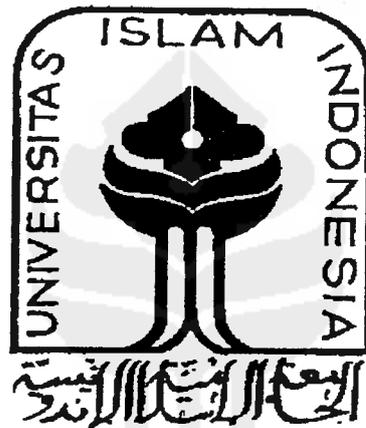


**TUGAS AKHIR
PENELITIAN LABORATORIUM**

**PENGARUH KUAT TEKAN TERHADAP
FAKTOR PENAMBAHAN KEKUATAN DENGAN
KONSEP DAKTILITAS PENUH PADA BALOK BETON BERTULANG**

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil



Disusun oleh :

Nama : ANANDA PRIYADI UTAMA
No. Mhs : 94310084
Nirm : 940051013114120083

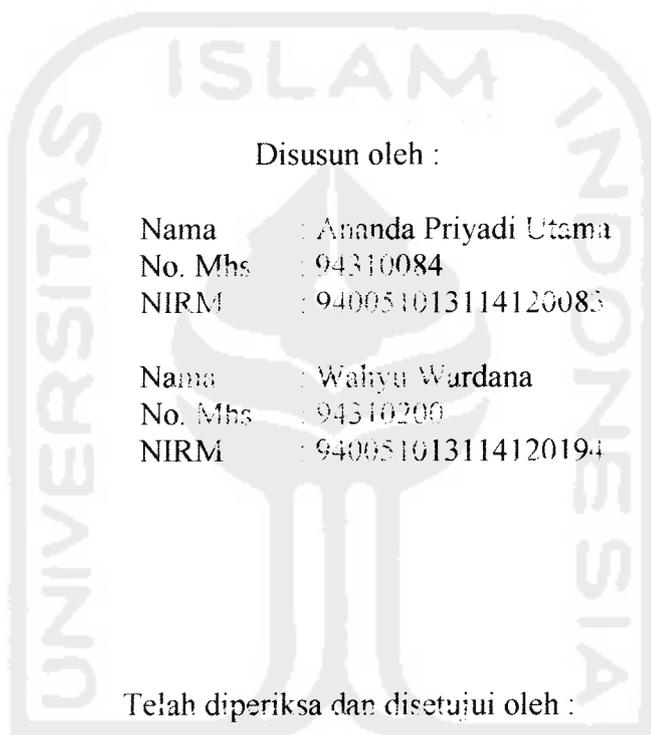
Nama : WAHYU WARDANA
No. Mhs : 94310200
Nirm : 940051013114120194

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

2002

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**PENGARUH KUAT TEKAN TERHADAP
FAKTOR PENAMBAHAN KEKUATAN DENGAN
KONSEP DAKTILITAS PENUH PADA BALOK BETON BERTULANG**



Disusun oleh :

Nama : Ananda Priyadi Utama
No. Mhs : 94310084
NIRM : 940051013114120083

Nama : Wahyu Wardana
No. Mhs : 94310200
NIRM : 940051013114120194

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Moch. Teguh, MSCE

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Suharyatmo, MT

Dosen Pembimbing II

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Moch. Teguh".

Tanggal : 26/06/2002

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Suharyatmo".

Tanggal : 26-06-2002

PRAKATA

Bismillahirrahmaanirrahiim

Assalamu'alaikum wr. wb.

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan berkah dan rahmat-Nya, maka tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk meraih jenjang Strata-1 pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan dengan memanfaatkan segala daya dan upaya yang ada serta dukungan dari berbagai pihak. Ketersediaan literatur-literatur penunjang baik yang diperoleh dari perpustakaan Jurusan Teknik Sipil, maupun dari pihak-pihak lain yang berkompeten dengan permasalahan yang dihadapi, sangat membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Peran dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan secara intensif juga turut membantu agar penyusunan Tugas Akhir ini sesuai dengan aturan-aturan yang berlaku.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, tentu saja tidak lepas dari berbagai hambatan yang menghadang ditengah jalan. Namun dengan bekal motivasi yang kuat dan keyakinan bahwa segala permasalahan itu pasti ada jalan keluarnya, Alhamdulillah semua hambatan itu berhasil diatasi dengan baik.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada berbagai pihak atas segala bantuan yang telah diberikan, antara lain :

1. Ir. H. Mochammad Teguh, MSCE, selaku dosen Pembimbing Utama yang dengan penuh kesabaran dan ketekunan telah meluangkan waktunya untuk membimbing Tugas Akhir ini.
2. Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan ide-ide dasar dan bimbingannya hingga selesainya penelitian Tugas Akhir ini, juga selaku Kepala Laboratorium Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Ir. H. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu dan ayah tercinta yang telah membimbing sejak kecil hingga kini yang selalu memberi dorongan baik moral maupun materiil selama pelaksanaan pendidikan, penelitian, dan penulisan skripsi.
5. Rekan-rekan : Basuki, Zuly, Putut, Erwin, Ardie Mie, Deddy, Dwi Hermawan, Tommy, Bonar, Agus Ferry, Wahyu Widagdo, dan anak-anak Freeland.

Segala kelebihan yang mungkin bisa dimanfaatkan dari Tugas Akhir ini tentu saja tidak terlepas dari berbagai kekurangan yang ada. Untuk itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk perbaikannya di masa datang.

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| Halaman Judul | i |
| Lembar Pengesahan | ii |
| Prakata | iii |
| Daftar Isi | vi |
| Daftar Simbol | x |
| Daftar Gambar | xii |
| Daftar Tabel | xiii |
| Daftar Lampiran | xiv |
| Abstrak | xvi |
| | |
| Bab I Pendahuluan | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4. Keaslian Penelitian | 4 |
| 1.5. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah | 4 |
| | |
| Bab II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori..... | 6 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 6 |
| 2.2 Landasan Teori | 8 |

| | | |
|---------|---|----|
| | 2.2.1 Konsep Desain Kapasitas | 8 |
| | 2.2.2 Perencanaan dengan Tingkat Daktilitas | 11 |
| | 2.2.3 Perencanaan dengan Tingkat Daktilitas | |
| | Penuh | 13 |
| | 2.2.4 Pelenturan Pada Balok Beton Bertulang | 17 |
| | 2.2.5 Analisis Momen Penampang Balok | 20 |
| | 2.2.6 Faktor Penambahan Kekuatan | 26 |
| | 2.2.7 Analisis Momen Pada Dua Tumpuan | 27 |
| | 2.2.8 Penulangan Penampang Balok | 28 |
| Bab III | Metodologi Penelitian | 31 |
| 3.1. | Bahan Penyusun Beton..... | 31 |
| 3.1.1 | Semen | 31 |
| 3.1.2 | Agregat | 31 |
| 3.1.3 | Air | 32 |
| 3.1.4 | Besi Tulangan Beton | 33 |
| 3.2. | Alat yang Digunakan | 34 |
| 3.2.1 | Mesin Uji Kuat Tarik | 34 |
| 3.2.2 | Mesin Uji Kuat Desak | 34 |
| 3.2.3 | Mesin Pengaduk Beton | 34 |
| 3.2.4 | Krucut Abrams | 34 |
| 3.2.5 | Cetakan Benda Uji | 35 |

| | | |
|--------|--|----|
| | 3.2.6 <i>Loading Frame</i> | 35 |
| | 3.2.7 <i>Dial Gauge</i> | 35 |
| | 3.2.8 <i>Hydraulic Jack</i> | 36 |
| | 3.3 Pelaksanaan Penelitian | 36 |
| | 3.3.1. Persiapan Bahan | 36 |
| | 3.3.2 Pembuatan Sampel | 37 |
| | 3.3.3 Pemeriksaan dan Pengujian | 38 |
| Bab IV | Hasil Penelitian dan Pembahasan | 41 |
| | 4.1 Hasil Penelitian | 41 |
| | 4.2 Pemeriksaan dan Pengujian | 41 |
| | 4.2.1 Hasil Uji Kuat Tekan Beton | 41 |
| | 4.2.2 Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan | 42 |
| | 4.2.3 Pemeriksaan Berat Satuan Beton | 43 |
| | 4.2.4 Pemeriksaan Penulangan Balok | 44 |
| | 4.2.5 Pemeriksaan Penampang Balok | 44 |
| | 4.2.6 Pemeriksaan Rasio Tulangan | 45 |
| | 4.2.7 Pemeriksaan Volume Balok | 46 |
| | 4.3 Kuat Lentur Analisis Penampang Balok | 47 |
| | 4.4 Analisis Kuat Lentur Hasil Pengujian | 48 |

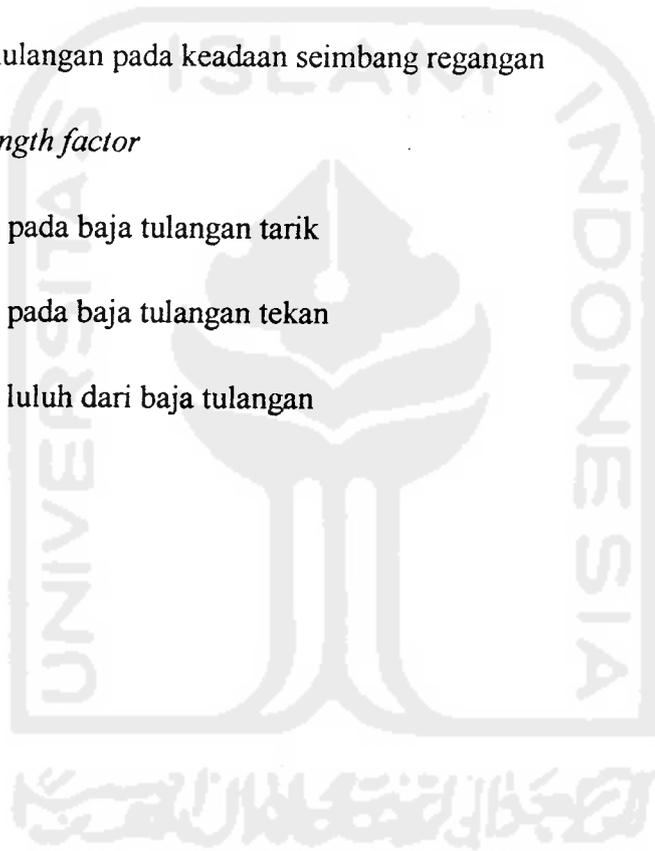
| | | |
|----------------|---|----|
| 4.5 | Faktor Penambahan Kekuatan (<i>over strength factor</i>) | 49 |
| 4.6 | Pembahasan | 51 |
| Bab V | Kesimpulan dan Saran | 55 |
| 5.1 | Kesimpulan | 55 |
| 5.2 | Saran | 55 |
| Daftar Pustaka | | 57 |
| Lampiran | | |



DAFTAR SIMBOL

- a = tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen
- A = luas
- A_s = luas tulangan tarik non-prategangan
- A'_s = luas tulangan tekan
- b = lebar balok
- c = jarak serat tekan terluar ke garis netral
- c_c = gaya desak beton
- c_s = gaya desak tulangan tekan baja
- T_s = gaya tarik
- d = tinggi efektif balok
- d' = jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tekan
- E_s = modulus elastisitas baja tulangan
- f'_c = kuat tekan beton
- f'_{cr} = kuat tekan beton rata-rata
- f_s = tegangan dalam tulangan pada beban kerja
- f_y = tegangan leleh baja
- h = tinggi balok
- K = faktor jenis struktur
- L = panjang
- M_n = momen nominal

- P = beban
- β_1 = faktor yang digunakan pada diagram tegangan empat persegi panjang ekivalen pada beton
- π = konstanta (3,14159)
- ρ = rasio penulangan tarik non-prategangan
- ρ' = rasio penulangan tekan non-prategangan
- ρ_b = rasio penulangan pada keadaan seimbang regangan
- ϕ_o = *over strength factor*
- ϵ_s = regangan pada baja tulangan tarik
- ϵ'_s = regangan pada baja tulangan tekan
- ϵ_y = regangan luluh dari baja tulangan



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Pola pembentukan sendi plastis | 15 |
| Gambar 2.2 | Hubungan tegangan-regangan tulangan baja | 19 |
| Gambar 2.3 | Hubungan tegangan-regangan tekan beton dengan dan tanpa pengaruh pengekanan | 19 |
| Gambar 2.4 | Mekanisme tegangan dan regangan pada tampang balok | 22 |
| Gambar 2.5 | Diagram tegangan aktual dan ekivalen tekan beton dengan tulangan tunggal | 22 |
| Gambar 2.6 | Analisis momen penampang balok dengan tulangan rangkap | 23 |
| Gambar 2.7 | Analisis gaya penampang balok dengan tulangan rangkap dengan memperhitungkan kuat tarik beton serat | 25 |
| Gambar 2.8 | Pembebanan terpusat dengan dua titik | 27 |
| Gambar 2.9 | Variasi letak garis netral | 28 |
| Gambar 3.1 | Penulangan balok beton | 33 |
| Gambar 3.2 | Metoda pembebanan | 39 |
| Gambar 3.3 | Penampang Balok | 40 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Hasil Penelitian <i>over strength factor</i> (Penelitian Ibrahim, 1998) | 7 |
| Tabel 2.2 | Hasil Penelitian <i>over strength factor</i> (Penelitian Ananda dan W. Wardana) | 8 |
| Tabel 3.1 | Keperluan Bahan Tiap Adukan Tiap Kuat Tekan Rencana | 37 |
| Tabel 3.2 | Komposisi Benda Uji Rencana | 38 |
| Tabel 3.3 | Komposisi Benda Uji Penelitian | 38 |
| Tabel 4.1 | Kuat Tekan beton rerata tiap balok | 42 |
| Tabel 4.2 | Hasil Pengujian Uji Tarik Baja Tulangan..... | 43 |
| Tabel 4.3 | Hasil Pemeriksaan Rerata berat jenis beton | 43 |
| Tabel 4.4 | Data Penampang Balok | 45 |
| Tabel 4.5 | Berat Balok per Meter Panjang..... | 46 |
| Tabel 4.6 | Hasil Analisis Momen Perlu Rerata Balck. | 47 |
| Tabel 4.7 | Analisis Momen Lentur Aktual | 48 |
| Tabel 4.8 | Perbandingan Momen Aktual dengan Momen Perlu..... | 49 |

- DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|-------------|---|----|
| Lampiran-1 | Data pemeriksaan gradasi agregat halus | 59 |
| Lampiran-2 | Data pemeriksaan gradasi agregat kasar | 60 |
| Lampiran-3 | Data pemeriksaan berat jenis agregat halus | 61 |
| Lampiran-4 | Data pemeriksaan berat jenis agregat kasar | 62 |
| Lampiran-5 | Data pemeriksaan berat volume agregat kasar..... | 63 |
| Lampiran-6 | Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Hasil Pemeriksaan Baja Tulangan | 64 |
| Lampiran-7 | Tabel hasil uji kuat desak silinder beton..... | 65 |
| Lampiran-8 | Volume Setiap Benda Uji Balok Spesifikasi Penulangan Balok..... | 66 |
| Lampiran-9 | Rasio Tulangan Baja pada Penampang Balok (Perencanaan Awal dan Aktual Penelitian) | 67 |
| Lampiran-10 | Pemeriksaan Rasio Tulangan (Perencanaan Awal)..... | 68 |
| Lampiran-12 | Pemeriksaan Rasio Tulangan (Aktual Balok uji) | 70 |
| Lampiran-15 | Pemeriksaan dan Analisis Penampang Balok | 73 |
| Lampiran-16 | Analisis Berat Balok | 74 |
| Lampiran-20 | Analisis Kuat Lentur Penampang Balok | 78 |
| Lampiran-24 | Analisis Kuat Lentur Pengujian..... | 82 |
| Lampiran-27 | Pengujian Lentur Balok 1.1 | 85 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Lampiran-28 | Grafik Uji Lentur Balok 1.1 | 86 |
| Lampiran-29 | Pengujian Lentur Balok 1.2 | 87 |
| Lampiran-30 | Grafik Uji Lentur Balok 1.2 | 88 |
| Lampiran-31 | Pengujian Lentur Balok 2.1 | 89 |
| Lampiran-32 | Grafik Uji Lentur Balok 2.1 | 90 |
| Lampiran-33 | Pengujian Lentur Balok 2.2 | 91 |
| Lampiran-34 | Grafik Uji Lentur Balok 2.2 | 92 |
| Lampiran-35 | Pengujian Lentur Balok 3.1 | 93 |
| Lampiran-36 | Grafik Uji Lentur Balok 3.1 | 94 |
| Lampiran-37 | Pengujian Lentur Balok 3.2 | 95 |
| Lampiran-38 | Grafik Uji Lentur Balok 3.2 | 96 |
| Lampiran-39 | Perencanaan campuran beton (f'_c) 20 MPa..... | 97 |
| Lampiran-42 | Perencanaan campuran beton (f'_c) 25 MPa..... | 100 |
| Lampiran-45 | Perencanaan campuran beton (f'_c) 30 MPa..... | 103 |

PENGARUH KUAT TEKAN TERHADAP FAKTOR PENAMBAHAN KEKUATAN DENGAN KONSEP DAKTILITAS PENUH PADA BALOK BETON BERTULANG

Abstrak

Pada desain struktur beton dengan daktilitas-3 direncanakan balok sebagai bagian yang lemah dengan merancang agar sendi plastis terjadi pada balok sehingga kolom lebih kuat dari balok. Pada daktilitas-3, momen nominal aktual balok perlu mendapatkan faktor penambahan kekuatan, ϕ_o (*over strength factor*) guna meningkatkan kuat lentur di daerah sendi plastis sehingga mampu meningkatkan momen kapasitas balok. SK SNI-T-15-1991-03 menentukan faktor penambahan kekuatan sebesar 1,25 untuk mutu baja $f_y \leq 400$ MPa, dan 1,40 untuk $f_y \geq 400$ MPa. Faktor penambahan kekuatan bergantung pada mutu baja pada penampang balok. Mutu baja merupakan variabel yang mempengaruhi nilai faktor penambahan kekuatan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dan analisis pengaruh kuat tekan beton dengan nilai variabel tertentu terhadap kapasitas momen aktual dan faktor penambahan kekuatan.

