak ke 1
7	1491.8	0.01	96	101	82	Retak ke 2
8	1691.8	0.02	702	106	87	Retak ke 3
9	1891.8	0.03	115	115	94	Retak ke 4
10	2091.8	0.04	123	122	102	Retak ke 5
11	2291.8	0.04	135	135	112	Retak ke 6
12	2491.8	0.04	149	150	125	Retak ke 7
13	2691.8	0.05	163	167	138	Retak ke 8
14	2891.8	0.06	178.5	183.5	152	Retak ke 9
15	3091.8	0.07	193	201	167	Retak ke 10
16	3291.8	0.080	214	224	185	Retak ke 11
17	3491.8	0.080	238.5	249	207	Retak ke 12
18	3691.8	0.100	255	268	224	Retak ke 13
19	3891.8	0.140	274.5	290	242	Retak ke 14
20	4091.8	0.160	295	314	263	Retak ke 15
21	4291.8	0.170	313	335	282	Retak ke 16
22	4491.8	0.185	332	358	307	Retak ke 17
23	4691.8	0.185	402	458	328	Retak ke 18
24	4891.8	0.300	606	702	556	Retak ke 19
25	5125.8	1.420	862	1035	800	Retak ke 20
26	5457.8					P runtuh

Lampiran 5

Tabel 2. Pengujian lentur balok $\rho = 0,01147$ (nstg) pada umur 28 hari

No	P (kg)	Lebar retak (mm)	Lendutan			Ket
			Kiri	Tengah	Kanan	
1	291.8		17	25	29	
2	491.8		24	35	42	
3	691.8		33	48	59	
4	891.8		42	62	76	
5	1091.8		51	76	94	
6	1291.8		62	90	106	
7	1491.8	0.01	72	100	115	Retak ke 1
8	1691.8	0.01	86	112	123	Retak ke 2
9	1891.8	0.02	98	122	131	Retak ke 3
10	2091.8	0.02	108	131	138	Retak ke 4
11	2291.8	0.03	116	139	142	Retak ke 5
12	2491.8	0.04	126	150	151	Retak ke 6
13	2691.8	0.06	138	162	161	Retak ke 7
14	2891.8	0.06	152	176	173	Retak ke 8
15	3091.8	0.08	164	190	185	Retak ke 9
16	3291.8	0.08	179	207	200	Retak ke 10
17	3491.8	0.1	192	221	212	Retak ke 11
18	3691.8	0.1	208	239	228	Retak ke 12
19	3891.8	0.1	226	259	245	Retak ke 13
20	4091.8	0.1	240	275	260	Retak ke 14
21	4291.8	0.1	257	295	278	Retak ke 15
22	4491.8	0.1	270	310	291	Retak ke 16
23	4691.8	0.1	287	329	307	Retak ke 17
24	4891.8	0.12	303	341	323	Retak ke 18
25	5091.8	0.14	318	364	338	Retak ke 19
26	5291.8	0.14	331	384	356	Retak ke 20
27	5491.8	0.15	359	410	379	Retak ke 21
28	5691.8	0.19	373	428	394	Retak ke 22
29	5891.8	0.21	391	450	413	Retak ke 23
30	6091.8	0.28	420	489	454	Retak ke 24
31	6603.8					P runtuh

Tabel 3. Pengujian lentur balok $\rho = 0,01795$ (nstg) pada umur 28 hari

No	P (kg)	Lebar retak (mm)	Lendutan			Ket
			Kiri	Tengah	Kanan	
1	291.8		19	9	0	
2	491.8		30	21	12	
3	691.8		38	33	26	
4	891.8		47	45	42	
5	1091.8		58	58	58	
6	1291.8		65	67	67	
7	1491.8		72	75	75	
8	1691.8		79	81	81	
9	1891.8	0.01	86	87	86	Retak ke 1
10	2091.8	0.01	94	95	92	Retak ke 2
11	2291.8	0.02	103	105	98	Retak ke 3
12	2491.8	0.02	114	115	102	Retak ke 4
13	2691.8	0.02	126	127	111	Retak ke 5
14	2891.8	0.02	138	138	119	Retak ke 6
15	3091.8	0.02	153	154	132	
16	3291.8	0.04	162	164	141	Retak ke 7
17	3491.8	0.06	175	179	152	Retak ke 8
18	3691.8	0.06	188	192	163	Retak ke 9
19	3891.8	0.07	203	208	176	Retak ke 10
20	4091.8	0.07	213	222	190	Retak ke 11
21	4291.8	0.08	228	238	204	Retak ke 12
22	4491.8	0.08	242	254	217	Retak ke 13
23	4691.8	0.09	256	269	231	Retak ke 14
24	4891.8	0.10	270	284	244	Retak ke 15
25	5091.8	0.10	284	299	256	Retak ke 16
26	5291.8	0.10	304	318	270	Retak ke 17
27	5491.8	0.10	319	333	284	Retak ke 18
28	5691.8	0.12	330	345	295	
29	5891.8	0.14	350	368	314	Retak ke 19
30	6091.8	0.20	360	376	315	Retak ke 20
31	6291.8	0.26	376	397	323	Retak ke 21
32	6491.8	0.28	396	420	329	Retak ke 22

Lampiran 5

33	6691.8	0.32	421	452	332	Retak ke 23
34	6891.8	0.36	471	521	434	Retak ke 24
35	7091.8	1.00	559	648	535	Retak ke 25
36	7291.8	1.08	715	824	636	Retak ke 26
37	7491.8	1.12	815	964	836	Retak ke 27
38	9151.8	4.00				P runtuh

Tabel 4. Pengujian lentur balok $\rho = 0,02308$ (nstg) pada umur 28 hari

No	P (kg)	Lebar retak (mm)	Lendutan			Ket
			Kiri	Tengah	Kanan	
1	291.8		9	14	11	
2	491.8		15	26	22	
3	691.8		24	41	39	
4	891.8		32	52	51	
5	1091.8		40	63	62	
6	1291.8		49	73	72	
7	1491.8		55	80	76	
8	1691.8		64	88	84	
9	1891.8		70	92	86	
10	2091.8	0.02	80	102	92	Retak ke 1
11	2291.8	0.02	89	111	98	Retak ke 2
12	2491.8	0.03	98	120	105	Retak ke 3
13	2691.8	0.03	104	127	110	Retak ke 4
14	2891.8	0.03	112	135	116	Retak ke 5
15	3091.8	0.04	121	145	123	Retak ke 6
16	3291.8	0.04	130	154	132	Retak ke 7
17	3491.8	0.05	142	167	142	Retak ke 8
18	3691.8	0.06	154	180	155	Retak ke 9
19	3891.8	0.06	164	190	165	Retak ke 10
20	4091.8	0.07	175	203	177	Retak ke 11
21	4291.8	0.07	185	215	187	Retak ke 12
22	4491.8	0.07	197	227	198	Retak ke 13
23	4691.8	0.08	207	240	209	Retak ke 14
24	4891.8	0.08	217	251	218	Retak ke 15