Pada penelitian ini digunakan kuat tekan beton rencana 20, 25 dan 30 MPa dengan masing-masing kuat tekan beton rencana terdiri atas 2 (dua) balok uji. Balok uji menggunakan luas tulangan yang sama ($2\emptyset 12$) untuk tulangan tarik dan ($2\emptyset 8$) untuk tulangan tekan dan tulangan geser, dengan $f_y = 321,941$ MPa. Balok uji diatas dua tumpuan sederhana (sendi-rol) dengan beban terpusat dua titik (*the third point loading*). Kuat tekan beton dihitung dari rerata 3 buah silinder beton tiap satu balok uji. Faktor penambahan kekuatan ditentukan dengan cara membandingkan kuat lentur hasil pengujian dengan kuat lentur analisis penampang balok.

Hasil analisis menunjukkan kuat tekan rerata Balok-1 = 24,913 ; Balok-2 = 29,345 ; Balok-3 = 33,818 (MPa) berurutan didapatkan faktor penambahan kekuatan 1,4469 ; 1,5662 ; 1,7135 . Hasil tersebut menunjukkan bahwa faktor penambahan kekuatan penelitian lebih besar dari yang distandarkan SNI-1991.

Pada analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa variabel kuat tekan beton dan dimensi penampang aktual balok mempengaruhi kuat lentur penampang balok dan meningkatkan faktor penambahan kekuatan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia merupakan negara dengan wilayah yang dilalui jalur gempa, sehingga perlu dirancang atau direncanakan bangunan yang tahan terhadap gempa. Salah satu perencanaan beton bertulang pada daerah rawan gempa perencanaan dengan konsep desain kapasitas yaitu desain dengan tingkat daktilitas penuh (daktilitas-3).

Pemilihan perencanaan dengan daktilitas penuh mengingat bahwa gempa di Indonesia terjadi dengan intensitas yang cukup lama (jarang) sehingga perbaikan kerusakan akibat gempa masih ekonomis. Pada perencanaan daktilitas penuh, beban desain yang dipakai relatif kecil, sehingga dimensi elemen struktur dapat lebih kecil dan hemat. Perencanaan struktur bangunan dengan daktilitas-3 atau daktilitas penuh harus direncanakan terhadap beban siklis gempa kuat sedemikian rupa dengan pendetailan khusus sehingga mampu menjamin terbentuknya sendi-sendi plastis dengan kapasitas pemencaran energi yang diperlukan. Perencanaan dengan daktilitas-1 (elastis), beban desain yang dipakai relatif besar sehingga elemen strukturnya direncanakan cukup besar. Perencanaan dengan daktilitas-1 merupakan untuk daerah yang sering terjadi gempa dengan intensitas yang cukup pendek (sering), sehingga biaya perbaikan cukup mahal.

Perencanaan dengan daktilitas penuh pada struktur bangunan gedung dan rumah sederhana yang menggunakan beton sebagai elemen struktur perlu diperhatikan dalam hal perencanaannya. Beton banyak digunakan sebagai elemen struktur karena mempunyai kuat tekan yang tinggi disamping murah dan mudah dalam mendapatkan bahan-bahan penyusunnya. Penggunaan beton normal sering digunakan dalam bangunan gedung dan rumah sederhana karena beton normal mudah perancangannya serta ekonomis.

Balok sebagai salah satu elemen struktur dipengaruhi oleh kuat tekannya dalam perencanaan. Balok direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan berbagai beban antara lain gaya aksial, lenturan, gaya geser, puntiran ataupun merupakan gabungan dari gaya-gaya tersebut. Kuat tekan yang terjadi pada balok mengakibatkan adanya lentur pada balok. Lentur yang terjadi harus direncanakan pada daerah sendi plastis balok yang merupakan bagian lemah sehingga kolom lebih kuat dari balok.

Momen lentur nominal balok pada daktilitas-3 perlu mendapatkan faktor penambahan kekuatan guna peningkatan kuat lentur di daerah sendi plastis sehingga mampu meningkatkan momen kapasitas balok. SK SNI-T-15-1991-03 menentukan faktor penambahan kekuatan sebesar 1,25 untuk $f_y \leq 400$ MPa dan 1,40 untuk $f_y \geq 400$ MPa sebagai faktor untuk memperhitungkan adanya kemungkinan peningkatan kuat lentur.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan beton normal pada struktur bangunan gedung dan rumah sederhana sering digunakan. Perencanaan dengan beton normal pada daerah rawan gempa sebaiknya direncanakan dengan tingkat daktilitas-3 sebab gempa di Indonesia terjadi dengan selang waktu yang cukup lama (jarang) sehingga perbaikan kerusakan gempa masih ekonomis.

Komponen struktur rangka balok beton bertulang dengan beton normal sering digunakan pada struktur bangunan gedung dan rumah tinggal sederhana. Karena beton normal mempunyai kuat tekan karakteristik mampu menahan gaya akibat gempa.

Balok beton bertulang sebagai komponen struktur rangka yang bertugas menahan gaya gempa dan diproporsikan terutama untuk menahan lentur, perlu direncanakan dan didesain agar mampu menahan gaya lentur di daerah sendi plastis. Pada perencanaan daktilitas-3 perlu adanya faktor penambahan kekuatan yang memungkinkan peningkatan kuat lentur penampang balok.

Permasalahannya adalah seberapa besar pengaruh penggunaan beton normal (kuat tekan beton) terhadap faktor penambahan kekuatan dan kuat lentur pada perencanaan daktilitas-3.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kuat tekan (f'_c) beton normal pada perencanaan daktilitas-3 terhadap kuat lentur balok dan faktor penambahan kekuatan lentur.

1.4 Keaslian Penelitian

Penelitian tentang faktor penambahan kekuatan (*over strength factor*) pernah dilakukan oleh Ibrahim (1998) dengan kuat tekan beton (f'_c) rerata di atas 30 MPa. Untuk melengkapi penelitian kami merencanakan penelitian dengan kuat tekan beton rencana 20, 25, dan 30 MPa. Penelitian ini diharapkan menjadi pelengkap penelitian yang sudah ada dan untuk memperkuat dugaan bahwa ada indikasi pengaruh kuat tekan beton terhadap kuat lentur balok beton bertulang dan faktor penambahan kekuatan lentur..

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

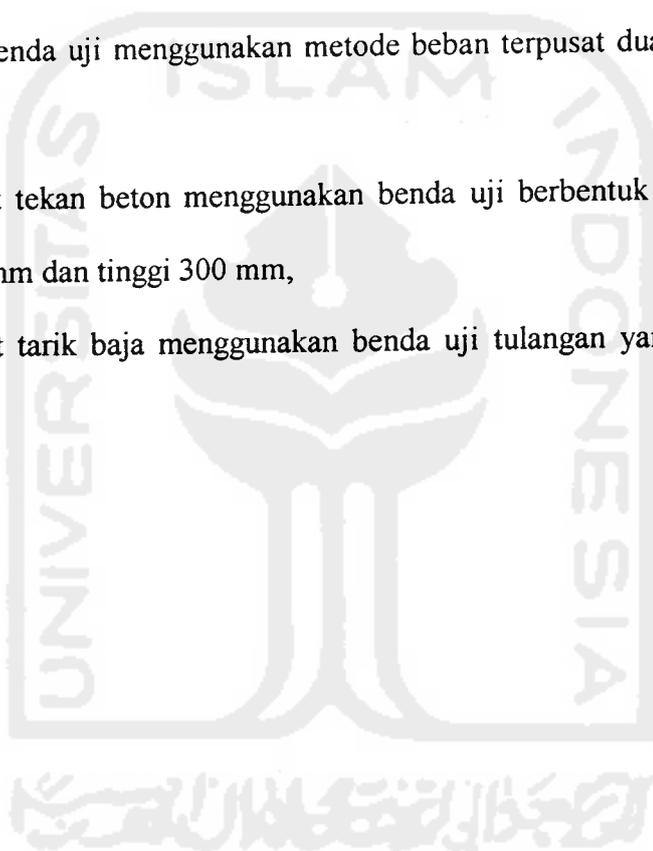
Penelitian yang akan dilakukan untuk tugas akhir ini adalah pengaruh kuat tekan beton bertulang terhadap kuat lentur balok dan tinjauan *over strength factor* pada konsep daktilitas penuh (daktilitas-3) yaitu untuk menjamin balok lemah kolom kuat.

Kuat lentur nominal penampang balok terpasang akan dihitung dengan menggunakan rerata enam jenis benda uji kuat tekan beton rencana (f'_c) 20, 25, dan 30 MPa dan beban maksimum pada balok beton bertulang.

Mengingat sangat kompleksnya permasalahan dalam penelitian ini maka lingkup permasalahan dalam penelitian perlu dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Balok uji yang digunakan dengan ukuran : 140 x 180 x 2000 mm,
2. Kuat tekan beton (f'_c) rencana antara 20, 25, dan 30 Mpa,
3. Agregat terdiri dari agregat halus/pasir diameter maksimal 5 mm dan agregat kasar/kerikil diameter maksimum 20 mm yang berasal dari kali Krasak,

4. Semen yang digunakan merk semen Gresik, Tipe I, kemasan 50 kg,
5. Air yang dipakai berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
6. Perencanaan campuran beton menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*),
7. Pembebanan benda uji menggunakan metode beban terpusat dua titik (*the third point loading*),
8. Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm,
9. Pengujian kuat tarik baja menggunakan benda uji tulangan yang dipakai pada balok beton.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa faktor yang tidak dapat begitu saja diambil dari literatur di luar negeri harus dicari dan diteliti sendiri di Indonesia, misalnya faktor *over strength* dan tegangan leleh baja untuk perencanaan penampang beton tahan gempa sangat tergantung pada karakteristik baja tulangan buatan Indonesia, karena pembebanan dilakukan sampai keadaan inelastic maka karakteristik tegangan regangan baja seperti tegangan leleh, tegangan putus, regangan pada saat *strain hardening*, regangan putus, modulus elastisitas baja, dan modulus *strain hardening* untuk baja-baja tulangan di Indonesia perlu diadakan penelitian (Gideon. K, 1987).

Faktor penambahan kekuatan merupakan faktor untuk memperhitungkan pengaruh penambahan kekuatan maksimal tulangan terhadap kuat luluh. Faktor ini merupakan variabel terhadap baja tulangan yang ada pada penampang balok. SK SNI-T-15-1991-03 menetapkan faktor penambahan kekuatan sebesar 1,25 untuk baja dengan $f_y \leq 400$ MPa, dan 1,40 untuk $f_y \geq 400$ MPa.

Peraturan SK SNI T-15-1991-03 terdapat persyaratan khusus yang berusaha untuk memperoleh keruntuhan balok terjadi dahulu dibandingkan keruntuhan kolom, dengan *over strength factor* dan *dynamic magnification factor* (W.C. Vis dan Gideon.K,1993)

Momen kapasitas balok beton bertulang M_{bk} dapat diperoleh dengan memperhitungkan cadangan kekuatan akibat adanya “*strain hardening*” pada baja tulangan. Cadangan kekuatan tersebut juga biasa disebut “*over strength factor*” Besarnya “*over strength factor*” biasanya diambil 1,25 (Widodo, 1991).

Dalam penelitian Ibrahim (1998) disimpulkan bahwa faktor penambahan kekuatan hasil penelitian menunjukkan nilai selalu lebih besar dari yang disyaratkan (1,25 untuk $f_y \leq 400$ MPa, SK SNI-1991). Hal ini menunjukkan bahwa nilai yang disyaratkan SNI-1991 kurang representatif di lapangan dan pengaruh kuat tekan merupakan variabel yang mempengaruhi nilai faktor penambahan kekuatan. Hasil penelitian Ibrahim (1998) disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil pengujian *over strength factor* (perbandingan momen aktual dan momen perlu).

| No | Balok Uji | f'_c MPa | M_{aktual} kNm | M_{perlu} kNm | $\phi_o = \frac{M_{aktual}}{M_{perlu}}$ |
|----|-----------|---------------|---------------------|--------------------|---|
| 1 | Balok-1 | 31,124 | 14,369 | 9,795 | 1,467 |
| 2 | Balok-2 | 34,708 | 13,895 | 9,302 | 1,494 |
| 3 | Balok-3 | 37,914 | 13,796 | 9,919 | 1,389 |

Sumber : Penelitian Ibrahim, 1998

Pada penelitian yang dilakukan Ananda Priyadi U. dan Wahyu Wardana diperoleh hasil bahwa kuat tekan beton sangat berpengaruh pada faktor penambahan kekuatan. Pengaruh kuat tekan beton meningkatkan kuat lentur balok dan faktor penambahan kekuatan. Faktor penambahan kekuatan yang diperoleh lebih dari yang disyaratkan SK SNI-1991 (1,25 untuk $f_y \leq 400$ MPa). Hal ini menguatkan

penelitian Ibrahim (1998), bahwa nilai yang disyaratkan SK SNI-1991 kurang representatif di lapangan dan pengaruh kuat tekan (f'_c), dimensi penampang (b), jarak dari serat terluar ke pusat tulangan tarik (d) merupakan variabel yang mempengaruhi nilai faktor penambahan kekuatan. Pengujian dan analisis pengaruh variabel-variabel di atas terhadap kuat lentur aktual pengujian dan kuat lentur analisis penampang (kuat lentur perlu) disajikan pada Lampiran 24 s/d 26 serta Lampiran 20 s/d 23. Hasil penelitian disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hasil analisis faktor penamodaahan kekuatan (perbandingan momen pengujian dan momen hitungan).

| No | Balok Uji | Kuat Tekan Rerata MPa | M_{aktual} rerata kNm | M_{perlu} rerata kNm | $\phi_o = \frac{M_{aktual}}{M_{perlu}}$ |
|----|-----------|-----------------------|-------------------------|------------------------|---|
| 1 | Balok-1 | 24,913 | 12,8104 | 8,8532 | 1,4469 |
| 2 | Balok-2 | 29,345 | 13,9956 | 8,936 | 1,5662 |
| 3 | Balok-3 | 33,818 | 15,1856 | 8,8625 | 1,7135 |

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Konsep Desain Kapasitas

Pada perencanaan bangunan tahan gempa, terbentuknya sendi-sendi plastis, yang mampu memencarkan energi gempa dan membatasi besarnya beban gempa yang masuk ke dalam struktur, harus dikendalikan sedemikian rupa agar struktur berperilaku memuaskan dan tidak sampai runtuh saat terjadi gempa kuat.

Pengendalian terbentuknya sendi-sendi plastis pada lokasi-lokasi yang telah ditentukan ditentukan lebih dahulu dapat dilakukan secara pasti terlepas dari kekuatan dan karakteristik gempa (Gideon. K, 1993).

Perencanaan bangunan tahan gempa khususnya bangunan berlantai banyak (*multistorey frame*) adalah dengan metode perencanaan kapasitas. Metode ini dikenal dengan '*strongth column weak beam*', dimana pada dasarnya jika kekuatan balok lebih lemah dari kolom maka pembentukan sendi-sendi plastis yang terjadi pada struktur akibat beban statis dan dinamis dapat dipaksakan terjadi pada balok sehingga perilaku struktur akan lebih stabil (*beam sway mechanism*) dibandingkan sendi-sendi plastis terbentuk pada ujung kolom lantai tingkat (*column sway mechanism*) karena kekuatan kolom lebih lemah dari balok (Mulyadi.S, 1987).

Pada perencanaan struktur beton dikenal 2 macam *limit states*, yakni *ultimate limit states* dan *serviceability limit states*. Pada perencanaan struktur beban di daerah gempa perencanaan *limit states design* disebut *capacity design* yang berarti bahwa ragam keruntuhan struktur akibat beban gempa yang besar ditentukan lebih dahulu dengan elemen-elemen kritisnya dipilih sedemikian rupa agar mekanisme keruntuhannya dapat memencarkan energi yang sebesar-besarnya.

Agar elemen-elemen kritis dapat dijamin pembentukannya secara sempurna maka elemen-elemen lainnya harus direncanakan khusus sehingga lebih kuat dibandingkan elemen-elemen kritis (W.C. Vis dan Gideon.K, 1993).

Pada struktur beton rangka terbuka persyaratan dasar perencanaan di daerah gempa adalah bahwa batang-batang horisontal (balok-balok) harus runtuh lebih dahulu sebelum terjadinya kerusakan-kerusakan pada batang-batang vertikal (kolom-

kolom). Dengan mengikuti persyaratan dasar ini maka struktur beton dapat menunda keruntuhan totalnya.

Balok-balok dan plat beton pada umumnya tidak akan runtuh meskipun sudah terjadi kerusakan yang besar pada lokasi sendi-sendi plastis sedangkan kolom-kolom akan runtuh segera akibat beban vertikal walaupun baru terjadi kerusakan-kerusakan kecil (W.C. Vis dan Gideon.K, 1993).

Dasar-dasar perencanaan di bawah ini penting untuk diperhatikan.

1. Balok-balok harus runtuh lebih dahulu sebelum kolom-kolomnya.
2. Keruntuhan harus diakibatkan lentur bukan akibat geser.
3. Keruntuhan join-join di antara batang-batang harus dihindari.
4. Keruntuhan daktail bukan keruntuhan getas yang harus dipilih

Kita harus memilih cara kegagalan yang tidak bersifat getas dalam tiap-tiap luas penampang dari elemen struktur yang kritis. Oleh karena itu, untuk bahan beton bertulang, kita harus menjamin bahwa kegagalan geser dan kegagalan tekan tidak terjadi karena kedua macam kegagalan ini bersifat getas. Hal ini adalah salah satu hasil dari filsafat kapasitas desain (David L.Hutchison,1983).

Kita memakai hanya hasil dari analisa elastik dalam hal menentukan penulangan momen lentur balok saja. Untuk semua macam gaya dan elemen lain, maka kita mendasarkan penulangan atas kekuatan momen lentur plastik dari pasangan balok. Inilah hasil yang utama yang timbul akibat pemakaian filsafat kapasitas desain (David L. Hutchison, 1983).

2.2.2 Perencanaan dengan Tingkat Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung atau unsur struktur itu untuk mengalami simpangan-simpangan plastis secara berulang dan bolak-balik di atas titik leleh pertama sambil mempertahankan sebagian besar dari kemampuan awalnya dalam memikul beban (PPKGURG, 1987).

Pada bangunan-bangunan tertentu, beban lateral akibat gempa dapat dihitung dengan cara statik ekuivalen, yang mana komposisi beban horisontal akan berbentuk segitiga linear dengan puncak di atas. Pada kenyataannya, analisis dinamik pada kondisi elastik dengan beberapa beban gempa yang diamati menunjukkan hasil bahwa beban yang terjadi pada setiap massa kadang lebih besar daripada beban yang telah direncanakan dengan prinsip Statik Ekuivalen (Park & Paulay, 1975). Namun anehnya bangunan yang bersangkutan masih aman atau bertahan terhadap beban gempa. Hal ini tampaknya seperti ada kelainan (anomali), tetapi sesungguhnya bangunan tersebut telah mampu berdeformasi secara baik tanpa menunjukkan sifat-sifat getas, sehingga keruntuhan secara tiba-tiba dapat dihindari. Hal inilah yang kemudian dikenal dengan adanya prinsip duktilitas pada bangunan.

Dengan pernyataan tersebut maka akan lebih ekonomis apabila bangunan dibangun dengan direncanakan berdasarkan prinsip duktilitas (beban desain relatif kecil) daripada bangunan yang direncanakan dengan prinsip *full elastic* dengan beban desain yang besar (Widodo, 1991).

Gedung-gedung dengan segenap komponen struktur penahan gempa harus direncanakan dan dibuat detailnya sedemikian rupa sehingga keseluruhannya mampu memberikan perilaku daktil sepenuhnya. Ketentuan tersebut didasarkan pada

kenyataan bahwa secara ekonomi tidaklah lazim untuk merencanakan struktur gedung sedemikian kuat sehingga tahan terhadap gempa secara elastik. Sehubungan dengan hal tersebut, peraturan menetapkan suatu taraf gempa rencana yang menjamin struktur gedung tidak rusak sewaktu menahan gempa kecil atau sedang. Sedangkan sewaktu menahan gempa kuat yang lebih jarang terjadi, struktur mampu mempertahankan perilaku perubahan bentuk secara duktail dengan memancarkan energi dan membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur melalui pola rencana yang terkendali sehingga tidak mengakibatkan keruntuhan fatal (Istimawan. D, 1994).

Dengan prinsip bangunan duktail, maka beban disain yang dipakai pada prinsip ini relatif kecil, sehingga dimensi elemen struktur dapat lebih kecil dan dihemat. Pada pembebanan gempa yang besar, pada perencanaan jenis ini tegangan bahannya sudah tidak berperilaku elastis lagi, tetapi sudah terjadi sendi-sendi plastis pada tempat-tempat yang diharapkan, dan struktur secara keseluruhan belum runtuh.

Perencanaan struktur beton bertulang dapat direncanakan dengan tingkat daktilitas 1, 2 atau 3 (SNI-1991) yang dijabarkan sebagian berikut ini (Gideon H. Kusuma, 1993).

1. Tingkat daktilitas-1 (elastis)

Struktur dengan tingkat daktilitas-1 harus direncanakan agar tetap berperilaku elastis saat terjadi gempa kuat. Untuk ini beban gempa rencana harus dihitung berdasarkan faktor jenis struktur K minimum sebesar 4.

2. Tingkat daktilitas-2 (daktilitas terbatas)

Struktur dengan daktilitas-2 atau daktilitas terbatas ($\mu = 2$) harus direncanakan sedemikian rupa dengan pendetailan khusus, sehingga mampu berperilaku inelastis terhadap beban siklis gempa tanpa mengalami keruntuhan getas. Dalam hal ini beban gempa rencana harus diperhitungkan dengan menggunakan faktor jenis struktur K minimum sebesar 2.

3. Tingkat daktilitas-3 (daktilitas penuh)

Struktur dengan tingkat daktilitas-3 atau daktilitas penuh ($\mu = 4$) harus direncanakan terhadap beban siklis gempa kuat sedemikian rupa dengan pendetailan khusus, sehingga mampu menjamin terbentuknya sendi-sendi plastis dengan kapasitas pemencaran energi yang diperlukan. Hal ini beban gempa rencana dapat diperhitungkan dengan menggunakan faktor jenis struktur K minimum sebesar 1.

2.2.3 Perencanaan dengan Tingkat Daktilitas Penuh

Struktur dengan perencanaan jenis ini dinamakan juga perancangan bangunan dengan tingkat daktilitas-3, yaitu perancangan yang berprinsip pada pemanfaatan secara maksimum atas pelepasan (*dissipation*) energi dan daktilitas, sehingga dalam kondisi non elastik struktur tidak runtuh secara tiba-tiba (Widodo,1991)

Perencanaan bangunan gedung dengan daktilitas penuh (daktilitas-3) merupakan penjabaran perencanaan bangunan gedung dengan desain kapasitas (Kusuma, 1993; Dipohusodo, 1994).

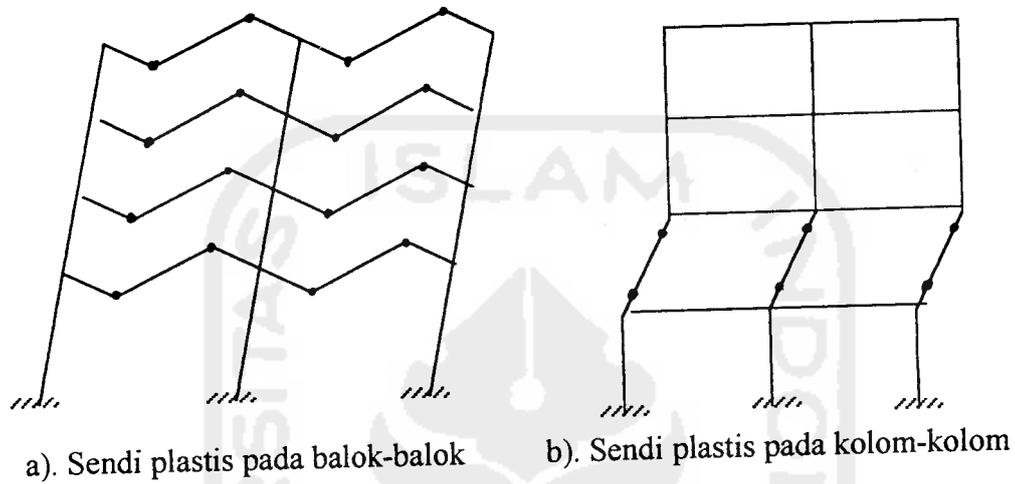
Struktur dengan daktilitas penuh adalah struktur beton yang dapat mempunyai faktor *displacement ductility* 4 sampai dengan 6 atau lebih akibat beban bolak-balik tanpa terjadinya pengurangan kekuatan. Bila faktor *displacement ductility* yang tersedia hanya 2 sampai 3, struktur disebut struktur dengan daktilitas terbatas. Struktur beton yang mempunyai daktilitas yang lebih kecil lagi harus direncanakan secara elastis (Gideon. K, 1987).

Bangunan gedung yang direncanakan dengan desain kapasitas diharapkan mampu menerima beban gempa kecil atau sedang dan saat terjadi beban gempa besar yang mungkin terjadi dalam periode waktu yang lebih panjang dari periode gempa kecil atau sedang. Keruntuhan yang terjadi pada struktur bangunan mampu memencarkan energi dari beban gempa dan keruntuhannya didesain sedemikian rupa sehingga tidak membahayakan keselamatan orang yang ada didalam gedung tersebut ataupun bangunan lain yang ada disekitarnya termasuk penghuni atau pemakainya (Gideon. K, 1993).

Untuk mencapai keruntuhan yang diharapkan, maka dipilih elemen struktur yang boleh runtuh terlebih dahulu dan dapat memencarkan energi beban gempa. Secara umum untuk menjamin bahwa elemen terpilih harus runtuh terlebih dahulu dari elemen struktur yang lain maka elemen struktur yang lain harus lebih kuat dari elemen terpilih. Untuk mendapatkan elemen yang lebih kuat, maka harus diketahui secara pasti kapasitas kekuatan pada elemen terpilih (Gideon H. Kusuma, 1994).

Elemen-elemen suatu struktur bangunan gedung secara umum meliputi : balok, kolom dan fondasi. Dari tiga elemen struktur diatas, balok terpilih sebagai elemen yang keruntuhannya mampu memencarkan energi gempa yang ditandai

dengan terbentuknya sendi plastis. Pemilihan ini didasarkan pada mekanisme keruntuhan yang terjadi pada portal-portal akibat beban gempa. Mekanisme keruntuhan yang terjadi akibat beban gempa ada dua yaitu (Istimawan, D, 1994) :



Gambar 2.1 Pola pembentukan sendi plastis
(Istimawan, D, 1994)

Mekanisme goyang dengan terbentuknya sendi plastis pada sejumlah kecil kolom, seperti ditunjukkan pada Gambar (2.1b) akibat balok-balok yang kuat dan kaku hanya dapat diijinkan untuk struktur yang rendah dengan alasan (Istimawan, D, 1994):

1. pemencaran energi berlangsung terpusat didalam sejumlah kecil komponen struktur kolom, yang mungkin tidak memiliki cukup daktilitas karena besarnya gaya-gaya aksial yang bekerja bersamaan,
2. daktilitas yang dituntut pada kolom-kolom untuk mencapai tingkat daktilitas tinggi akan sulit dipenuhi, dan

3. simpangan besar yang terjadi pada struktur mengakibatkan timbulnya efek P- Δ yang merupakan kondisi berbahaya bagi stabilitas struktur.

Mekanisme goyang dengan sendi-sendi plastis terbentuk pada semua balok seperti Gambar (2.1a) merupakan mekanisme yang diharapkan karena hal tersebut memberikan keuntungan-keuntungan sebagai berikut (Istimawan. D, 1994) :

1. pemencaran energi berlangsung tersebar dalam banyak komponen,
2. bahaya ketidakstabilan struktur akibat efek P- Δ hanya kecil,
3. sendi-sendi plastis didalam balok dapat berfungsi dengan sangat baik, yang memungkinkan berlangsungnya rotasi-rotasi plastis besar, dan
4. daktilitas yang dituntut untuk mencapai tingkat 4 pada umumnya dengan mudah dapat dipenuhi.

Untuk menjamin perilaku struktur yang memuaskan setelah melampaui batas elastis yaitu terbentuknya sendi-sendi plastis pada balok-balok maka kolom-kolom harus didesain lebih kuat dari balok. Hal ini salah satu filosofi perencanaan daktilitas 3 yaitu kolom kuat-balok lemah (*strong coloum weak beam*).

Disamping balok-balok mengalami sendi plastis, pada balok tidak boleh gagal akibat geser, karena kegagalan akibat geser menimbulkan keruntuhan yang bersifat getas. Pada balok diharapkan mengalami keruntuhan akibat lentur dengan deformasi lentur yang cukup besar.

Supaya tercapai kolom lebih kuat dari balok dan untuk menjamin kegagalan geser pada balok terjadi setelah balok mengalami sendi plastis maka untuk merencanakan kolom dan kuat geser balok itu sendiri, harus diketahui secara pasti kapasitas kekuatan lentur balok.

2.2.4 Pelenturan Pada Balok Beton Bertulang

Balok merupakan elemen struktur yang berfungsi mendukung beban lentur dan geser. Pada suatu perencanaan penampang balok ataupun perhitungan kapasitas penampang balok digunakan anggapan-anggapan ataupun asumsi-asumsi untuk mempermudah perhitungan yang ada dengan tidak mengabaikan faktor keamanan.

Anggapan-anggapan yang dipakai dalam perhitungan penampang balok yang tercantum dalam SNI-1991 dan Dipohusodo (1994) antara lain berikut ini.

1. Bidang-bidang rata dianggap tetap rata setelah mengalami pelenturan dan tetap lurus pada sumbu konstruksi (Azas Bernoulli).
2. Regangan-regangan dalam penampang, berbanding lurus terhadap jarak ke garis netral (Azas Navier).
3. Regangan maksimum pada serat tekan terluar sama dengan 0,003.
4. Tegangan tarik dipikul sepenuhnya oleh baja tulangan.
5. Tegangan dalam tulangan dibawah kuat leleh yang ditentukan sebesar modulus elastisitas baja tulangan dikalikan regangannya. Untuk regangan yang lebih besar dari regangan yang memberikan f_y , tegangan pada tulangan dianggap tidak tergantung pada regangan dan sama dengan f_y .
6. Hubungan distribusi tegangan beton boleh dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan ekuivalen yang didefinisikan sebagai berikut :
 - a) tegangan beton sebesar $0,85 \cdot f'_c$ terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi garis yang sejajar dengan garis netral sejarak $a = \beta_1 \cdot c$ dan serat tekan dengan regangan maksimum.

- b) Faktor nilai β_1 diambil sebesar 0,85 untuk kuat tekan beton hingga atau sama dengan 30 MPa. Untuk kuat tekan di atas 30 MPa nilai β_1 harus direduksi sebesar 0,008 setiap kelebihan 1 MPa dari 30 MPa tetapi nilai β_1 tidak boleh kurang dari 0,65

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{untuk } 0 < f'_c < 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \quad \text{untuk } 30 < f'_c < 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,65 \quad \text{untuk } f'_c > 55 \text{ MPa}$$

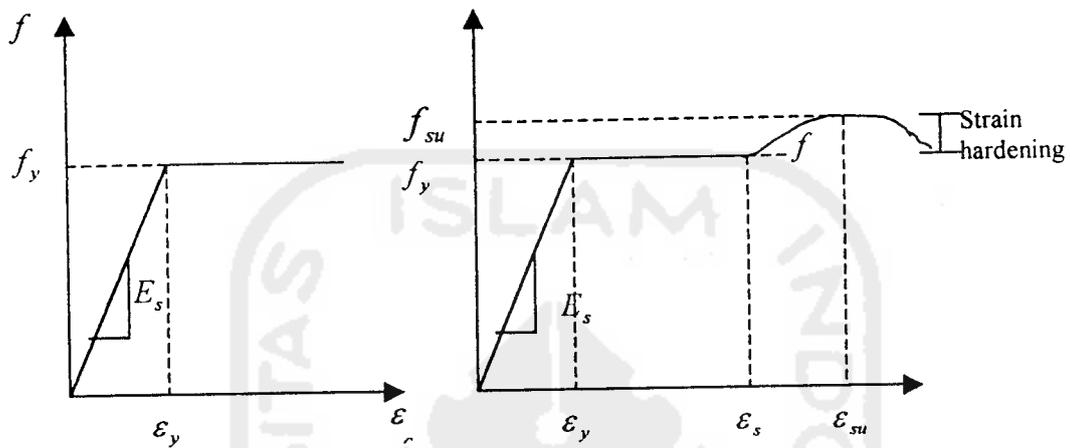
- c) jarak c dari serat tekan beton terluar ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus.

Mengetahui secara tepat kuat lentur daerah sendi plastis balok yang sengaja direncanakan sebagai bagian yang lemah merupakan hal yang sangat penting untuk memastikan kolom-kolom lebih kuat dari balok dan kegagalan getas akibat beban geser tidak terjadi lebih awal dari terbentuknya sendi-sendi plastis dengan deformasi lentur yang cukup besar. Namun sangat sulit untuk memperkirakan secara akurat, kuat lentur balok pada saat mengalami deformasi inelastis akibat beban gempa besar dengan cara analisis.

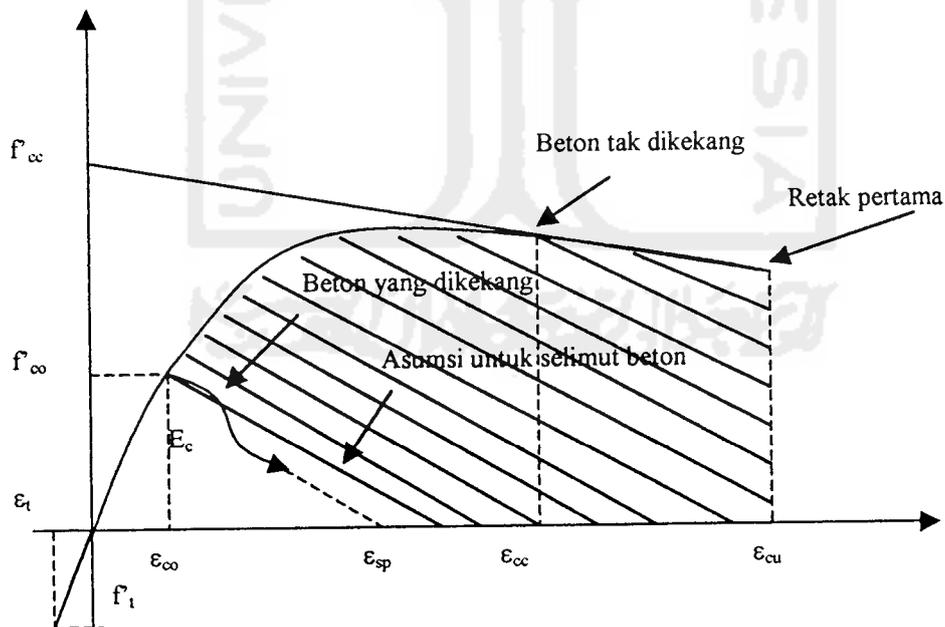
Faktor-faktor penyebab meningkatnya kuat lentur balok secara garis besar sebagai berikut (Gideon. K, 1993) ini.