Lampiran 5

25	5091.8	0.1	230	265	231	Retak ke 16
26	5291.8	0.1	240	277	241	Retak ke 17
27	5491.8	0.13	251	288	252	Retak ke 18
28	5691.8	0.14	264	301	262	Retak ke 19
29	5891.8	0.14	277	315	275	Retak ke 20
30	6091.8	0.14	289	328	285	Retak ke 21
31	6291.8	0.16	300	342	296-	Retak ke 22
32	6491.8	0.16	312	356	309	Retak ke 23
33	6691.8	0.19	322	368	319	Retak ke 24
34	6891.8	0.19	334	380	329	Retak ke 25
35	7091.8	0.19	345	392	340	Retak ke 26
36	7291.8	0.2	360	407	353	Retak ke 27
37	7491.8	0.2	372	421	364	Retak ke 28
38	7691.8	0.2	383	433	376	Retak ke 29
39	7891.8	0.21	395	447	387	Retak ke 30
40	8091.8	0.22	411	465	401	Retak ke 31
41	8291.8	0.24	432	488	418	Retak ke 32
42	8491.8	0.26	455	513	437	Retak ke 33
43	8691.8	0.28	488	551	463	Retak ke 34
44	8891.8	0.28	575	649	506	Retak ke 35
45	9091.8	0.3	640	732	613	Retak ke 36
46	9291.8	0.56	665	778	614	Retak ke 37
47	9491.8	1.1	800	938	730	Retak ke 38
48	10451.8					P runtuh

Tabel 5. Pengujian lentur balok $\rho = 0,00688$ (stg) pada umur 28 hari

No	P (kg)	Lebar retak (mm)	Regangan	Lendutan			Ket
				Kiri	Tengah	Kanan	
1	291.8		7	11	14	14	
2	491.8		14	21	26	29	
3	691.8		24	31	40	44	
4	891.8		36	43	55	64	
5	1091.8		48	52	67	78	
6	1291.8	0.010	67	67	82	94	Retak ke 1

Lampiran 5

7	1491.8	0.015	92	78	93	105	Retak ke 2
8	1691.8	0.020	118	86	102	111	Retak ke 3
9	1891.8	0.030	142	95	112	119	Retak ke 4
10	2091.8	0.040	171	105	123	127	Retak ke 5
11	2291.8	0.040	200	116	135	135	Retak ke 6
12	2491.8	0.040	222	126	147	144	Retak ke 7
13	2691.8	0.040	249	140	161	155	Retak ke 8
14	2891.8	0.050	285	154	177	168	Retak ke 9
15	3091.8	0.060	361	171	198	187	Retak ke 10
16	3291.8	0.100	575	190	213	205	Retak ke 11
17	3491.8	0.120	871	210	240	223	Retak ke 12
18	3691.8	0.120	1025	225	259	240	Retak ke 13
19	3891.8	0.150	1155	242	281	260	Retak ke 14
20	4091.8	0.160	1260	258	304	281	Retak ke 15
21	4291.8	0.200	1419	277	325	300	Retak ke 16
22	4491.8	0.220	1600	295	348	318	Retak ke 17
23	4691.8	0.640	2430	420	515	500	Retak ke 18
24	4891.8	1.140	4926	608	728	550	Retak ke 19
25	5851.8						P runtuh

Tabel 6. Pengujian lentur balok $\rho = 0,01147$ (stg) pada umur 28 hari

No	P (kg)	Lebar retak (mm)	Regangan	Lendutan			Ket
				Kiri	Tengah	Kanan	
1	291.8		7	10	13	16	
2	491.8		16	20	30	35	
3	691.8		27	30	45	54	
4	891.8		38	40	62	71	
5	1091.8		53	48	77	90	
6	1291.8		74	55	88	104	
7	1491.8	0.010	98	64	99	116	Retak ke 1
8	1691.8	0.010	131	73	110	126	Retak ke 2
9	1891.8	0.015	163	80	117	130	Retak ke 3
10	2091.8	0.020	200	85	122	135	Retak ke 4
11	2291.8	0.020	255	96	132	140	Retak ke 5
12	2491.8	0.030	328	105	140	146	Retak ke 6

Lampiran 5

13	2691.8	0.040	399	112	147	151	Retak ke 7
14	2891.8	0.050	466	120	153	156	Retak ke 8
15	3091.8	0.060	559	130	162	163	Retak ke 9
16	3291.8	0.070	631	140	172	170	Retak ke 10
17	3491.8	0.070	701	150	184	181	Retak ke 11
18	3691.8	0.080	763	162	196	192	Retak ke 12
19	3891.8	0.080	867	175	210	205	Retak ke 13
20	4091.8	0.080	955	190	228	220	Retak ke 14
21	4291.8	0.080	1001	202	240	230	Retak ke 15
22	4491.8	0.080	1062	213	252	240	Retak ke 16
23	4691.8	0.080	1111	223	264	250	Retak ke 17
24	4891.8	0.100	1176	236	278	264	Retak ke 18
25	5091.8	0.110	1242	250	295	278	Retak ke 19
26	5291.8	0.140	1299	261	306	290	Retak ke 20
27	5491.8	0.160	1374	277	324	305	Retak ke 21
28	5691.8	0.190	1422	288	337	317	Retak ke 22
29	5891.8	0.210	1490	302	352	330	Retak ke 23
30	6091.8	0.280	1562	314	368	372	Retak ke 24
31	6291.8	0.350	1973	434	494	464	Retak ke 25
32	6491.8	0.840	1975	495	600	535	Retak ke 26
33	6691.8	1.300	2033	570	700	605	Retak ke 27
34	6891.8	1.600	2399	640	800	682	Retak ke 28
35	8461.8						P runtuh

Tabel 7. Pengujian lentur balok $\rho = 0,01795$ (stg) pada umur 28 hari

No	P (kg)	Lebar retak (mm)	Regangan	Lendutan			Ket
				Kiri	Tengah	Kanan	
1	291.8		6	12	24	1	
2	491.8		14	21	38	16	
3	691.8		19	32	52	31	
4	891.8		30	41	67	52	
5	1091.8		41	49	77	60	
6	1291.8		52	56	86	69	
7	1491.8		61	62	93	75	

Lampiran 5

8	1691.8	0.02	82	70	102	82	Retak ke 1
9	1891.8	0.04	103	80	112	90	Retak ke 2
10	2091.8	0.04	137	90	123	98	Retak ke 3
11	2291.8	0.05	174	100	133	104	Retak ke 4
12	2491.8	0.05	221	110	144	113	Retak ke 5
13	2691.8	0.06	279	122	156	122	Retak ke 6
14	2891.8	0.06	390	135	169	131	Retak ke 7
15	3091.8	0.08	470	146	180	140	Retak ke 8
16	3291.8	0.08	550	158	194	150	Retak ke 9
17	3491.8	0.1	636	170	207	161	Retak ke 10
18	3691.8	0.1	709	182	221	173	Retak ke 11
19	3891.8	0.12	770	195	234	185	Retak ke 12
20	4091.8	0.13	851	209	249	199	Retak ke 13
21	4291.8	0.13	919	222	264	211	Retak ke 14
22	4491.8	0.13	984	235	278	224	Retak ke 15
23	4691.8	0.14	1053	250	295	237	Retak ke 16
24	4891.8	0.14	1114	267	312	252	Retak ke 17
25	5091.8	0.15	1178	281	328	266	
26	5291.8	0.16	1244	295	345	280	Retak ke 18
27	5491.8	0.17	1303	307	355	290	Retak ke 19
28	5691.8	0.17	1358	321	370	303	Retak ke 20
29	5891.8	0.18	1430	335	382	315	Retak ke 21
30	6091.8	0.18	1470	348	398	327	Retak ke 22
31	6291.8	0.28	1483	362	414	341	Retak ke 23
32	6491.8	0.3	1501	379	434	357	Retak ke 24
33	6691.8	0.33	1527	402	460	378	Retak ke 25
34	6891.8	0.35	1547	425	485	400	Retak ke 26
35	7091.8	0.38	1580	552	617	524	Retak ke 27
36	7291.8	0.42	1603	625	790	573	Retak ke 28
37	8687.8						P runtuh

Lampiran 5

Tabel 8. Pengujian lentur balok $\rho = 0,02308$ (stg) pada umur 28 hari

No	P (kg)	Lebar retak (mm)	Regangan	Lendutan			Ket
				Kiri	Tengah	Kanan	
1	291.8		5	12	14	18	
2	491.8		11	20	24	30	
3	691.8		19	28	35	45	
4	891.8		31	36	47	60	
5	1091.8		48	45	60	77	
6	1291.8		63	52	69	86	
7	1491.8		79	61	80	96	
8	1691.8		93	68	88	103	
9	1891.8	0.02	107	75	95	108	Retak ke 1
10	2091.8	0.04	126	82	102	114	Retak ke 2
11	2291.8	0.04	143	90	110	121	Retak ke 3
12	2491.8	0.06	163	100	119	126	Retak ke 4
13	2691.8	0.07	189	108	128	133	Retak ke 5
14	2891.8	0.08	220	119	139	141	Retak ke 6
15	3091.8	0.08	269	129	149	150	Retak ke 7
16	3291.8	0.08	320	139	160	160	Retak ke 8
17	3491.8	0.10	366	150	170	170	Retak ke 9
18	3691.8	0.10	438	161	182	180	Retak ke 10
19	3891.8	0.12	487	170	194	190	Retak ke 11
20	4091.8	0.12	541	181	207	201	
21	4291.8	0.13	595	193	218	212	Retak ke 12
22	4491.8	0.13	654	205	231	224	Retak ke 13
23	4691.8	0.13	699	217	245	237	Retak ke 14
24	4891.8	0.14	760	231	260	250	Retak ke 15
25	5091.8	0.16	809	241	269	260	Retak ke 16
26	5291.8	0.16	863	255	284	273	Retak ke 17
27	5491.8	0.16	919	265	296	283	Retak ke 18
28	5691.8	0.16	982	277	309	294	Retak ke 19
29	5891.8	0.16	1058	288	322	305	Retak ke 20
30	6091.8	0.19	1094	300	336	317	Retak ke 21
31	6291.8	0.19	1130	313	349	329	
32	6491.8	0.20	1196	325	360	340	Retak ke 22

Lampiran 5

33	6691.8	0.20	1211	337	374	352	Retak ke 23
34	6891.8	0.21	1287	348	387	364	
35	7091.8	0.21	1300	350	401	375	Retak ke 24
36	7291.8	0.21	1337	371	413	386	Retak ke 25
37	7491.8	0.21	1375	384	429	399	Retak ke 26
38	7691.8	0.21	1435	397	442	411	Retak ke 27
39	7891.8	0.22	1462	410	456	422	Retak ke 28
40	8091.8	0.22	1533	427	476	439	Retak ke 29
41	8291.8	0.22	1635	445	499	460	Retak ke 30
42	8491.8	0.23	1887	466	523	478	Retak ke 31
43	8691.8	0.24	2022	490	549	500	Retak ke 32
44	8891.8	0.32	-	545	615	547	Retak ke 33
45	9091.8	0.36	-	615	698	-	Retak ke 34
46	9291.8	0.58	-	705	805	-	Retak ke 35
47	9491.8	0.70	-	810	940	-	Retak ke 36
48	10287.8	2.00	-				P runtuh