1. Kuat leleh aktual tulangan baja (f_y) umumnya lebih besar dari nilai nominal yang ditentukan dalam standar tata cara perencanaan.
2. Pengaruh *strain-hardening* pada tulangan baja tidak diperhitungkan dalam perencanaan seperti diilustrasikan pada Gambar 2.2.

3. Kemungkinan bertambah besarnya kuat tekan dan regangan tekan maksimal beton akibat adanya pengekanan yang baik seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Hubungan tegangan – regangan tulangan baja
(Gideon H. Kusuma, 1993)



Gambar 2.3. Hubungan tegangan-regangan tekan beton dengan dan tanpa pengaruh pengekanan
(Gideon H. Kusuma, 1993)

2.2.5 Analisis Momen Penampang Balok

Perencanaan dengan konsep desain kapasitas dalam SNI-1991 disebutkan sebagai perencanaan dengan daktilitas-3, kolom dan kuat geser balok dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$a) \quad \Sigma M_{u,k} \geq 0,7 \omega_d \Sigma M_{kap,b} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$b) \quad N_{u,k} = \frac{0,7 R_v \Sigma_{kap,b}}{\ell_b} + 1,05 N_{g,k} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$c) \quad V_{u,b} = 0,7 \frac{M_{kap} + M'_{kap}}{\ell_b} + 1,05 V_g \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

$\Sigma M_{u,k}$ = jumlah momen rencana kolom pada muka titik buhul, kNm,

ω_d = koefisien pembesaran dinamis yang memperhitungkan pengaruh terjadinya sendi plastis pada struktur secara keseluruhan,

$\Sigma M_{kap,b}$ = jumlah momen kapasitas balok pada pusat titik buhul, kNm,

$N_{u,k}$ = gaya aksial rencana yang bekerja pada kolom, kN,

$N_{g,k}$ = gaya aksial kolom terfaktor akibat beban gravitasi pada pusat titik buhul, kN,

$V_{u,b}$ = gaya geser rencana pada balok, kN,

V_g = gaya geser balok terfaktor akibat beban gravitasi, kN,

$M'_{kap,b}$ = momen kapasitas negatif penampang balok, kNm.

Dari persamaan di atas, momen kapasitas pada balok merupakan variabel yang sangat menentukan pada perencanaan desain kapasitas. Jika ditinjau suatu balok yang mengalami deformasi lentur pada sebarang penampang balok tersebut akan terjadi tegangan tekan dan tegangan tarik yang besarnya bergantung pada momen lentur yang bekerja pada penampang tersebut. Penampang balok terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian yang mengalami tarik dan bagian yang mengalami tekan yang dibatasi oleh garis netral yaitu tempat kedudukan yang mempunyai nilai regangan sama dengan nol, sehingga tegangan juga sama dengan nol. Pada daerah tarik, tegangan tarik yang terjadi didukung oleh baja tulangan (tulangan tarik) yang besarnya :

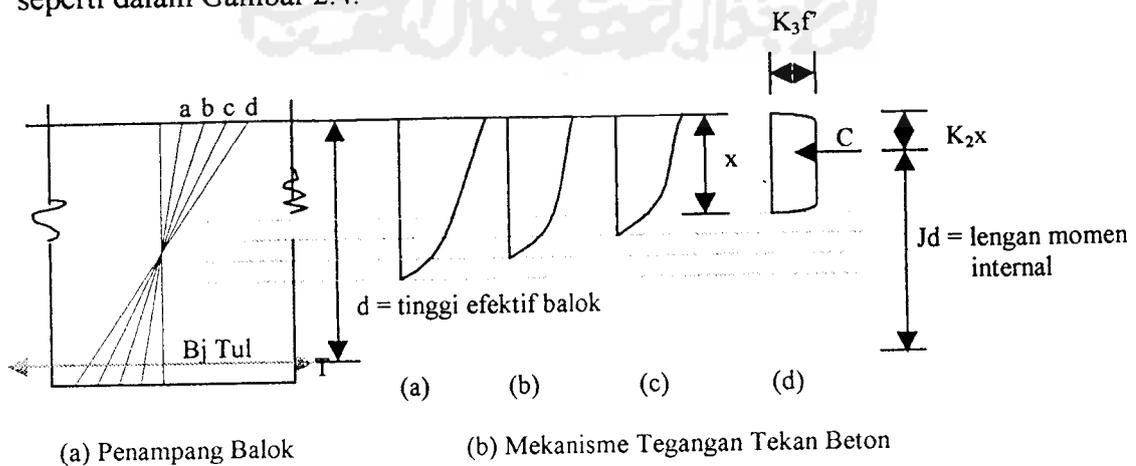
$$T = A_s \cdot f_s \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

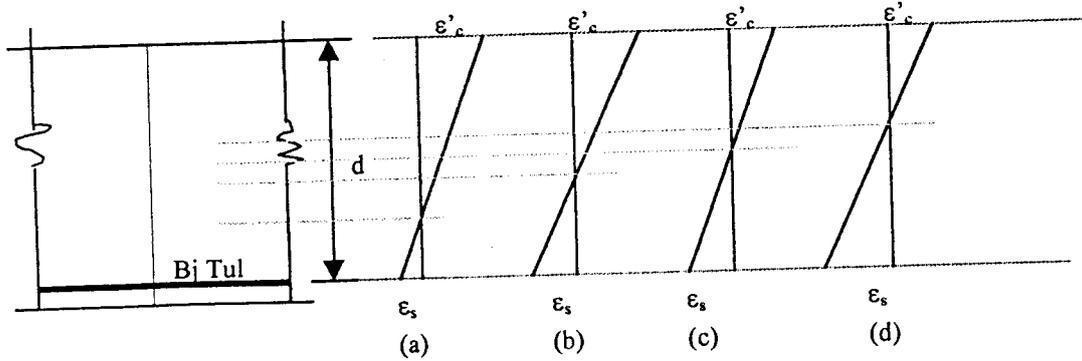
dengan :

$$f_s = f_y \text{ untuk } \epsilon_s \geq \epsilon_y$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s \text{ untuk } \epsilon_s < \epsilon_y$$

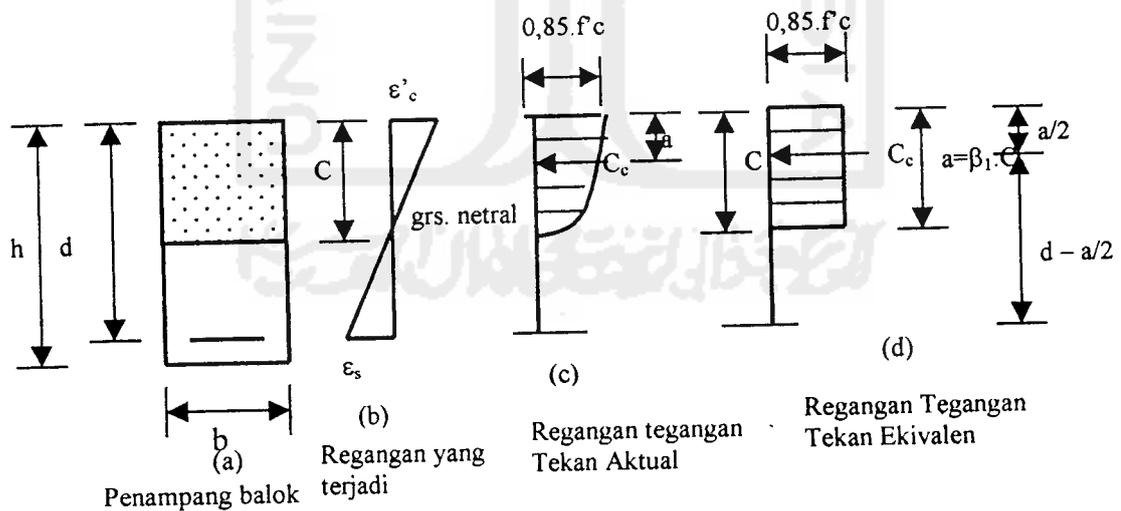
Tegangan tekan beton setelah momen lentur ditingkatkan dapat dilihat seperti dalam Gambar 2.4.





Gambar 2.4 Mekanisme tegangan dan regangan pada tampang balok (Park and Paulay, 1975)

Bila kuat tekan beton (f'_c) diketahui, maka diagram tegangan tekan beton yang terjadi dapat diekivalensi dengan bentuk segi empat yang sesuai dengan diagram ekivalen pada SNI-1991 seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram tegangan aktual dan ekivalen tekan beton dengan tulangan tunggal (Park and Paulay, 1975)

Dari diagram idealisasi tekan ekivalen dapat diambil rumusan besarnya gaya tekan pada penampang tekan balok adalah :

$$C_c = a \cdot b \cdot 0,85 \cdot f'_c \dots\dots\dots (2.5)$$

$$T_s = C_c \dots\dots\dots (2.6)$$

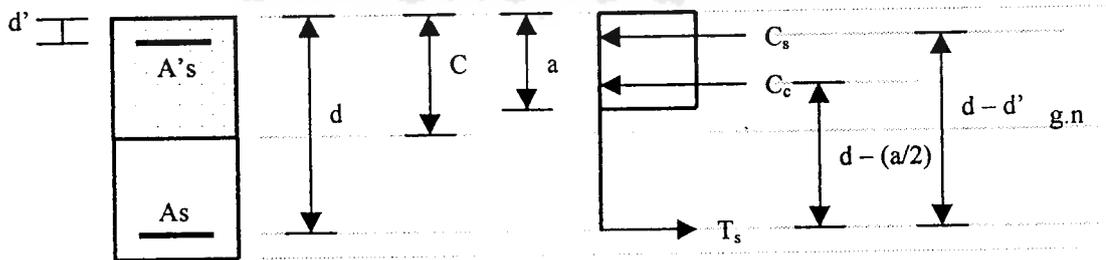
Dari persamaan-persamaan di atas dapat ditentukan momen internal yang dapat ditahan oleh penampang balok tersebut dengan rumusan yang dapat diambil dari Gambar 2.5 :

$$M_{int} = \left(C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) \text{ untuk tinjauan tekan , atau } \dots\dots\dots (2.7)$$

$$M_{int} = \left(T_s \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) \text{ untuk tinjauan tarik } \dots\dots\dots (2.8)$$

$$M_{int} = M_n \geq M_{ekst} \dots\dots\dots (2.9)$$

Apabila pada penampang balok tersebut dipasang tulangan rangkap dengan tulangan tekan seluas $A's$, maka besarnya gaya tekan yang bekerja pada penampang balok seperti dalam Gambar 2.6 adalah :



Gambar 2.6 Analisis momen penampang balok dengan tulangan rangkap (Park and Paulay, 1975)

Persamaan sebagai berikut :

$$C_c = C_c + C_s \dots\dots\dots (2.10)$$

$$C_c = \{(a.b) - A'_s\} 0,85.f'_c \text{ untuk } a > d' \dots\dots\dots (2.11)$$

$$C_s = A'_s.f_y \text{ untuk } \varepsilon'_s \geq \varepsilon_y \text{ atau } \dots\dots\dots (2.12)$$

$$C_s = A'_s.f'_s \text{ untuk } \varepsilon'_s < \varepsilon_y \dots\dots\dots (2.13)$$

$$T_s = C_c + C_s \dots\dots\dots (2.14)$$

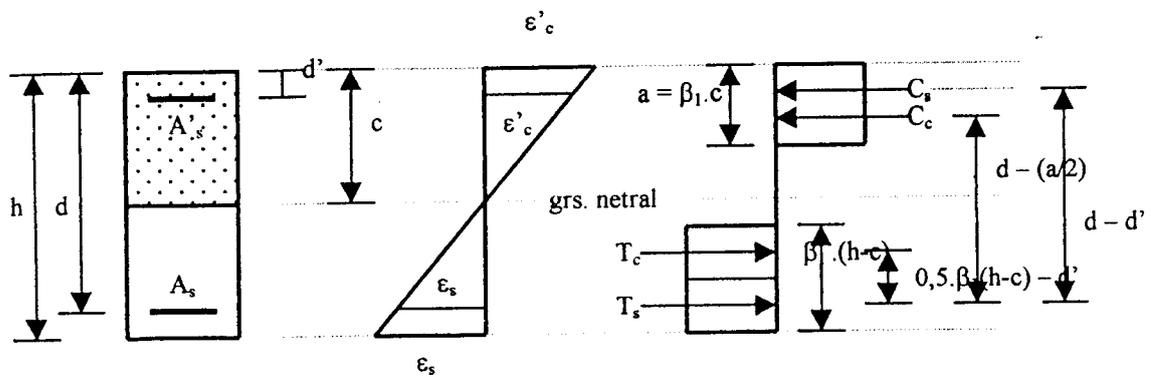
Dari persamaan-persamaan di atas dapat ditentukan momen internal yang dapat ditahan oleh penampang balok tersebut dengan rumus yang dapat diambil dari Gambar 2.6 :

$$M_{int} = \left(C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (C_s.(d - d')) \text{ untuk tinjauan tekan } \dots\dots\dots (2.15)$$

$$M_{int} = \left(T_s \left(d - \frac{\left(\frac{a}{2} \right) C_s + d'.C_s}{T_s} \right) \right) \text{ untuk tinjauan tarik } \dots\dots\dots (2.16)$$

$$M_{int} \geq M_{ekst} \dots\dots\dots (2.17)$$

Pada penampang balok terpasang tulangan rangkap dengan tulangan tekan seluas A_s' dan kuat tarik beton diperhitungkan untuk beton serat pada kondisi *underreinforced* maka gaya yang bekerja pada penampang balok seperti dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Analisis gaya penampang balok dengan tulangan rangkap dengan memperhitungkan kuat tarik beton serat (Suhendro, 1994)

Persamaan sebagai berikut :

$$f_{tc} = 0,6(\sqrt{f'_c}) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$T_c = 0,85 \cdot f_{tc} \cdot \beta_1 (h - c)b \dots\dots\dots (2.19)$$

$$T_c + T_s = C_c + C_s \dots\dots\dots (2.20)$$

Dari persamaan-persamaan di atas dan sebelumnya dapat ditentukan momen internal ($M_{int} = M_n$) yang dapat ditahan oleh penampang balok tersebut dengan rumusan yang diambil dari Gambar 2.7 :

$$M_{int} = C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d') - T_c (0,5 \cdot \beta_1 (h - c) - d') \dots\dots\dots (2.21)$$

$$M_{int} = M_{ekst} \dots\dots\dots (2.22)$$

Persamaan (2.18) sampai dengan (2.22) adalah untuk beton serat pada kondisi *underreinforced* sedangkan untuk beton normal kuat tarik beton diperhitungkan ketika beton belum mengalami retak pertama. Setelah retak pertama pada balok beton kuat tarik beton tidak dapat diperhitungkan karena beton tidak menyatu lagi (retak). Berhubung retak pertama pada hasil tersebut terjadi pada tegangan yang sangat kecil, maka praktis beton tarik tidak diperhitungkan dalam setiap analisis tampang beton.

2.2.6 Faktor Penambahan Kekuatan (*over strength factor*)

Guna memperhitungkan adanya kemungkinan peningkatan kuat lentur penampang balok di daerah sendi plastis, SNI-1991 menentukan faktor penambahan kekuatan (ϕ_o) sebesar 1,25 untuk $f_y \leq 400$ MPa dan 1,40 untuk $f_y \geq 400$ MPa. Momen kapasitas balok dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$M_{kap,b} = \phi_o \cdot M_{nak,b} \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan :

$M_{kap,b}$ = jumlah momen kapasitas balok pada pusat joint, yang berhubungan dengan kapasitas lentur aktual balok (untuk jumlah luas tulangan yang sebenarnya terpasang)

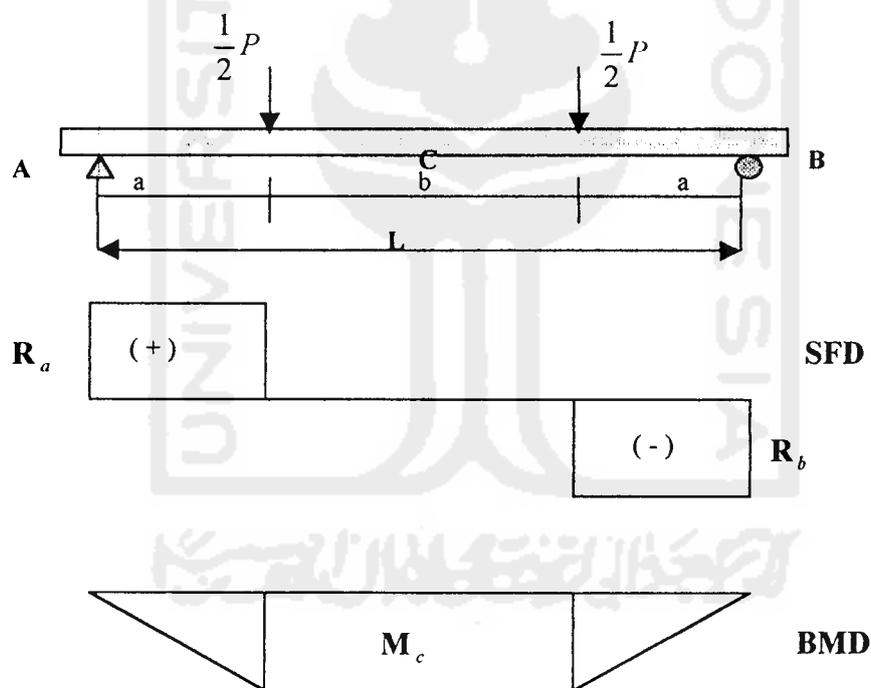
ϕ_o = faktor penambahan kekuatan (*over strength factor*)

$M_{nak,b}$ = kuat momen lentur nominal aktual balok yang dihitung terhadap luas tulangan sebenarnya pada penampang balok yang ditinjau

Persamaan di atas dapat dikonversikan menjadi $\phi_o = \frac{M_{kap,b}}{M_{nak,b}}$. Dengan

persamaan yang telah dikonversikan tersebut dapat dinyatakan bahwa faktor penambahan kekuatan merupakan perbandingan antara momen kapasitas balok terhadap momen nominal balok itu sendiri. Kapasitas penampang balok yang direncanakan dengan kuat tekan tertentu merupakan variabel dalam perhitungan momen nominal aktual balok.