Tabel 9. Rata-rata hasil percobaan

No	P.Lentur (Ton)	M. Lentur (Ton-m)	Lebar Retak (mm)				Panjang retak (mm)				Lendutan (mm)				Regangan							
			Vars. 1	Vars. 2	Vars. 3	Vars. 4	Vars. 1	Vars. 2	Vars. 3	Vars. 4	Vars. 1	Vars. 2	Vars. 3	Vars. 4	Vars. 1	Vars. 2	Vars. 3	Vars. 4				
1	0.2918	0.073												0.17	0.16	0.15	0.14	7	7	7	6	5
2	0.4918	0.123												0.31	0.3	0.29	0.25	14	14	16	14	11
3	0.6918	0.173												0.47	0.46	0.43	0.38	24	24	27	19	19
4	0.8918	0.223												0.63	0.62	0.56	0.5	36	36	38	30	31
5	1.0918	0.273												0.77	0.75	0.68	0.62	48	48	53	41	48
6	1.2918	0.323	0.01				25							0.91	0.89	0.77	0.71	68	74	74	52	63
7	1.4918	0.373	0.015	0.01			50	35						1.01	0.99	0.84	0.8	92	98	98	61	79
8	1.6918	0.423	0.02	0.01	0.01		75	41.25	35					1.15	1.11	0.92	0.88	118	131	131	82	93
9	1.8918	0.473	0.03	0.02	0.02	0.02	75	67.5	55	42.5				1.22	1.2	1	0.94	142	163	163	103	107
10	2.0918	0.523	0.04	0.03	0.025	0.02	75	70	65	42.5				1.3	1.27	1.09	1.02	171	200	200	137	126
11	2.2918	0.573	0.04	0.035	0.03	0.02	95	80	65	55				1.39	1.36	1.19	1.11	200	255	255	174	143
12	2.4918	0.623	0.04	0.035	0.035	0.03	95	85	85	55				1.49	1.45	1.3	1.2	222	328	328	221	163
13	2.6918	0.673	0.05	0.05	0.04	0.03	100	90	85	55				1.64	1.55	1.42	1.28	249	399	399	238	189
14	2.8918	0.723	0.08	0.055	0.04	0.03	100	95	85	55				1.81	1.65	1.54	1.37	285	466	466	285	220
15	3.0918	0.773	0.09	0.07	0.06	0.05	105	100	85	80				2	1.76	1.67	1.47	361	559	559	361	269
16	3.2918	0.823	0.09	0.075	0.06	0.06	105	100	85	87.5				2.19	1.9	1.79	1.57	575	631	631	550	320
17	3.4918	0.873	0.11	0.085	0.08	0.07	105	100	96.7	87.5				2.45	2.03	1.93	1.69	871	701	701	636	363
18	3.6918	0.923	0.12	0.09	0.08	0.07	105	100	96.7	87.5				2.64	2.18	2.07	1.81	1025	763	763	709	438
19	3.8918	0.973	0.145	0.09	0.09	0.08	125	120	96.7	95				2.86	2.35	2.21	1.92	1155	867	867	770	487
20	4.0918	1.023	0.16	0.09	0.09	0.085	125	120	96.7	95				3.09	2.52	2.36	2.05	1260	955	955	851	541
21	4.2918	1.073	0.185	0.09	0.09	0.085	150	120	105	105				3.3	2.68	2.51	2.17	1419	1001	1001	919	595
22	4.4918	1.123	0.2	0.095	0.09	0.09	150	135	105	105				3.53	2.81	2.66	2.29	1600	1062	1062	984	654
23	4.6918	1.173	0.4	0.1	0.095	0.09	175	135	122.5	105				4.87	2.97	2.82	2.53	2430	1111	1111	1053	699
24	4.8918	1.223	0.72	0.11	0.11	0.1	180	135	122.5	105				7.15	3.1	2.98	2.56	4926	1176	1176	1114	760
25	5.0918	1.273	1.420	0.125	0.12	0.11		150	130	115				10.35	3.3	3.14	2.67		1242	1178	1178	809
26	5.2918	1.323		0.14	0.13	0.13		150	130	115					3.45	3.32	2.81			1299	1244	863
27	5.4918	1.373		0.16	0.135	0.13		150	130	115					3.67	3.44	2.92			1374	1303	919

Lampiran 5

28	5.6918	1.423						0.18	0.15	0.15		150	130	115		3.83	3.58	3.05	1422	1358	982
29	5.8918	1.473						0.2	0.16	0.15		150	150	120		4.01	3.75	3.19	1490	1430	1058
30	6.0918	1.523						0.22	0.19	0.155		150	150	120		4.29	3.87	3.32	1562	1470	1094
31	6.2918	1.573						0.45	0.27	0.18		155	150	120		5.94	4.06	3.46	1973	1483	1130
32	6.4918	1.623						0.84	0.29	0.18		177.5	150	120			4.27	3.58	1975	1501	1196
33	6.6918	1.673						1.3	0.325	0.19			150	125			4.56	3.71	2033	1527	1211
34	6.8918	1.723						1.6	0.355	0.2			150	125			5.03	3.84	2399	1547	1287
35	7.0918	1.773							0.69	0.2			157.5	125			6.33	3.97		1580	1300
36	7.2918	1.823							0.75	0.2			170	125			8.07	4.1		1603	1337
37	7.4918	1.873							1.12	0.21			180	125			9.64	4.25			1375
38	7.6918	1.923								0.22				125				4.38			1435
39	7.8918	1.973								0.22				125				4.52			1462
40	8.0918	2.023								0.22				125				4.71			1533
41	8.2918	2.073								0.24				125				4.94			1635
42	8.4918	2.123								0.26				125				5.18			1887
43	8.6918	2.173								0.28				125				5.5			2022
44	8.8918	2.223								0.32				130				6.32			
45	9.0918	2.273								0.36				155				7.15			
46	9.2918	2.323								0.58				157.5				17.92			
47	9.4918	2.373								1.1				185				9.39			

Tabel 10 Hubungan Momen dan Kelengkungan

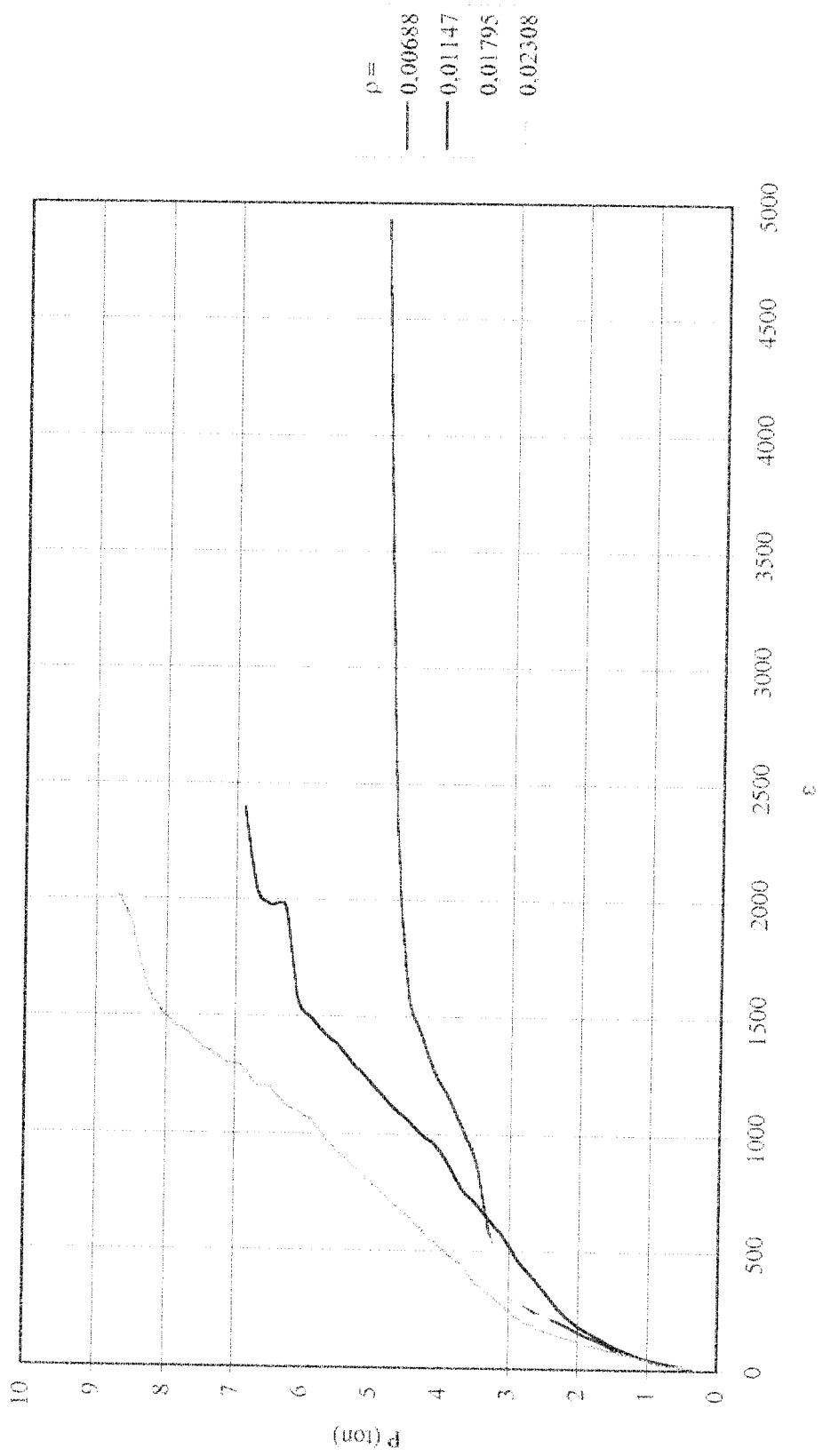
No	P (Ton)	M (ton-m)	Lendutan rerata vars. 1		ϕ (1/m)	Lendutan rerata vars. 2		ϕ (1/m)	Lendutan rerata vars. 3		ϕ (1/m)	Lendutan rerata vars. 4		ϕ (1/m)			
			kiri	tengah		kanan	Kiri		Tengah	Kanan		Kiri	Tengah		Kanan		
1	0.292	0.073	0.014	0.016	0.016	0.014	0.019	0.023	3.2E-04	0.016	0.017	5E-04	2.7E-03	0.011	0.014	0.015	4.8E-04
2	0.492	0.123	0.028	0.031	0.03	0.022	0.033	0.039	7.2E-04	0.026	0.03	0.014	3.1E-03	0.018	0.025	0.026	1.0E-03
3	0.692	0.173	0.041	0.047	0.044	0.032	0.047	0.057	8.0E-04	0.035	0.043	0.029	3.4E-03	0.026	0.038	0.042	1.3E-03
4	0.892	0.223	0.054	0.062	0.06	0.041	0.062	0.074	1.5E-03	0.044	0.056	0.047	3.4E-03	0.034	0.05	0.056	1.5E-03
5	1.092	0.273	0.064	0.074	0.072	0.064	0.077	0.092	1.8E-03	0.054	0.068	0.059	3.6E-03	0.043	0.062	0.07	1.8E-03
6	1.292	0.323	0.077	0.086	0.084	0.059	0.089	0.105	2.3E-03	0.061	0.077	0.068	3.9E-03	0.051	0.071	0.079	2.0E-03
7	1.492	0.373	0.087	0.097	0.094	0.068	0.1	0.116	2.5E-03	0.067	0.084	0.075	4.2E-03	0.058	0.08	0.086	2.6E-03
8	1.692	0.423	0.094	0.104	0.099	0.08	0.111	0.125	2.9E-03	0.075	0.092	0.082	4.3E-03	0.066	0.088	0.094	2.6E-03
9	1.892	0.473	0.105	0.114	0.107	0.089	0.12	0.131	3.1E-03	0.083	0.1	0.088	4.5E-03	0.073	0.094	0.097	2.8E-03
10	2.092	0.523	0.114	0.123	0.115	0.097	0.127	0.137	3.2E-03	0.092	0.109	0.095	5.0E-03	0.081	0.102	0.103	3.2E-03
11	2.292	0.573	0.126	0.135	0.124	0.106	0.136	0.141	3.8E-03	0.102	0.119	0.101	5.7E-03	0.09	0.111	0.11	3.5E-03
12	2.492	0.623	0.138	0.149	0.135	0.116	0.145	0.149	4.2E-03	0.112	0.13	0.108	6.3E-03	0.099	0.12	0.116	3.9E-03
13	2.692	0.673	0.152	0.164	0.147	0.125	0.155	0.156	4.5E-03	0.124	0.142	0.117	6.8E-03	0.106	0.128	0.122	4.4E-03
14	2.892	0.723	0.166	0.18	0.16	0.136	0.165	0.165	4.6E-03	0.137	0.154	0.125	7.3E-03	0.116	0.137	0.129	4.8E-03
15	3.092	0.773	0.182	0.2	0.177	0.147	0.176	0.174	5.0E-03	0.15	0.167	0.136	7.8E-03	0.125	0.147	0.137	5.2E-03
16	3.292	0.823	0.202	0.219	0.195	0.16	0.19	0.185	5.5E-03	0.16	0.179	0.146	8.4E-03	0.135	0.157	0.146	5.4E-03
17	3.492	0.873	0.224	0.245	0.215	0.171	0.203	0.197	6.0E-03	0.173	0.193	0.157	9.1E-03	0.146	0.169	0.156	5.6E-03
18	3.692	0.923	0.24	0.264	0.232	0.185	0.218	0.21	6.4E-03	0.185	0.207	0.168	9.6E-03	0.158	0.181	0.168	5.9E-03
19	3.892	0.973	0.258	0.286	0.251	0.201	0.235	0.225	7.0E-03	0.199	0.221	0.181	1.0E-02	0.167	0.192	0.178	6.3E-03
20	4.092	1.023	0.277	0.309	0.272	0.215	0.252	0.24	7.7E-03	0.211	0.236	0.195	1.0E-02	0.178	0.205	0.189	6.9E-03
21	4.292	1.073	0.295	0.33	0.291	0.23	0.268	0.254	8.2E-03	0.225	0.251	0.208	1.1E-02	0.189	0.217	0.2	7.1E-03
22	4.492	1.123	0.314	0.353	0.313	0.242	0.281	0.266	8.8E-03	0.239	0.266	0.221	1.2E-02	0.201	0.229	0.211	7.4E-03
23	4.692	1.173	0.411	0.487	0.414	0.255	0.297	0.279	9.5E-03	0.253	0.282	0.234	1.2E-02	0.212	0.243	0.223	8.0E-03
24	4.892	1.223	0.607	0.715	0.558	0.27	0.31	0.294	9.0E-03	0.269	0.298	0.248	1.3E-02	0.224	0.256	0.234	8.5E-03
25	5.092	1.273				0.284	0.33	0.308	1.1E-02	0.283	0.314	0.261	1.3E-02	0.236	0.267	0.246	8.5E-03
26	5.292	1.323				0.296	0.345	0.323	1.1E-02	0.3	0.332	0.275	1.4E-02	0.248	0.281	0.257	9.0E-03
27	5.492	1.373				0.318	0.367	0.342	1.2E-02	0.313	0.344	0.287	1.4E-02	0.258	0.292	0.268	9.4E-03