2.2.7 Analisis Momen Pada Dua Tumpuan Sederhana



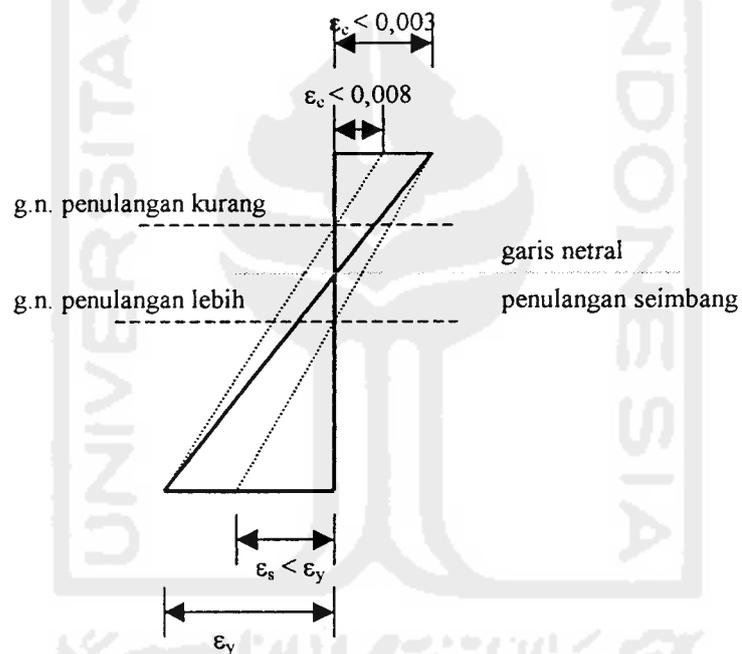
Gambar 2.8 Pembebanan terpusat dengan dua titik

Dengan melihat Gambar 2.8 dapat diketahui momen pada tengah bentangan (M_c) dengan rumusan sebagai berikut :

$$R_a = \frac{P}{2} + \frac{w \times L}{2} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$M_c = \frac{P \times L}{6} + \frac{w \times L^2}{8} \dots\dots\dots (2.25)$$

2.2.8 Penulangan Penampang Balok



Gambar 2.9 Variasi letak garis netral

(Dipohusodo, 1994)

Penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang balok demikian disebut bertulangan lebih (*overreinforced*). Kelebihan tulangan baja tarik mengakibatkan garis netral bergeser ke bawah (Gambar 2.9). Hal demikian menyebabkan beton mendahului mencapai tegangan maksimum 0,003 sebelum tulangan baja tariknya leleh sehingga bersifat getas. Sedangkan penampang balok mengandung jumlah tulangan baja tarik lebih kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang demikian disebut bertulangan kurang (*underreinforced*). Letak garis netral akan naik sedikit dari keadaan seimbang dan tulangan tarik akan leleh terlebih dahulu sebelum beton mencapai regangan maksimumnya 0,003 (Istimawan. D, 1994).

Untuk menjamin pola keruntuhan yang daktail didalam lentur (patah lentur/tarik), maka ragam yang dipilih adalah *underreinforced* dan dibatasi dengan jumlah tulangan tarik tidak melebihi 75 % dari tulangan keadaan tegangan berimbang (*balance*) (Wang and Salmon dalam Hariandja, 1990).

Persamaan rasio tulangan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{b.d} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\rho_b = \frac{0,85.f'_c}{f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \text{ untuk } E_s = 200.000 \text{ Mpa} \dots\dots\dots (2.29)$$

Batasan penulangan adalah $\rho_{\min} \leq \rho \leq 0,75 \cdot \rho_b$

dengan :

ρ_{\min} = rasio tulangan minimum

ρ = rasio tulangan tarik aktual

ρ' = rasio tulangan tekan aktual

ρ_b = rasio tulangan dalam keadaan berimbang ($\varepsilon_s = \varepsilon_y$)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan sampel penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut :

3.1 Bahan Penyusun Beton Bertulang

Perencanaan campuran adukan beton menggunakan metode ACI Committee 544 (1982). Sebagai penyusun beton digunakan bahan antara lain sebagai berikut ini.

3.1.1 Semen

Semen dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan perekat adukan beton (*binder*). Semen yang digunakan adalah semen portland merk Nusantara, tipe I, kemasan 50 kg. Semen jenis ini dipilih karena paling umum digunakan sebagai perekat adukan beton. Penilaian kualitas semen hanya dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap keutuhan kemasan dan kehalusan butirannya.

3.1.2 Agregat

Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Kebutuhan agregat dalam suatu campuran beton diperkirakan menempati

sebanyak 70 % volume beton. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua macam agregat, yaitu :

1. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang diambil dari kali Krasak, Sleman, Yogyakarta, yang berdiameter lolos saringan 4,80 mm. Pasir sebelum digunakan terlebih dahulu dicuci. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang terkandung didalam butiran-butiran pasir tersebut. Selain itu dilakukan pula penyelidikan pasir yang bertujuan untuk memperoleh distribusi ukuran butir (gradasi) dan berat volume dalam keadaan jenuh kering muka (SSD).

2. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batuan pecah yang didatangkan dari kali Krasak, Sleman, Yogyakarta. Memperhatikan ukuran penampang model, dipilih batu pecah dengan ukuran butir maksimum 40 mm. Penyelidikan batu pecah bertujuan memperoleh data tentang berat jenis dan berat volume dalam keadaan jenuh kering muka (SSD). Sebelum digunakan batu pecah dicuci dan fraksi batu-batu pecah dipisahkan menggunakan ayakan.

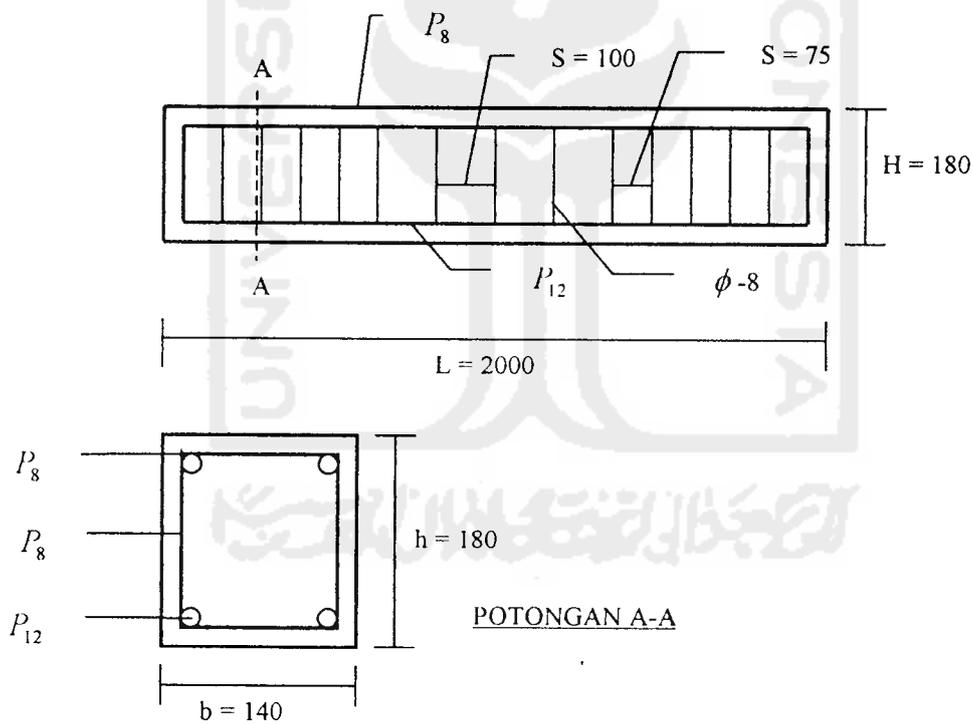
3.1.3 Air

Air yang digunakan diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Fungsi air terutama adalah untuk membuat campuran adukan beton, rawatan keras (*curing*), mencuci agregat halus dan agregat kasar. Air yang digunakan

berdasarkan pengamatan secara visual tampak jernih, tidak berbau, dan tidak berwarna.

3.1.4 Besi Tulangan Beton

Pembuatan sampel penelitian digunakan baja tulangan polos (BJTP) $\varnothing 8$ mm sebagai tulangan memanjang atas dan tulangan sengkang, $\varnothing 12$ mm sebagai tulangan memanjang bawah, sedangkan jarak sengkang yang dipakai 10 cm. Pengujian tarik baja dilakukan untuk mengetahui kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan yang terpasang pada sampel. Penulangan balok beton disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Penulangan balok beton

3.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun alat-alat yang dipergunakan adalah:

3.2.1 Mesin Uji Kuat Tarik

Mesin uji kuat tarik digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan kuat leleh baja tulangan. Pada penelitian ini digunakan *Universal Testing Machine* (UTM) merk *Shimatzu* tipe UMH 30, kapasitas 30 ton.

3.2.2 Mesin Uji Kuat Desak

Mesin uji kuat desak digunakan untuk mengetahui kuat desak silinder. Kapasitas mesin uji kuat desak yang dimiliki oleh Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah 2000 KN, merk *Control*.

3.2.3 Mesin Pengaduk Beton

Mesin pengaduk campuran beton digunakan agar bahan-bahan penyusun beton dapat tercampur sempurna dan diperoleh campuran yang homogen.

3.2.4 Kerucut Abrams

Alat ini digunakan untuk mengukur tingkat kelecakkan 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.

3.2.5 Cetakan Benda Uji

Cetakan benda uji dibuat dari kayu lapis dengan ketebalan 10 mm kemudian pada bagian luar dari cetakan diberi pengaku yang terbuat dari kayu reng 2 x 2 cm. Hal ini dimaksudkan agar dalam pembuatan sampel didapat ukuran yang tepat dan permukaan yang rata sesuai yang telah direncanakan.

3.2.6 Loading Frame

Loading Frame berfungsi sebagai tempat pengujian model. Bentuk dasar *Loading Frame* berupa portal segi empat yang berdiri di atas lantai beton dengan perantara pelat dasar dari besi setebal 14 mm. Agar *Loading Frame* tetap stabil, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh baja profil WF 450x200x9x14 mm. Posisi baja profil ini dapat diatur untuk menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran model yang akan diuji dengan cara melepas sambungan baut.

3.2.7 Dial Gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk penelitian skala penuh digunakan *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian balok kecil dipakai *dial gauge* dengan kapasitas lendutan maksimum 20 mm – ketelitian 0,01 mm. Pada penelitian ini, menggunakan *dial gauge* sebanyak tiga buah.

3.2.8 *Hydraulic Jack*

Alat ini dipakai untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur balok skala penuh. Dalam penelitian ini digunakan *hydraulic jack* dengan kapasitas maksimum yang dimiliki adalah 25 ton dan ketelitian pembacaan sebesar 0.5 ton.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Persiapan Bahan

Pekerjaan persiapan meliputi : uji sifat-sifat teknis bahan susun beton, perancangan adukan beton, uji kuat desak silinder beton, uji kuat tarik baja tulangan, kalibrasi peralatan, *set-up* alat-alat pengujian dan uji pendahuluan. Uji sifat-sifat teknis bahan susun beton dan uji pendahuluan yang dilakukan antara lain meliputi:

1. Uji Pasir

Uji pasir bertujuan memperoleh berat jenis keadaan SSD dan modulus halus pasir. Didapat berat jenis 2,67 dan modulus halus butir 2,471.

2. Uji Batu Pecah

Uji batu pecah bertujuan mendapatkan berat jenis dan berat volume batu pecah keadaan SSD. Didapat berat jenis 2,5, modulus halus butir 6,458, dan berat volume 1,56 t/m³.

3. Perencanaan Campuran Adukan Beton

Perencanaan campuran adukan beton menggunakan cara yang direkomendasikan oleh *American Concrete Institute* (ACI). Perhitungan

perencanaan campuran beton disajikan dalam Lampiran 39 s/d 49. Setiap satu sampel balok (140x180x2000) mm terdiri dari tiga buah silinder beton (150x300) mm. Kuat desak rencana adalah 20, 25, dan 30 MPa dan setiap kuat desak rencana masing-masing terdiri dua sampel balok. Keperluan bahan susun disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Keperluan bahan tiap adukan tiap kuat tekan rencana

| Kuat Tekan Rencana (f'_{cr}) | 20 (MPa) | 25 (MPa) | 30 (MPa) |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| Semen (kg) | 48,661 | 55,556 | 64,175 |
| Pasir (kg) | 91,754 | 85,920 | 78,627 |
| Kerikil (kg) | 132,990 | 132,990 | 132,990 |
| Air (litr) | 26,916 | 26,916 | 26,916 |

3.3.2 Pembuatan Sampel

1. Membuat enam buah balok beton ukuran (140x180x2000) mm. Rawatan keras (*curing*) terhadap balok uji dilaksanakan dengan menyelelimuti balok dengan karung basah yang disiram setiap hari. Cara ini diharapkan proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan baik. Setelah balok berumur 28 hari, dilakukan pengujian lentur balok beton.
2. Membuat tiga buah silinder ukuran (150x300) mm dari setiap cetakan balok. Rawatan keras dilaksanakan dengan memasukkan silinder-silinder beton ke dalam bak berisi air. Proses ini berlangsung sampai silinder beton berumur 28

hari kemudian dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton masing-masing balok.

Komposisi dari masing-masing benda uji rencana dan benda uji penelitian disajikan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.2 Komposisi benda uji rencana

| Balok Uji | BALOK-1 | BALOK-2 | BALOK-3 |
|----------------------------|----------|----------|----------|
| f'_c rencana (MPa) | 20 | 25 | 30 |
| Kuat Leleh (f_y) (MPa) | 300 | 300 | 300 |
| Panjang (L) m | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Lebar (B) m | 0,140 | 0,140 | 0,140 |
| Tinggi (H) m | 0,180 | 0,180 | 0,180 |
| ρ_{min} | 0,004667 | 0,004667 | 0,004667 |
| ρ | 0,008971 | 0,008971 | 0,008971 |
| $0,75.\rho_b$ | 0,024075 | 0,030075 | 0,036150 |

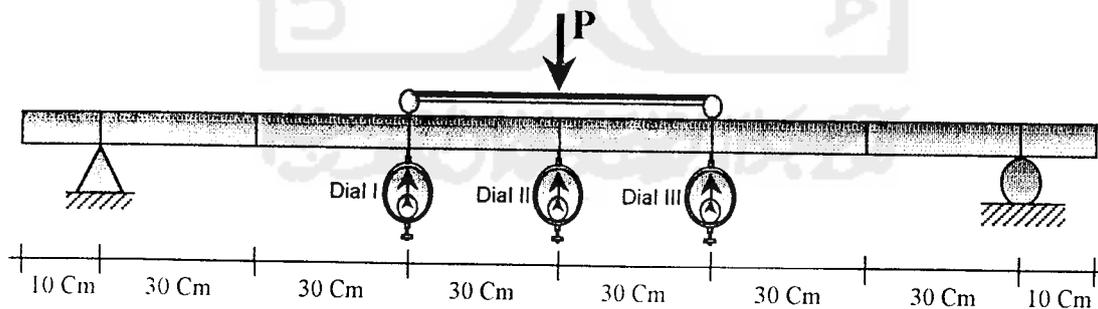
Tabel 3.3 Komposisi benda uji pengujian

| Balok Uji | BALOK-1 | BALOK-2 | BALOK-3 |
|----------------------------|----------|----------|----------|
| Kuat tekan rerata (MPa) | 24,913 | 29,345 | 33,818 |
| Kuat Leleh (f_y) (MPa) | 321,941 | 321,941 | 321,941 |
| Panjang (L) m | 2,015 | 2,015 | 2,015 |
| Lebar (B) m | 0,145 | 0,140 | 0,141 |
| Tinggi (H) m | 0,1825 | 0,185 | 0,180 |
| ρ_{min} | 4,348 | 4,348 | 4,348 |
| ρ | 0,008544 | 0,008578 | 0,008908 |
| $0,75.\rho_b$ | 0,02729 | 0,03214 | 0,03569 |

3.3.3 Pemeriksaan dan Pengujian

Pemeriksaan dan pengujian sampel dilaksanakan setelah beton berumur 28 hari atau lebih. Tahap-tahap pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Menguji kuat tekan beton dengan cara uji desak benda uji silinder beton.
2. Menguji kuat tarik baja tulangan yang dipakai pada balok uji dengan tujuan mengetahui kuat tarik dan kuat leleh baja tulangan.
3. Pengujian beban statis dua titik secara bertahap bertujuan untuk memperoleh beban lendutan, keretakan balok uji serta panjang lendutan. Proses pembebanan dikerjakan secara bertahap dari nol sampai terjadi retak pertama dengan pertambahan beban 0,2 ton, kemudian beban ditingkatkan berdasarkan kondisi balok uji. Pengujian ini menggunakan *loading frame* yang sangat kaku dengan *hydraulic jack* berkapasitas 30 ton digerakkan secara manual (pompa). Pembacaan beban setelah beban tercatat pada alat *transducer indicator* dan pembacaan lendutan pada *dial gauge* yang dipasang tiga buah. Mengingat keamanan terhadap peralatan yang digunakan pada saat pengujian maka pengamatan dihentikan pada saat lendutan mencapai 2-3 cm. Metode pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.2.