Tabel 11. Hubungan P/Pmax, w/hmax dan h/hmax

No	P (kg)	P/Pmax				Lebar Retak (mm)				w/H				Panjang retak (mm)				h _r / H				
		Vars. 1	Vars. 2	Vars. 3	Vars. 4	Vars. 1	Vars. 2	Vars. 3	Vars. 4	Vars. 1	Vars. 2	Vars. 3	Vars. 4	Vars. 1	Vars. 2	Vars. 3	Vars. 4	Vars. 1	Vars. 2	Vars. 3	Vars. 4	
1	291.8	0.0573	0.0423	0.0379	0.0307																	
2	491.8	0.0966	0.0714	0.0639	0.0518																	
3	691.8	0.1359	0.1004	0.0899	0.0729																	
4	891.8	0.1751	0.1294	0.1159	0.094																	
5	1091.8	0.2144	0.1584	0.1419	0.115																	
6	1291.8	0.2537	0.1874	0.1679	0.1361	0.01				5E-05				25							0.119	
7	1491.8	0.293	0.2165	0.1939	0.1572	0.015	0.01			7E-05	5E-05			50	35						0.2381	0.1667
8	1691.8	0.3323	0.2455	0.2199	0.1782	0.02	0.01	0.01		1E-04	5E-05	5E-05		75	41.25	35					0.3571	0.1964
9	1891.8	0.3715	0.2745	0.246	0.1993	0.03	0.02	0.02	0.02	0.0001	1E-04	1E-04	1E-04	75	67.5	55	42.5				0.3571	0.3214
10	2091.8	0.4108	0.3035	0.272	0.2204	0.04	0.03	0.025	0.02	0.0002	0.0001	0.0001	1E-04	75	70	65	42.5				0.3571	0.3333
11	2291.8	0.4501	0.3325	0.298	0.2415	0.04	0.035	0.03	0.02	0.0002	0.0002	0.0001	1E-04	95	80	65	55				0.4524	0.381
12	2491.8	0.4894	0.3616	0.324	0.2625	0.04	0.035	0.035	0.03	0.0002	0.0002	0.0001	1E-04	95	85	85	55				0.4524	0.4048
13	2691.8	0.5287	0.3906	0.35	0.2836	0.05	0.05	0.04	0.03	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	100	90	85	55				0.4762	0.4286
14	2891.8	0.5679	0.4196	0.376	0.3047	0.08	0.055	0.04	0.03	0.0004	0.0003	0.0002	0.0001	100	95	85	55				0.4762	0.4524
15	3091.8	0.6072	0.4486	0.402	0.3257	0.09	0.07	0.06	0.05	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002	105	100	85	80				0.5	0.4762
16	3291.8	0.6465	0.4776	0.428	0.3468	0.09	0.075	0.06	0.06	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	105	100	85	87.5				0.5	0.4762
17	3491.8	0.6858	0.5067	0.454	0.3679	0.11	0.085	0.08	0.07	0.0005	0.0004	0.0004	0.0003	105	100	96.7	87.5				0.5	0.4762
18	3691.8	0.725	0.5357	0.48	0.3889	0.12	0.09	0.08	0.07	0.0006	0.0004	0.0004	0.0003	105	100	96.7	87.5				0.5	0.4762
19	3891.8	0.7643	0.5647	0.506	0.41	0.145	0.09	0.09	0.08	0.0007	0.0004	0.0004	0.0004	125	120	96.7	95				0.5952	0.5714
20	4091.8	0.8036	0.5937	0.532	0.4311	0.16	0.09	0.09	0.085	0.0008	0.0004	0.0004	0.0004	125	120	96.7	95				0.5952	0.5714
21	4291.8	0.8429	0.6227	0.558	0.4522	0.185	0.09	0.09	0.085	0.0009	0.0004	0.0004	0.0004	150	120	105	105				0.7143	0.5714
22	4491.8	0.8822	0.6518	0.584	0.4732	0.2	0.095	0.09	0.09	0.001	0.0005	0.0004	0.0004	150	135	105	105				0.7143	0.6429
23	4691.8	0.9214	0.6808	0.61	0.4943	0.4	0.1	0.095	0.09	0.0019	0.0005	0.0005	0.0004	175	135	122.5	105				0.8333	0.6429
24	4891.8	0.9607	0.7098	0.636	0.5154	0.72	0.11	0.11	0.1	0.0034	0.0005	0.0005	0.0005	180	135	122.5	105				0.8571	0.6429
25	5091.8	1	0.7388	0.662	0.5364	1.42	0.125	0.12	0.11	0.0068	0.0006	0.0006	0.0005		150	130	115					0.7143
26	5291.8		0.7678	0.688	0.5575		0.14	0.13	0.13	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006		150	130	115					0.7143
27	5491.8		0.7969	0.714	0.5786		0.16	0.135	0.13	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006		150	130	115					0.7143