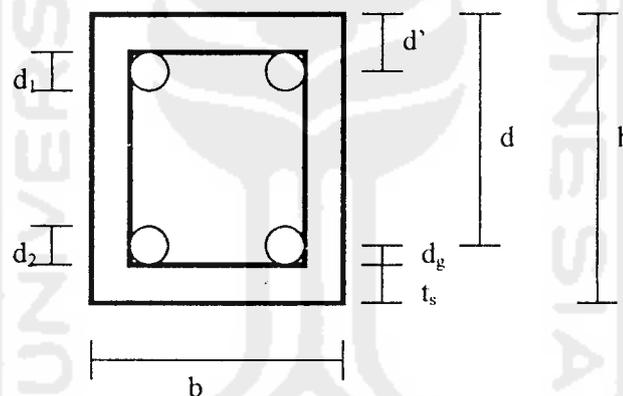


Gambar 3.2. Metoda pembebanan

Mekanika untuk tumpuan sederhana (sendi-rol) didapat nilai momen akibat P -maksimum. Reaksi pada masing-masing tumpuan adalah setengah dari beban

yang bekerja pada balok yaitu beban P dan berat sendiri. Momen maksimum yang bekerja pada balok (di titik C = M_c) merupakan hasil reaksi beban P.

4. Pemeriksaan silinder beton untuk mengetahui berat jenis beton, yang diperoleh dengan rumus $\rho_b = \frac{w_b}{v_b}$ dengan w_b adalah berat silinder beton dan v_b adalah volume silinder beton.
5. Pemeriksaan penampang balok, pemeriksaan ini untuk penentuan d dan d' . Data dimensi penampang, penulangan balok dan selimut beton yang digunakan yaitu ± 35 mm maka dihitung nilai d dan d' . Penampang balok dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Penampang Balok

6. Pemeriksaan rasio tulangan, pemeriksaan ini untuk mengetahui rasio tulangan yang terpasang dalam balok uji dimungkinkan patah akibat lentur atau *underreinforced*.
7. Pemeriksaan volume balok, pemeriksaan ini untuk mengetahui berat beton per meter panjang.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada pemeriksaan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan pada benda uji, diperoleh data kuat tekan beton, kuat tarik baja tulangan, beban lendutan balok, berat jenis beton, berat jenis baja, nilai d dan d' , rasio penulangan serta berat sendiri balok. Data kemudian dianalisis sehingga memperoleh momen lentur aktual (pengujian) dan momen perlu (analisis penampang).

4.2 Pemeriksaan dan Pengujian

4.2.1 Hasil Uji Kuat Tekan Silinder Beton

Kekuatan tekan beton rencana tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat serta kualitas rawatan. Kuat tekan beton diketahui dari uji tekan 18 buah silinder beton ukuran 15 cm, tinggi 30 cm. Rawatan keras silinder beton dilakukan dengan cara merendam di dalam bak air. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari atau lebih. Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah 20 MPa (dua balok uji, enam silinder beton), 25 MPa (dua balok uji, enam silinder beton), dan 30 MPa (dua balok uji, enam silinder beton). Analisis

kuat tekan rerata tiap balok dapat dilihat pada Lampiran 7. Hasil kuat tekan rerata tiap balok disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil kuat tekan rerata tiap balok

| No | Balok Uji | Kuat Tekan (f'_c) (MPa) | |
|----|-----------|--------------------------------|-------------------|
| | | Kuat Tekan Rencana | Kuat Tekan Rerata |
| 1 | Balok-1 | 20,00 | 24,913 |
| 2 | Balok-2 | 25,00 | 29,345 |
| 3 | Balok-3 | 30,00 | 33,818 |

4.2.2 Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan

Uji kuat tarik baja tulangan dilakukan untuk mengetahui kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan. Pencatatan beban dilakukan tiap perpanjangan 0,02 mm setelah baja tulangan leleh pencatatan beban dilakukan tiap perpanjangan 0,02 mm. Kuat luluh dan kuat tarik maksimal baja tulangan yang didapat merupakan kuat luluh dan kuat tarik maksimal rerata dari tiga buah uji baja tulangan \varnothing 12 mm. Pemeriksaan dan pengujian baja tulangan dapat dilihat pada Lampiran 6. Hasil pemeriksaan dan pengujian kuat luluh dan kuat tarik maksimal baja tulangan disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pemeriksaan dan pengujian baja tulangan

| No | Diameter (mm) | Kuat Luluh (MPa) | Kuat Luluh Rerata (MPa) | Kuat Tarik Maksimal (MPa) | Kuat Tarik Maksimal rerata (MPa) |
|----|---------------|------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 1 | 8 | 290,319 | - | 382,802 | - |
| 2 | 12 | 328,118 | 321,941 | 452,379 | 453,837 |
| | | 322,667 | | 455,654 | |
| | | 315,037 | | 453,478 | |

Hasil pemeriksaan dan pengujian terhadap baja tulangan diperoleh hasil kuat luluh baja tulangan rerata 321,941 MPa.

4.2.3 Pemeriksaan Berat Satuan / Berat Jenis Beton

Pemeriksaan rerata tiga silinder beton untuk tiap balok adalah untuk mencari berat jenis beton. Berat jenis yang didapat merupakan rerata dari berat jenis masing-masing balok uji. Hasil pemeriksaan berat jenis ini dapat dilihat pada Lampiran 7. Hasil pemeriksaan berat jenis beton rerata disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pemeriksaan berat jenis beton

| No | Benda Uji | Bj Beton (KN/m ³) | Bj Beton rerata (KN/m ³) |
|----|-----------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Balok-1 | 23,921 | 23,674 |
| 2 | Balok-2 | 23,572 | |
| 3 | Balok-3 | 23,529 | |

Berat satuan atau berat jenis rerata dari tiap balok yang diperoleh masih memenuhi syarat SNI 1991 (23 – 24 KN/m³).

4.2.4 Pemeriksaan Penulangan Balok

Pemeriksaan baja tulangan adalah untuk mencari berat jenis baja yang terpasang pada balok uji serta spesifikasi penulangannya . Berat jenis baja yang diperoleh merupakan berat jenis rerata dari baja tulangan balok yaitu \varnothing 8 mm (untuk tulangan memanjang atas dan tulangan geser) dan \varnothing 12 mm (untuk tulangan memanjang bawah). Hasil pemeriksaan ini diperoleh berat satuan atau berat jenis baja rerata 78,471 KN/m³. Hasil pemeriksaan ini dapat dilihat pada Lampiran 6.

Spesifikasi penulangan balok untuk mengetahui jumlah kebutuhan baja tulangan balok serta volume baja tulangan pada balok. Volume baja tulangan setiap balok adalah 0,001012 m³. Hasil pemeriksaan ini dapat dilihat pada Lampiran 8.

4.2.5 Pemeriksaan Penampang Balok

Pemeriksaan penampang balok adalah penentuan nilai d dan d' , dimana d adalah jarak antara tulangan tarik dengan serat tekan beton terluar dan d' merupakan jarak antara tulangan tekan dengan serat tekan beton terluar. Data dimensi penampang, penulangan balok dan selimut beton (± 35 mm) yang diperoleh kemudian dihitung sehingga didapat nilai d dan d' pada masing-masing balok.

Data hasil b , h , d , dan d' yang diperoleh pada balok-1, balok-2, dan balok-3 merupakan rerata dari b , h , d , dan d' jenis balok uji yaitu balok-1 (balok 1.1 dan 1.2), balok-2 (balok 2.1 dan 2.2), serta balok-3 (balok 3.1 dan 3.2)

nilai d , dan d' reralif tidak sama dikarenakan pengaruh tebal selimut tidak seragam, bekisting beton, dan tulangan balok beton tidak simetris. Hasil perhitungan nilai d dan d' dapat dilihat pada Lampiran 15. Hasil hitungan nilai d , dan d' disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data penampang balok

| Balok Uji | b (mm) | h (mm) | d' (mm) | d (mm) |
|-----------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| Balok-1 | 145 | 182,5 | 47,2 | 133,3 |
| Balok-2 | 140 | 182,7 | 47,7 | 133 |
| Balok-3 | 141 | 180 | 47,45 | 130,55 |

4.2.6 Pemeriksaan Rasio Tulangan

Pemeriksaan rasio tulangan untuk mengetahui rasio tulangan aktual terpasang pada balok yang menjamin pola keruntuhan lentur atau patah tarik. Pemeriksaan rasio pada perencanaan awal dan aktual benda uji memenuhi syarat SNI 1991 ($\rho_{\min} \leq \rho \leq 0,75 \cdot \rho_b$). Variabel yang mempengaruhi rasio tulangan aktual terhadap rasio tulangan minimum dan rasio tulangan berimbang adalah besarnya nilai kuat tekan beton, kuat luluh baja tulangan, dimensi penampang serta faktor β_1 . Perhitungan rasio tulangan dapat dilihat pada Lampiran 10 s/d 14. Hasil hitungan rasio tulangan disajikan pada Lampiran 9.



4.2.7 Pemeriksaan Volume Balok

Pemeriksaan dan analisis yang dilakukan pada setiap balok adalah untuk memperoleh berat balok per meter panjang rerata. Data hasil volume balok (V_{balok}), volume baja (V_{baja}), berat sendiri balok (W_b), dan berat balok per meter panjang (w) yang diperoleh pada balok-1, balok-2, dan balok-3 merupakan rerata dari V_{balok} , V_{baja} , W_b , dan w jenis balok uji yaitu balok-1 (balok 1.1 dan 1.2), balok-2 (balok 2.1 dan 2.2), serta balok-3 (balok 3.1 dan 3.2).

Variabel yang mempengaruhi perhitungan adalah volume balok uji, volume tulangan terpasang, berat jenis beton serta berat jenis baja. Hasil perhitungan berat balok per meter panjang dapat dilihat pada Lampiran 16. Hasil perhitungan berat balok per meter panjang disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Berat balok per meter panjang

| Balok Uji | V_{balok} (m^3) | V_{baja} (m^3) | W_b ($kN:m$) | w (KN / m) |
|-----------|--------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|
| Balok-1 | 0,053315 | 0,001012 | 1,30735 | 0,741815 |
| Balok-2 | 0,05219 | 0,001012 | 1,27135 | 0,705265 |
| Balok-3 | 0,051135 | 0,001012 | 1,2469 | 0,680535 |

4.3 Analisis Kuat Lentur Penampang Balok (Kuat Lentur Perlu)

Analisis kuat lentur penampang atau kuat lentur perlu terhadap balok uji dilakukan untuk mendapatkan momen nominal perlu balok. Analisis momen nominal balok uji menggunakan persamaan-persamaan yang terdapat pada persamaan (2.5), (2.6), dan (2.8). Data hasil momen perlu balok yang diperoleh pada balok-1, balok-2, dan balok-3 merupakan rerata dari momen perlu jenis balok uji yaitu balok-1 (balok 1.1 dan 1.2), balok-2 (balok 2.1 dan 2.2) , serta balok-3 (balok 3.1 dan 3.2). Data dan perhitungan momen perlu jenis balok uji dapat dilihat pada Lampiran 20 s/d 23. Hasil momen perlu rerata balok uji disajikan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan momen perlu rerata balok uji

| No | Balok Uji | Kuat Tekan Rerata (MPa) | M_{perlu} (KNm) |
|----|-----------|---------------------------|---------------------|
| 1 | Balok-1 | 24,913 | 8,853 |
| 2 | Balok-2 | 29,345 | 8,936 |
| 3 | Balok-3 | 33,818 | 8,862 |

4.4 Analisis Kuat Lentur Pengujian (Kuat Lentur Aktual)

Pada pengujian kuat lentur atau kuat lentur aktual balok, beban yang diambil ketika beban mencapai maksimum ($P_{ultimit}$) dan kondisi fisik dari balok sudah mengalami keretakan sehingga kuat tarik beton sudah tidak diperhitungkan lagi. Beban lentur balok hasil pengujian, keretakan, lendutan serta grafik hubungan beban lendutan dengan lendutan yang terjadi disajikan pada Lampiran 27 s/d 38. Analisis kuat lentur aktual balok di Laboratorium Struktur menggunakan persamaan-persamaan (2.24) dan (2.25).

Data hasil beban (P_{maks}), berat balok per meter panjang (w), gaya (*reaksi*), momen aktual (M_{aktual}) yang diperoleh pada balok-1, balok-2, dan balok-3 merupakan rerata dari beban (P_{maks}), berat balok per meter panjang (w), gaya (*reaksi*), momen aktual (M_{aktual}) jenis balok uji yaitu balok-1 (balok 1.1 dan 1.2), balok-2 (balok 2.1 dan 2.2), serta balok-3 (balok 3.1 dan 3.2). Hasil perhitungan kuat lentur aktual balok uji dapat dilihat pada Lampiran 24 s/d 26. Hasil perhitungan kuat lentur aktual rerata balok uji disajikan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan momen aktual rerata balok uji

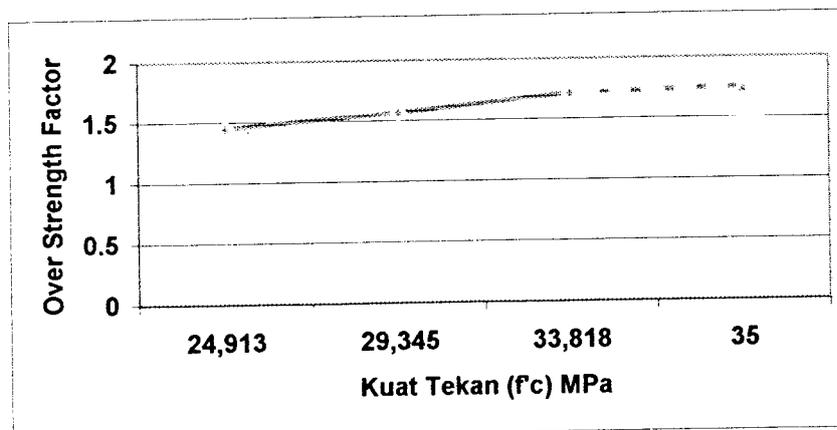
| Balok Uji | Kuat Tekan Rerata (MPa) | P_{maks} (KN) | w (KN/m) | Reaksi (KN) | M_{aktual} (kNm) |
|-----------|-------------------------|-----------------|------------|-------------|--------------------|
| Balok-1 | 24,913 | 41,70 | 0,741815 | 21,7665 | 12,8104 |
| Balok-2 | 29,345 | 45,70 | 0,705265 | 23,4847 | 13,9956 |
| Balok-3 | 33,818 | 49,70 | 0,680535 | 25,46245 | 15,1856 |

4.5 Faktor Penambahan Kekuatan (*Over Strength Factor*)

Faktor penambahan kekuatan merupakan perbandingan antara momen aktual (momen kapasitas balok) dengan momen perlu (momen nominal balok). Hal ini merupakan penjabaran persamaan (2.23), dimana momen aktual merupakan momen kapasitas balok dan momen perlu merupakan kuat momen lentur nominal balok. Analisis momen aktual dapat dilihat pada Lampiran 24 s/d 26, sedangkan momen perlu dapat dilihat pada Lampiran 20 s/d 23. Hasil penelitian faktor penambahan kekuatan (ϕ_o) dapat dilihat dalam Tabel 4.8. Grafik hubungan kuat tekan dengan faktor penambahan kekuatan dapat dilihat pada Grafik 4.1.

Tabel 4.8 Hasil faktor penambahan kekuatan (ϕ_o)

| Balok Uji | M_{aktual} (<i>kNm</i>) | M_{perlu} (<i>kNm</i>) | $\phi_o = \frac{M_{aktual}}{M_{perlu}}$ |
|-----------|--------------------------------|-------------------------------|---|
| Balok-1 | 12,8104 | 8,8532 | 1,4469 |
| Balok-2 | 13,9956 | 8,936 | 1,5662 |
| Balok-3 | 15,1856 | 8,8625 | 1,7135 |



Grafik 4.1 Hubungan kuat tekan dengan faktor penambahan kekuatan

Pada Grafik 4.1 menunjukkan hubungan antara kuat tekan dengan faktor penambahan kekuatan hampir membentuk garis linear. SNI 1991 mensyaratkan faktor penambahan kekuatan tidak boleh kurang dari 1,25 untuk mutu beton 20 MPa. Pada grafik ini juga membuktikan bahwa semakin tinggi mutu beton, maka faktor penambahan kekuatan bertambah besar. Hal ini dapat dilakukan dengan metode ekstrapolasi, dimana dengan menentukan mutu beton 35 MPa akan menghasilkan faktor penambahan kekuatan 1,7524. Namun dengan semakin tinggi mutu beton belum tentu membentuk suatu garis yang linear.

4.6 Pembahasan

Kuat tekan (f'_c) beton diperoleh dari rerata enam silinder beton untuk setiap dua jenis balok uji pada satu variasi (satu variasi, dua jenis balok uji, enam silinder beton). Kuat tekan rerata beton yang diperoleh adalah sebagai berikut : Balok-1 = 24,913 ; Balok-2 = 29,345 ; Balok-3 = 33,818 MPa. Variabel kuat tekan rerata ini merupakan variabel pada analisis rasio penulangan (lihat Lampiran-9 dan Lampiran 10 s/d 14), dan analisis momen lentur penampang balok atau momen lentur perlu (lihat Lampiran 20 s/d 23). Rangkuman hasil analisis kuat tekan beton dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

Uji kuat tarik baja tulangan dilakukan untuk memperoleh kuat luluh baja dan kuat tarik maksimal baja. Kuat luluh baja dan kuat tarik baja yang diperoleh merupakan pengujian pada tulangan \varnothing 12 mm yang terpasang sebagai tulangan tarik. Kuat luluh baja dan kuat tarik maksimal diperoleh dari rerata tiga buah tulangan \varnothing 12 mm dengan panjang 0,70 m. Hasil yang diperoleh adalah kuat luluh baja 321,941 MPa dan kuat tarik maksimal 453,837 MPa. Analisis uji kuat luluh dan kuat tarik maksimal baja dapat dilihat pada Lampiran-6. Variabel kuat luluh baja merupakan variabel pada analisis rasio penulangan (lihat Lampiran-9 dan Lampiran 10 s/d 14), dan analisis momen lentur penampang balok atau momen lentur perlu (lihat Lampiran 20 s/d 23).