Lampiran 5

28	5691.8		0.8259	0.74	0.5997			0.18	0.15	0.15				0.0009	0.0007	0.0007	0.0007	150	130	115		0.7143	0.619	0.5476
29	5891.8		0.8549	0.766	0.6207			0.2	0.16	0.15				0.001	0.0008	0.0007	0.0007	150	150	120		0.7143	0.7143	0.5714
30	6091.8		0.8839	0.792	0.6418			0.22	0.19	0.155				0.001	0.0009	0.0007	0.0007	150	150	120		0.7143	0.7143	0.5714
31	6291.8		0.9129	0.818	0.6629			0.45	0.27	0.18				0.0021	0.0013	0.0009	0.0009	155	150	120		0.7381	0.7143	0.5714
32	6491.8		0.942	0.844	0.6839			0.84	0.29	0.18				0.004	0.0014	0.0009	0.0009	177.5	150	120		0.8452	0.7143	0.5714
33	6691.8		0.971	0.87	0.705			1.3	0.325	0.19				0.0062	0.0015	0.0009	0.0009		150	125			0.7143	0.5952
34	6891.8		1	0.896	0.7261			1.6	0.355	0.2				0.0076	0.0017	0.001	0.001		150	125			0.7143	0.5952
35	7091.8			0.922	0.7472				0.69	0.2					0.0033	0.001	0.001		157.5	125			0.75	0.5952
36	7291.8			0.948	0.7682				0.75	0.2					0.0036	0.001	0.001		170	125			0.8095	0.5952
37	7491.8			0.974	0.7893				1.12	0.21					0.0053	0.001	0.001		180	125			0.8571	0.5952
38	7691.8			1	0.8104					0.22						0.001	0.001			125				0.5952
39	7891.8				0.8314					0.22						0.001	0.001			125				0.5952
40	8091.8				0.8525					0.22						0.001	0.001			125				0.5952
41	8291.8				0.8736					0.24						0.0011	0.0011			125				0.5952
42	8491.8				0.8946					0.26						0.0012	0.0012			125				0.5952
43	8691.8				0.9157					0.28						0.0013	0.0013			125				0.5952
44	8891.8				0.9368					0.32						0.0015	0.0015			130				0.619
45	9091.8				0.9579					0.36						0.0017	0.0017			155				0.7381
46	9291.8				0.9789					0.58						0.0028	0.0028			157.5				0.75
47	9491.8				1					1.1						0.0052	0.0052			185				0.881



Grafik Hubungan Beban P dan Regangan Baja

Lampiran 6

Perencanaan campuran beton mutu tinggi mengikuti cara Suwandojo (1999)

- Mutu beton direncanakan, $f'c = 50$ MPa.
- Slump 50 mm.
- ϕ agregat max = 20 mm.
- Menggunakan BPKA (Bahan Pengurang Kandungan Air) Superplasticizer (Sikament-NN berat semen.
- Menggunakan Silikafume (SikaFume) = 5% berat semen.

➤ Data pasir (laboratorium test) yang digunakan

- Modulus halus butir = 2,9
- Berat jenis gembur kering, γ_{gk} = 2,36
- Absorpsi (bobot kering) = 1,36%
- Berat kompak, W_{kop} = 1618 kg/m³
- Kadar Air (moisture) = 4,12%

➤ Data kerikil (laboratorium test) yang digunakan

- Ukuran agregat max = 20mm
- Berat jenis gembur kering, γ_{gk} = 2,71
- Absorpsi (bobot kering) = 0,84%
- Berat kompak, W_{kop} = 1432 kg/m³
- Kadar Air (moisture) = 0,73%

Langkah-1

$$f'_{cr} = (f'c + 27,6) / 0,9 = (50 + 27,6) / 0,9 = 86,22 \text{ MPa}$$

Langkah-2

Dari tabel 3 rasio fraksi (rasio volume kerikil terhadap beton) = 0,72

Berat batu pecah (kering) $W_{k,kering}$ dalam beton (kg/m³) :

Lampiran 6

$$W_k, W_{k,kering} = 0,72 \times 1432 = 1031 \text{ kg/m}^3$$

Langkah-3

Dari tabel 5, perkiraan awal air campuran yang diperlukan 168 kg/m^3 , dan kandungan ud digunakan BPKA adalah 1,5%

$$\begin{aligned} V(\%) &= [1 - (W_{kop}) / (\gamma_{gk} \times 1000)] \times (100\%) \\ &= [1 - 1618 / (2,36 \times 1000)] \times (100\%) = 31\% \end{aligned}$$

Modifikasi (penyesuaian) kandungan air :

$$\begin{aligned} \text{Air} &= 4,7 (V - 35) \\ &= 4,7 (31 - 35) = -18,8 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Maka jumlah air-campuran (W)

$$W = 168 - 18,8 = 149 \text{ kg/m}^3$$

Langkah-4

Nilai kuat tekan rata-rata dilapangan

$$f'_{cr} = 50 + 9,7 = 59,7 \text{ MPa}$$

Dari tabel 7 untuk ukuran agregat maksimal 20mm maka nilai rasio $W/(C+P) = 0,3664$ (interpolasi)

Langkah-5

Berat air = 149 kg, maka bahan perekat :

$$\begin{aligned} C+P &= W / [\text{Rasio } W/(C+P)] \\ &= 149 / 0,3664 = 407 \text{ kg} \end{aligned}$$

Langkah-6

Proporsi campuran dasar dengan semen saja (tanpa Silika fume)

Volume bahan tanpa pasir per m^3 beton :

$$\text{Semen} = 407 / (3,15 \times 1000) = 0,1292 \text{ m}^3$$

$$\text{Kerikil} = 1031 / (2,71 \times 1000) = 0,3804 \text{ m}^3$$

Lampiran 6

$$\begin{aligned}\text{Air} &= 149 / (1,0 \times 1000) = 0,149 \text{ m}^3 \\ \text{Udara} &= 0,015 \times 1,0 = \underline{0,015 \text{ m}^3} \\ \text{Volume total tanpa pasir} &= 0,6736 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Volume pasir per m³ beton

$$\begin{aligned}V_{\text{pasir}} &= 1 - 0,6736 = 0,3264 \text{ m}^3 \\ W_{\text{pasir}} &= 0,3264 \times 2,36 \times 1000 = 770 \text{ kg}\end{aligned}$$

Proporsi campuran dalam berat untuk beton tanpa Silika fume :

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= 407 \text{ kg} \\ \text{Pasir, kering} &= 770 \text{ kg} \\ \text{Kerikil, kering} &= 1031 \text{ kg} \\ \text{Air termasuk Superplasticizer} &= \underline{149 \text{ kg}} \\ &= 2357 \text{ kg}\end{aligned}$$

Langkah-7

Proporsi bahan campuran pelengkap menggunakan semen + Silika fume, Bulk density = 0,:

Dipakai 5 % dari berat semen

$$\begin{aligned}\text{Silika fume} &= 407 \times 0,05 = 21 \text{ kg} \\ \text{Berat semen} &= 407 - 21 = 386 \text{ kg}\end{aligned}$$

Volume bahan tanpa pasir per m³ beton :