Pemeriksaan berat satuan atau berat jenis beton dilakukan dengan membandingkan berat volume rerata silinder beton dengan luas tampangnya. Analisis terhadap berat satuan rerata balok dapat dilihat pada Lampiran-7. Berat satuan rerata yang diperoleh adalah 23,674 KN/m³. Hasil ini masih memenuhi

syarat SNI 1991 yaitu $23 - 24 \text{ KN/m}^3$. Variabel berat satuan atau berat jenis beton merupakan variabel pada analisis berat balok per meter panjang (lihat Lampiran 16). Rangkuman hasil analisis berat satuan / berat jenis beton rerata dapat dilihat dalam Tabel 4.3.

Pemeriksaan baja tulangan yang digunakan pada balok uji adalah untuk memperoleh berat satuan atau berat jenis baja. Hasil pemeriksaan ini diperoleh berat jenis baja rerata $78,471 \text{ KN/m}^3$. Analisis berat jenis baja dapat dilihat pada Lampiran 6. Variabel berat jenis baja merupakan variabel pada analisis berat balok per meter panjang (lihat Lampiran 16).

Pemeriksaan penampang balok adalah menentukan d dan d' . Data hasil d dan d' yang diperoleh relatif tidak sama dikarenakan pengaruh tebal selimut beton tidak seragam, dimensi bekisting balok tidak seragam, dan tulangan balok beton tidak simetris. Hasil analisis nilai d dan d' dapat dilihat pada Lampiran 15. Variabel nilai d dan d' merupakan variabel pada analisis kuat lentur perlu atau kuat lentur penampang balok (lihat Lampiran 20 s/d 23). Rangkuman hasil analisis menentukan d dan d' dapat dilihat dalam Tabel 4.4.

Pemeriksaan dan analisis pada balok adalah untuk memperoleh berat balok per meter panjang (beban merata). Analisis berat balok per meter panjang rerata balok dapat dilihat pada Lampiran 16. Variabel berat balok per meter panjang merupakan variabel pada analisis kuat lentur aktual atau kuat lentur pengujian (lihat Lampiran 24 s/d 26). Rangkuman hasil analisis berat balok per meter panjang (beban merata) dapat dilihat dalam Tabel 4.5.

Analisis kuat lentur perlu atau kuat lentur perlu terhadap balok uji dilakukan untuk mendapatkan momen nominal perlu balok uji. Analisis momen perlu menggunakan persamaan (2.5), (2.6) dan (2.8). Variabel pada analisis ini adalah kuat tekan beton (f'_c), kuat luluh baja (f_y), luas tulangan tarik (A_s), lebar balok aktual (b), dan tinggi efektif balok (d). Analisis momen perlu rerata balok dapat dilihat pada Lampiran 20 s/d 23. Rangkuman hasil analisis momen perlu rerata balok dapat dilihat dalam Tabel 4.6.

Analisis kuat lentur aktual atau kuat lentur pengujian dilakukan untuk mendapatkan momen lentur aktual melalui pengujian pembebanan langsung pada balok uji. Analisis pembebanan menggunakan persamaan (2.24) dan (2.25). Variabel pada analisis kuat lentur aktual adalah beban (P) pengujian, berat balok per meter panjang (w), dan panjang bentang efektif (L). Analisis momen aktual balok dapat dilihat pada Lampiran 24 s/d 26. Rangkuman hasil analisis momen aktual rerata balok dapat dilihat dalam Tabel 4.7.

Pada Lampiran 27 s/d 37 menunjukkan pola retak pertama yang tidak sesuai dengan kenaikan pembebanan. Pola retak pertama yang seharusnya terjadi adalah semakin besar mutu beton, maka akan terjadi retak pertama pada pembebanan (P) yang lebih besar dibandingkan beban retak pertama pada mutu beton yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena kurang kecermatan dalam pembacaan beban dan pada pengamatan pola retak yang terjadi.

Faktor penambahan kekuatan (*over strength factor*) merupakan perbandingan antara momen aktual (momen kapasitas balok) dengan momen perlu (momen nominal balok). Analisis faktor penambahan kekuatan merupakan

konversi pada persamaan (2.23). Analisis momen aktual dapat dilihat pada Lampiran 24 s/d 26, sedangkan momen perlu balok dapat dilihat pada Lampiran 20 s/d 23. Rangkuman hasil perbandingan analisis momen aktual dengan momen perlu balok dapat dilihat dalam Tabel 4.8.

Berdasarkan hasil pengujian, ternyata momen lentur aktual pengujian yang diperoleh lebih besar dari momen lentur perlu. Kenyataan ini menunjukkan bahwa momen lentur di lapangan lebih besar dari momen lentur hasil analisis penampang. Variabel-variabel yang mempengaruhi analisis kuat lentur adalah kuat tekan beton (f'_c), kuat luluh baja (f_y), luas tulangan tarik (A_s), lebar balok aktual (b), panjang aktual balok (L), tinggi efektif balok (d), berat balok per meter panjang (w) dan beban uji maksimum balok (P). Dalam penelitian kuat luluh baja dan luas tulangan baja diambil sama sehingga tidak berpengaruh terhadap faktor penambahan kekuatan.

Hasil perbandingan yang ada dalam Tabel 4.8 menunjukkan bahwa nilai perbandingan antara momen lentur aktual dengan momen lentur perlu untuk menunjukkan nilai faktor penambahan kekuatan, nilainya lebih besar dari standar SNI 1991 ($\phi_o = 1,25$ untuk $f_y \leq 400$ MPa). Hasil faktor penambahan kekuatan dan kuat tekan apabila digambarkan dalam bentuk grafik akan menunjukkan garis yang hampir linear. Pada hasil penelitian didapat bahwa dengan bertambahnya mutu beton maka akan bertambah besar nilai faktor penambahan kekuatannya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Faktor penambahan kekuatan terjadi kenaikan dengan semakin besar mutu beton, yang mana kuat luluh baja, luas tulangan, dan dimensi balok yang sama tiap benda uji.
2. Faktor penambahan kekuatan hasil penelitian lebih besar dari yang disyaratkan SNI 1991 (1,25 untuk $f_y \leq 400$ MPa).
3. Grafik hubungan faktor penambahan kekuatan dan kuat tekan beton hasil penelitian menunjukkan grafik yang hampir linear.
4. Hasil faktor penambahan kekuatan yang diperoleh masih terbatas hanya pada struktur balok sederhana yang diteliti.
5. Pada pola pembebanan dan jenis struktur yang berbeda akan menghasilkan faktor penambahan kekuatan yang berbeda pula.

5.2 Saran

Untuk memperoleh gambaran yang lebih luas tentang pengaruh kuat tekan terhadap kuat lentur serta faktor penambahan kekuatan (*over strength factor*), dikemukakan saran sebagai berikut ini.

1. Pada pelaksanaan pencampuran bahan penyusun beton, pembacaan dial, dan pengamatan pola retak perlu ketelitian dan kecermatan.
2. Pada penelitian ini terbatas pada mutu baja (f_y) \leq 400 MPa, perlu penelitian dengan mutu baja (f_y) \geq 400 MPa.

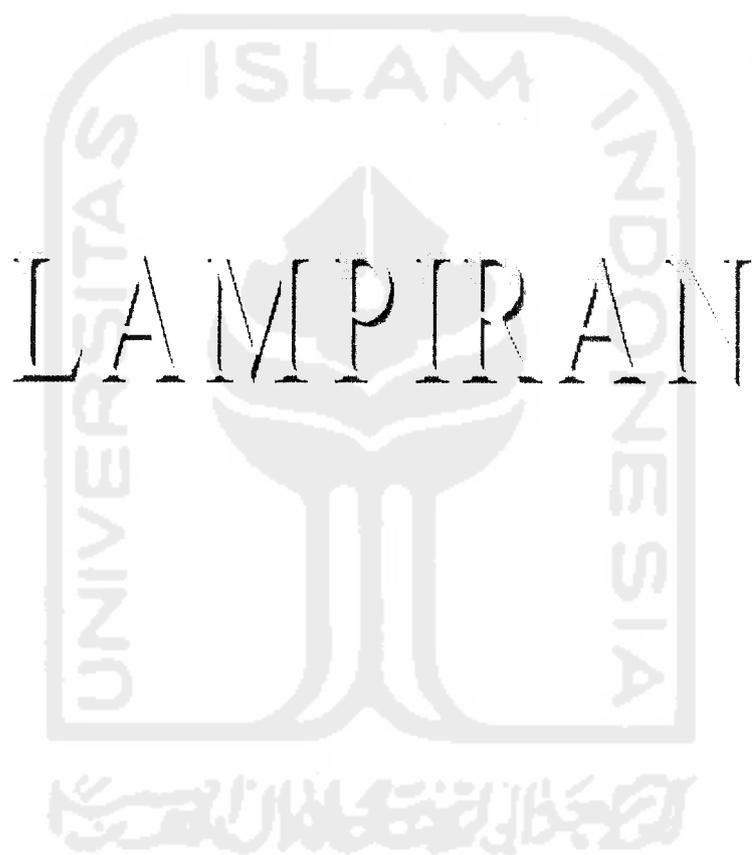


DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1983, Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung
- Anonim, 1987, Peraturan Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung, Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung
- Anonim, 1992, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI – 1992), Yayasan LPMB, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung
- Dipohusodo, I.,1994, Struktur Beton Bertulang, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Ibrahim, 1998, Perbandingan Kuat Lentur Analisis Penampang dengan Kuat Lentur Analisis Penampang dengan kuat Lentur Pengujian, Tugas Akhir, Program Diploma, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Kusuma, G.H., 1993, Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di daerah Rawan Gempa, Erlangga, Jakarta
- Park, R. and Pauly, T., 1994, Reinforced Concrete Structures, Departement Of Civil Engineering, University Of Canterbury, Christchurch, New Zealand
- Suhendro, B. 1994, Pengaruh Pemakaian Fiber Parsial Pada Perilaku Dan Kapasitas Balok Beton Bertulang (Hasil “Full Scale Model Test”), Kursus singkat “Teknologi Beton”, Pusat Antar Universitas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Tjokrodimuljo, K., 1996, Teknologi Beton, Nasiri, Yogyakarta
- Tjokrodimuljo, 1998, Pengetahuan Bahan Dasar Beton, Kursus Singkat “Teknologi Beton”, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Wang, C.K. and Salmon, C.B., Hariandja, 1990, Desain Beton Bertulang, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta

- Widodo, 1991, Pengantar Teknik Gempa, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Hutchison, L., D., 1963, Desain Bangunan Tingkat Banyak Tahap Gempa, Kursus Teknologi Gempa
- Kusuma, G., 1987, Usulan Peraturan Tahan Gempa untuk Pembaharuan Bab 16 PBI'1971, Makalah Seminar Dalam Rangka Seperempat Abad Universitas Tarumanegara, Universitas Tarumanegara, Jakarta
- Sutandar, M., 1987, Kelakuan Non-Elastis Portal Bidang Beton Bertulang, Makalah Seminar Ilmiah Perencanaan Bangunan Tahan Gempa dalam Kaitannya dengan Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung 1983, Jakarta





KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

| NO. | NAMA | NO. MHS. | BIDANG STUDI |
|-----|----------------------|------------|--------------|
| 1 | ANANDA PRIYADI UTAMA | 94 310 084 | STRUKTUR |
| 2 | WAHYU WARDANA | 94 310 200 | STRUKTUR |

JUDUL TUGAS AKHIR :

PENGARUH KUAT TEKAN TERHADAP FAKTOR PENAMBAHAN KEKUATAN DENGAN KONSEP DAKTILITAS PUNUH PADA BALOK BETON BERTULANG.

PERIODE III : MARET – AGUSTUS

TAHUN : 2000 / 2001

| No. | Gugatan | Gulaq Ke | | | | | |
|-----|-----------------------------|----------|-------|-----|------|------|---------|
| | | Maret | April | Mai | Juni | Juli | Agustus |
| 1. | Pembelajaran | | | | | | |
| 2. | Pemantauan Dosen Pembimbing | | | | | | |
| 3. | Pembelajaran Proposal | | | | | | |
| 4. | Seminar Proposal | | | | | | |
| 5. | Konsultasi Penyusunan | | | | | | |
| 6. | Sidang Sidang | | | | | | |
| 7. | Pembelajaran | | | | | | |

LEMBANG PERSYARIFAN
 DEKORASI PERUBAHAN PERUBAHAN

REKOR PERUBAHAN PERUBAHAN
 REKOR PERUBAHAN PERUBAHAN



Yogyakarta, 06 Juli 2001

Ka. Dekan,

[Signature]

IR. H. SUKRIYADI, MS



Catatan :

- Seminar :
- Sidang :
- Pendadaran :

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

| NO. | TANGGAL | CATATAN KONSULTASI | TANDA TANGAN |
|-----|-----------|---|---|
| | 4/2/02 | Perbaiki format & tulisan <i>MM</i> | |
| | 7/2/02 | di lanjutkan <i>MM</i> | |
| | 12/2/02 | <i>MM</i> ↑ ↓ 2/c | <i>MM</i> |
| | 14/2/02 | di lanjutkan ke DP I <i>MM</i> | |
| | 14/2/02 | lengkapi abstrak, proabstrak, kesimpulan Perbaiki, lihat hookoran di dlm Tidak ada perbedaan antara tinjauan proabstrak & landasan teori. | <i>MM</i> |
| | 1/3 2002 | Perbaiki & lengkapi Bab II jika materi tinjauan proabstrak sedikit. Bisa digabung dg landasan teori. | <i>MM</i> |
| | 8/3 2002 | Bab II & III digabung Perbaiki & lihat hookoran | |
| | 12/3 2002 | Perbaiki Bab II & III | <i>MM</i> 21/3 2002 Ace mukul adony |



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

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp: (0274) 895707, 895042, Sleman Yogyakarta

DATA PEMERIKSAAN
GRADASI AGREGAT KASAR

Jenis Benda Uji : Diperiksa oleh :
 Nama Benda Uji : 1. Wahyu Wardana 94 310 200
 Asal : 2. Ananda Priyadi Utama 94 310 084
 Keperluan : Tugas Akhir
 Tanggal : 27 Agustus 2001

Alat-alat :

1. Timbangan kapasitas 20 kg,
2. Mesin penggetar / mesin ayak,
3. Saringan 1 set (40, 20, 10, 4.80, 2.40, 1.20, 0.60, 0.30, 0.15, pan) mm,
4. Sikat baja (kasar / halus),
5. Kuas, lap kaos,
6. Piring, serok, dll.

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | | Berat Tertinggal (%) | | Berat Tertinggal Kumulatif | |
|-----------------------|----------------------------|-----|-------------------------|--------|-------------------------------|---------|
| | I | II | I | II | I | II |
| Percobaan Ke | | | | | | |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 2 | 114 | 0.133 | 7.6 | 0.133 | 7.6 |
| 10 | 962 | 833 | 64.133 | 55.53 | 64.266 | 63.13 |
| 4.80 | 355 | 356 | 23.67 | 23.73 | 87.936 | 86.86 |
| 2.40 | 133 | 166 | 8.87 | 11.067 | 96.806 | 97.927 |
| 1.20 | 9 | 17 | 0.6 | 1.133 | 97.406 | 99.06 |
| 0.60 | 1 | 2 | 0.067 | 0.133 | 97.473 | 99.193 |
| 0.30 | 1 | 1 | 0.067 | 0.067 | 97.54 | 99.26 |
| 0.15 | 1 | 1 | 0.067 | 0.067 | 97.607 | 99.327 |
| Pan | 14 | 9 | 0.933 | 0.6 | ---- | ---- |
| | | | | Jumlah | 633.167 | 652.357 |

$$\text{Modulus Halus Butir} \rightarrow \text{MHB} = \frac{645.762}{100} \times 100\% = 6.458$$

Yogyakarta, 27 Agustus 2001



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

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp: (0274) 895707, 895042, Sleman Yogyakarta

DATA PEMERIKSAAN
BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Jenis Benda Uji : Diperiksa oleh :
 Nama Benda Uji : 1. Wahyu Wardana 94 310 200
 Asal : 2. Ananda Priyadi Utama 94 310 084
 Keperluan : Tugas Akhir
 Tanggal : 25 Agustus 2001

Alat-alat :

1. Gelas ukur kap 1000 ml,
2. Timbangan ketelitian 0.01 gram,
3. Piring, sendok, lap, dll.

| | BENDA UJI I | | BENDA UJI II | |
|---|-------------|------|--------------|------|
| Berat agregat (W) | 400 | gram | 400 | gram |
| Volume air (V_1) | 500 | cc | 500 | cc |
| Volume air + Agregat (V_2) | 650 | cc | 650 | cc |
| Berat jenis (BJ) : $\frac{W}{V_2 - V_1}$ | 2,67 | | 2,67 | |
| Berat jenis rata-rata | 2,67 | | | |

Yogyakarta, 25 Agustus 2001



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

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp: (0274) 895707, 895042, Sleman Yogyakarta

DATA PEMERIKSAAN
BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Jenis Benda Uji : Diperiksa oleh :
 Nama Benda Uji : 1. Wahyu Wardana 94 310 200
 Asal : 2. Ananda Priyadi Utama 94 310 084
 Keperluan : Tugas Akhir
 Tanggal : 25 Agustus 2001

Alat-alat :