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= 386 / (3,15 \times 1000) = 0,1225 \text{ m}^3 \\ \text{Silika fume} &= 21 / (0,5 \times 1000) = 0,042 \text{ m}^3 \\ \text{Kerikil} &= 1031 / (2,71 \times 1000) = 0,3804 \text{ m}^3 \\ \text{Air+S.plast.} &= 149 / (1,0 \times 1000) = 0,149 \text{ m}^3 \\ \text{BPGU (2\% - 2,6\%)} &= \underline{0,023 \text{ m}^3} \\ \text{Volume total tanpa pasir} &= 0,7169 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Lampiran 6

Volume pasir per m³ beton

$$V_{\text{pasir}} = 1 - 0,7169 = 0,2831 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{pasir}} = 0,2831 \times 2,36 \times 1000 = 668 \text{ kg}$$

Proporsi campuran dalam berat untuk beton 1 m³ dengan Silika fume :

$$\text{Semen} = 386 \text{ kg}$$

$$\text{Silika fume} = 21 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 668 \text{ kg}$$

$$\text{Kerikil} = 1031 \text{ kg}$$

$$\text{Air + Superplasticizer} = 149 \text{ kg}$$

$$= 2255 \text{ kg}$$

Langkah-8

Koreksi campuran-coba untuk absorpsi air dalam agregat dari data laboratorium

Kadar air dan Absorpsi	Agregat	
	Pasir	Kerikil
Kadar air KA (%)	4,12	0,73
Absorpsi Abs (%)	1,36	0,84
Seisih KA-Abs (%)	+2,76	-0,11

Kelebihan air dalam agregat gabungan (Batu pecah + Air)

$$\text{Berat air lebih} = (2,76 \% \times 668) + (-0,11 \% \times 1031)$$

$$= 17,3 \text{ kg}$$

$$\text{Air terkoreksi} = 149 - 17,3 = 132 \text{ kg}$$

Berat agregat basah = berat agregat kering + kadar air

- Pasir basah = $668 (1 + 4,12 \%)$ = 695,5 kg

- Batu pecah basah = $1031 (1 + 0,73 \%)$ = 1038,5 kg

Lampiran 6

➤ Perhitungan proporsi campuran tahap final untuk beton mutu tinggi :

$$\text{Semen} = 386 / (3,15 \times 1000) = 0,1225 \text{ m}^3$$

$$\text{Silika fume} = 21 / (0,5 \times 1000) = 0,042 \text{ m}^3$$

$$\text{Kerikil} = 1038,5 / (2,71 \times 1000) = 0,3832 \text{ m}^3$$

$$\text{Air+S.plast.} = 132 / (1,0 \times 1000) = 0,132 \text{ m}^3$$

$$\text{BPGU (2\% - 2,6\%)} = \underline{0,023 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volume total tanpa pasir} = 0,7027 \text{ m}^3$$

Volume pasir per m³ beton

$$V_{\text{pasir}} = 1 - 0,7027 = 0,2973 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{pasir}} = 0,2973 \times 2,36 \times 1000 = 702 \text{ kg}$$

Proporsi campuran dalam berat untuk beton 1 m³ dengan Silika fume :

$$\text{Semen} = 386 \text{ kg}$$

$$\text{Silika fume} = 21 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 702 \text{ kg}$$

$$\text{Kerikil} = 1039 \text{ kg}$$

$$\text{Air + Superplasticizer} = \underline{132 \text{ kg}}$$

$$= 2280 \text{ kg}$$

Perbandingan campuran : 1(PC+SF) : 1,725 Ps : 2,55 Kr

➤ Volume beton untuk benda uji :

$$\text{Balok} = 0,14 \times 0,21 \times 1,70 \times 8 = 0,3998 \text{ m}^3$$

$$\text{Silinder} = 0,25 \times 0,15^2 \times \pi \times 0,3 \times 24 = \underline{0,1272 \text{ m}^3}$$

$$\text{Jumlah} = 0,527 \text{ m}^3$$

Volume beton = 1,2 x 0,527 = 0,6324 m³

Lampiran 6

➤ Kebutuhan bahan untuk 0,6324 m³ beton :

Semen	= 386 x 0,6324	= 244,11 kg
Silika fume	= 21 x 0,6324	= 13,28 kg
Pasir	= 702 x 0,6324	= 443,94 kg
Kerikil	= 1039 x 0,6324	= 657,06 kg
Superplasticizer	= 1% x 244,11	= 2,44 kg
Air	= (132 x 0,6324) - 2,44	= 81,04 kg

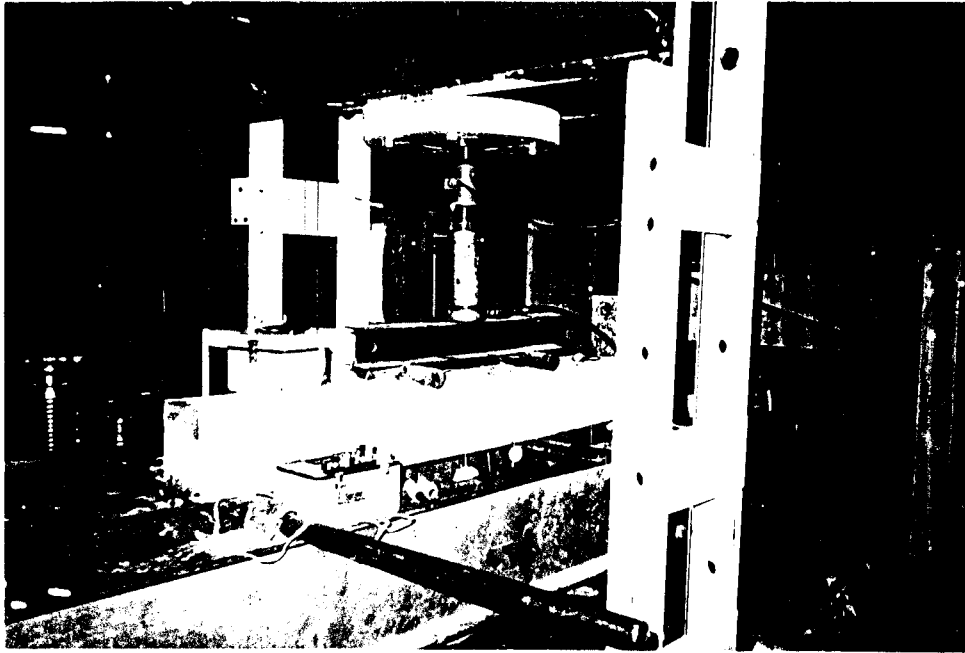


Foto 1 *Setup* pengujian balok



Foto 2 balok setelah diuji