1. Gelas ukur kap 1000 ml,
2. Timbangan ketelitian 0.01 gram,
3. Piring, sendok, lap, dll.

| | BENDA UJI I | | BENDA UJI II | |
|---|-------------------|-----|--------------|-----|
| | Berat agregat (W) | 400 | gram | 400 |
| Volume air (V_1) | 500 | cc | 500 | cc |
| Volume air + Agregat (V_2) | 660 | cc | 660 | cc |
| Berat jenis (BJ) : $\frac{W}{V_2 - V_1}$ | 2,5 | | 2,5 | |
| Berat jenis rata-rata | 2,5 | | | |

Yogyakarta, 25 Agustus 2001



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

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp: (0274) 895707, 895042, Sleman Yogyakarta

Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

| No | Diameter (mm) | Diameter Uji (mm) | Luas (mm ²) | Beban Luluh (Kg) | Beban luluh rerata | Beban Maksimum (kg) | Beban maksimum rerata (kg) | Tegangan Luluh (MPa) | Tegangan luluh rerata (MPa) | Kuat Tarik (MPa) | Kuat tarik rerata (MPa) |
|----|---------------|-------------------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|
| 1 | 8,0 | 7,1 | 39,592 | 1130 | - | 1490 | - | 290,319 | - | 382,803 | - |
| | | 10,9 | 93,313 | 3010 | - | 4150 | - | 328,118 | - | 452,379 | - |
| 2 | 12,0 | 10,9 | 93,313 | 2960 | 2953,33 | 4180 | 4163,33 | 322,667 | 321,941 | 455,665 | 453,837 |
| | | 10,9 | 93,313 | 2890 | - | 4160 | - | 315,037 | - | 453,478 | - |

Hasil Pemeriksaan Baja Tulangan

| NO | Diameter (m) | Panjang (m) | Berat (N) | Bj ÷ Berat / Volume (KN/m ³) |
|---------------------------|--------------|-------------|-----------|--|
| 1 | 0.008 | 0.70 | 2,80 | 79,675 |
| 2 | 0.012 | 0.70 | 6,22 | 78,857 |
| 3 | 0.012 | 0.71 | 6,15 | 77,945 |
| 4 | 0.012 | 0.70 | 6,13 | 77,406 |
| Beras jenis rerata | | | | 78,471 |

Tabel Hasil Uji Kuat Desak Silinder Beton

| Balok Uji | Jenis Balok Uji | Kode Silinder | Ukuran (mm) | | Luas (mm ²) | Berat (kg) | Berat Satuan (KN/m ³) | Berat Satuan Rerata (KN/m ³) | Beban Maks (KN) | Beban Maks Rerata (KN) | Kuat Desak (MPa) | Kuat Desak Rerata (MPa) |
|-----------|-----------------|---------------|-------------|--------|-------------------------|------------|-----------------------------------|--|-----------------|------------------------|------------------|-------------------------|
| | | | Diameter | Tinggi | | | | | | | | |
| Balok-1 | Balok 1.1 | 1.1 | 156,5 | 302,5 | 19226,41 | 12,8 | 22,008 | 23,921 | 430 | 442 | 22,365 | 24,913 |
| | | 1.2 | 152,0 | 305,9 | 18136,64 | 12,8 | 23,071 | | 447 | | 24,647 | |
| | | 1.3 | 147,5 | 307 | 17078,66 | 13 | 24,794 | | 419 | | 24,534 | |
| | Balok 1.2 | 1.4 | 149,4 | 304,9 | 17521,48 | 12,9 | 24,147 | | 476 | | 27,167 | |
| | | 1.5 | 154,5 | 304,4 | 18738,15 | 13 | 22,791 | | 423 | | 22,574 | |
| | | 1.6 | 143,7 | 302,5 | 16210,01 | 13,1 | 26,715 | | 457 | | 28,192 | |
| Balok-2 | Balok 2.1 | 2.1 | 151,2 | 305,25 | 17946,23 | 12,8 | 23,366 | 23,572 | 545 | 524,66 | 30,369 | 29,345 |
| | | 2.2 | 150,75 | 307,05 | 17839,57 | 13,1 | 23,915 | | 489 | | 27,412 | |
| | | 2.3 | 151,15 | 304,75 | 17934,36 | 12,9 | 23,603 | | 512 | | 28,549 | |
| | Balok 2.2 | 2.4 | 150,1 | 308,75 | 17686,06 | 12,9 | 23,624 | | 568 | | 32,116 | |
| | | 2.5 | 151,1 | 308,5 | 17922,50 | 12,8 | 23,150 | | 510 | | 28,456 | |
| | | 2.6 | 151,27 | 306,75 | 17962,85 | 13 | 23,774 | | 524 | | 29,173 | |
| Balok-3 | Balok 3.1 | 3.1 | 151,75 | 308,5 | 18077,03 | 12,9 | 23,132 | 23,529 | 615 | 611,5 | 34,021 | 33,818 |
| | | 3.2 | 151,25 | 306,3 | 17958,10 | 13 | 23,634 | | 593 | | 33,021 | |
| | | 3.3 | 155,5 | 305,35 | 18981,50 | 13 | 22,429 | | 690 | | 36,352 | |
| | Balok 3.2 | 3.4 | 149,25 | 308,25 | 17486,32 | 13,1 | 24,304 | | 548 | | 31,339 | |
| | | 3.5 | 149,5 | 307,75 | 17544,95 | 13 | 24,076 | | 575 | | 32,772 | |
| | | 3.6 | 152,7 | 303,25 | 18304,07 | 13,1 | 23,600 | | 648 | | 35,401 | |



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

Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp: (0274) 895707, 895042, Sleman Yogyakarta

Volume Setiap Benda Uji Balok

| Balok Uji | Jenis Balok Uji | Panjang (m) | Lebar (m) | Tinggi (m) | Volume (m ³) | Volume Rerata (m ³) |
|-----------|-----------------|-------------|-----------|------------|--------------------------|---------------------------------|
| Balok-1 | Balok 1.1 | 2,00 | 0,145 | 0,185 | 0,053650 | 0,0533165 |
| | Balok 1.2 | 2,03 | 0,145 | 0,180 | 0,052983 | |
| Balok-2 | Balok 2.1 | 2,03 | 0,140 | 0,185 | 0,052577 | 0,0521885 |
| | Balok 2.2 | 2,00 | 0,140 | 0,185 | 0,051800 | |
| Balok-3 | Balok 3.1 | 2,01 | 0,142 | 0,180 | 0,051376 | 0,05114 |
| | Balok 3.1 | 2,02 | 0,140 | 0,180 | 0,050904 | |

Spesifikasi Penulangan Balok

| Tulangan | Panjang (m) | Jumlah | Volume (m ³) | Vol. Total (m ³) |
|----------|-------------|--------|--------------------------|------------------------------|
| P12 | 2,1 | 2 | 0,000475 | 0,001012 |
| P8 | 2,1 | 2 | 0,000211 | |
| P8 | 0,36 | 18 | 0,000326 | |

Tabel Rasio Tulangan Baja Pada Penampang Balok Pada Perencanaan Awal

| Balok Uji | Jenis Balok Uji | f'_c MPa | f_y MPa | ρ_{\min} | ρ | ρ' | $0,75 \cdot \rho_b$ | Ket |
|-----------|-----------------|------------|-----------|---------------|---------|---------|---------------------|-----|
| Balok-1 | Balok 1.1 | 20 | 300 | 0,00467 | 0,00897 | 0,00399 | 0,0241 | OK |
| | Balok 1.2 | | | | | | | |
| Balok-2 | Balok 2.1 | 25 | 300 | 0,00467 | 0,00897 | 0,00399 | 0,0301 | OK |
| | Balok 2.2 | | | | | | | |
| Balok-3 | Balok 3.1 | 30 | 300 | 0,00467 | 0,00897 | 0,00399 | 0,0361 | OK |
| | Balok 3.2 | | | | | | | |

Keterangan : "OK" menunjukkan bahwa rasio $\rho_{\min} \leq \rho \leq 0,75 \cdot \rho_b$ sehingga ragam runtuh tarik

Tabel Rasio Tulangan Baja Pada Penampang Balok Aktual Penelitian

| Balok Uji | Jenis Balok Uji | f'_c MPa | f_y MPa | ρ_{\min} | ρ | ρ_{reca} | ρ' | ρ'_{rerata} | $0,75 \cdot \rho_b$ | $(0,75 \cdot \rho_b)_{\text{rerata}}$ | KET |
|-----------|-----------------|------------|-----------|---------------|----------|----------------------|----------|-------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----|
| Balok-1 | Balok 1.1 | 24,913 | | | 0,008427 | 0,008544 | 0,003746 | 0,003797 | 0,02729 | 0,02729 | OK |
| | Balok 1.2 | | | | 0,008662 | | 0,003849 | | 0,02729 | | |
| Balok-2 | Balok 2.1 | 29,345 | 321,941 | 0,004348 | 0,008729 | 0,008578 | 0,003861 | 0,003803 | 0,029585 | 0,029585 | OK |
| | Balok 2.2 | | | | 0,008427 | | 0,003746 | | 0,029585 | | |
| Balok-3 | Balok 3.1 | 33,818 | | | 0,008845 | 0,008908 | 0,003931 | 0,003959 | 0,03569 | 0,03569 | OK |
| | Balok 3.2 | | | | 0,008971 | | 0,003987 | | 0,03569 | | |

Keterangan : "OK" menunjukkan bahwa rasio $\rho_{\min} \leq \rho \leq 0,75 \cdot \rho_b$ sehingga ragam runtuh tarik

**Pemeriksaan Rasio Tulangan
(Perencanaan Awal)**

□ **Balok-1**

Balok 1.1 dan Balok 1.2

$$f'_c = 20 \text{ MPa} \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{300} = 0,004667$$

$$f_y = 300 \text{ MPa} \quad \rho = \frac{226,08}{(140 \times 180)} = 0,008971$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \rho' = \frac{100,48}{(140 \times 180)} = 0,003987$$

$$A_s = 226,08 \text{ mm}^2 \quad \rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$A'_s = 100,48 \text{ mm}^2 \quad = 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{20}{300} \right) \left(\frac{600}{600 + 300} \right)$$

$$= 0,0321$$

$$0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0321 = 0,024075 = 0,024075$$

□ **Balok-2**

Balok 2.1 dan Balok 2.2

$$f'_c = 25 \text{ MPa} \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{300} = 0,004667$$

$$f_y = 300 \text{ MPa} \quad \rho = \frac{226,08}{(140 \times 180)} = 0,008971$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \rho' = \frac{100,48}{(140 \times 180)} = 0,003987$$

$$A_s = 226,08 \text{ mm}^2 \quad \rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$A'_s = 100,48 \text{ mm}^2 \quad = 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{25}{300} \right) \left(\frac{600}{600 + 300} \right)$$

$$= 0,0401$$

$$0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0401 = 0,030075 = 0,030075$$

□ **Balok-3**

Balok 3.1 dan Balok 3.2

$$f'_c = 30 \text{ MPa} \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{300} = 0,004667$$

$$f_y = 300 \text{ MPa} \quad \rho = \frac{226,08}{(140 \times 180)} = 0,008971$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \rho' = \frac{100,48}{(140 \times 180)} = 0,003987$$

$$A_s = 226,08 \text{ mm}^2 \quad \rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned} A'_s = 100,48 \text{ mm}^2 &= 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{30}{300} \right) \left(\frac{600}{600 + 300} \right) \\ &= 0,0482 \end{aligned}$$

$$0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0482 = 0,03615 = 0,036150$$

**Pemeriksaan Rasio Tulangan
(Aktual Balok Uji)**

□ **Balok-1**

➤ **Balok 1.1**

$$f'_c = 24,913 \text{ MPa} \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{321,941} = 0,004348$$

$$f_y = 321,941 \text{ MPa} \quad \rho = \frac{226,08}{(145 \times 185)} = 0,008427$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \rho' = \frac{100,48}{(145 \times 185)} = 0,003746$$

$$A_s = 226,08 \text{ mm}^2 \quad \rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$A'_s = 100,48 \text{ mm}^2 \quad = 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{24,913}{321,941} \right) \left(\frac{600}{600 + 321,941} \right)$$

$$= 0,03639$$

$$0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,03639 = 0,02729$$

➤ **Balok 1.2**

$$f'_c = 24,913 \text{ MPa} \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{321,941} = 0,004348$$

$$f_y = 321,941 \text{ MPa} \quad \rho = \frac{226,08}{(145 \times 180)} = 0,008662$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \rho' = \frac{100,48}{(145 \times 180)} = 0,003849$$

$$A_s = 226,08 \text{ mm}^2 \quad \rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$A'_s = 100,48 \text{ mm}^2 \quad = 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{24,913}{321,941} \right) \left(\frac{600}{600 + 321,941} \right)$$

$$= 0,03639$$

$$0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,03639 = 0,02729$$

□ **Balok-2**

➤ **Balok 2.1**

$$f'_c = 29,345 \text{ MPa} \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{321,941} = 0,004348$$

$$f_y = 321,941 \text{ MPa} \quad \rho = \frac{226,08}{(140 \times 185)} = 0,008729$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \rho' = \frac{100,48}{(140 \times 185)} = 0,003861$$

$$A_s = 226,08 \text{ mm}^2 \quad \rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned} A'_s = 100,48 \text{ mm}^2 &= 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{29,345}{321,941} \right) \left(\frac{600}{600 + 321,941} \right) \\ &= 0,04286 \end{aligned}$$

$$0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,04286 = 0,03214$$

➤ **Balok 2.2**

$$f'_c = 29,345 \text{ MPa} \quad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{321,941} = 0,004348$$

$$f_y = 321,941 \text{ MPa} \quad \rho = \frac{226,08}{(145 \times 185)} = 0,008427$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad \rho' = \frac{100,48}{(145 \times 185)} = 0,003746$$

$$A_s = 226,08 \text{ mm}^2 \quad \rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\begin{aligned} A'_s = 100,48 \text{ mm}^2 &= 0,85 \times 0,85 \times \left(\frac{29,345}{321,941} \right) \left(\frac{600}{600 + 321,941} \right) \\ &= 0,04286 \end{aligned}$$

$$0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,04286 = 0,03214$$

□ **Balok-3**

➤ **Balok 3.1**

$$f'_c = 33,818 \text{ MPa} \qquad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{321,941} = 0,004348$$

$$f_y = 321,941 \text{ MPa} \qquad \rho = \frac{226,08}{(142 \times 180)} = 0,008845$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30) \qquad \rho' = \frac{100,48}{(142 \times 180)} = 0,003931$$

$$= 0,85 - 0,008(33,818 - 30) \qquad \rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,819 \qquad = 0,85 \times 0,819 \times \left(\frac{33,818}{321,941} \right) \left(\frac{600}{600 + 321,941} \right)$$

$$A_s = 226,08 \text{ mm}^2 \qquad = 0,04759$$

$$A'_s = 100,48 \text{ mm}^2 \qquad 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,04759 = 0,03569$$

➤ **Balok 3.2**

$$f'_c = 33,818 \text{ MPa} \qquad \rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{321,941} = 0,004348$$

$$f_y = 321,941 \text{ MPa} \qquad \rho = \frac{226,08}{(140 \times 180)} = 0,008971$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30) \qquad \rho' = \frac{100,48}{(140 \times 180)} = 0,003987$$

$$= 0,85 - 0,008(33,818 - 30) \qquad \rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,819 \qquad = 0,85 \times 0,819 \times \left(\frac{33,818}{321,941} \right) \left(\frac{600}{600 + 321,941} \right)$$

$$A_s = 226,08 \text{ mm}^2 \qquad = 0,04759$$

$$A'_s = 100,48 \text{ mm}^2 \qquad 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,04759 = 0,03569$$

Pemeriksaan dan Analisis Penampang Balok

| Balok Uji | Jenis Balok Uji | <i>b</i> | <i>h</i> | <i>t_s</i> Rerata | <i>d</i> | <i>d'</i> |
|-----------|-----------------|----------|----------|-----------------------------|----------|-----------|
| | | mm | mm | mm | mm | mm |
| Balok-1 | Balok 1.1 | 145 | 185 | 35 | 136 | 47 |
| | Balok 1.2 | 145 | 180 | 35,4 | 130,6 | 47,4 |
| Balok-2 | Balok 2.1 | 140 | 185 | 35,9 | 135,1 | 47,9 |
| | Balok 2.2 | 140 | 185 | 35,5 | 135,5 | 47,5 |
| Balok-3 | Balok 3.1 | 142 | 180 | 35,7 | 130,3 | 47,7 |
| | Balok 3.2 | 140 | 180 | 35,2 | 130,8 | 47,2 |

Rumus :

$$d = h - \left(t_s + d_g + \frac{d_2}{2} \right)$$

$$d' = t_s + d_g + \frac{d_1}{2}$$

dengan:

d = jarak antara tulangan tarik dengan serat tekan beton terluar

d' = jarak antara tulangan tekan dengan serat tekan beton terluar

h = tinggi balok

t_s = tebal selimut beton

d_g = diameter tulangan geser

d₁ = diameter tulangan tekan

d₂ = diameter tulangan tarik

Analisis Berat Balok

Rumus berat sendiri balok :

$$W_b = ((V_{balok} - V_{baja}) \times B_jBeton) + (V_{baja} \times B_jBaja)$$

dengan :

W_b = berat sendiri balok (KN/m³)

V_{balok} = volume balok (m³)

V_{baja} = volume baja (m³)

B_jBeton = berat jenis beton (KN/m³)

B_jBaja = berat jenis baja (KN/m³)

$$w = W_b \times b \times h$$

dengan :

w = berat balok (KN/m³)

b = lebar penampang balok (m)

h = tinggi penampang balok (m)

□ BALOK-1

➤ Balok 1.1

$$V_{balok} = 0,05365 \text{ m}^3$$

$$V_{baja} = 0,001012 \text{ m}^3$$

$$B_jbeton = 23,291 \text{ KN / m}^3$$

$$B_jbaja = 78,471 \text{ KN / m}^3$$

$$b = 0,145 \text{ m}$$

$$h = 0,185 \text{ m}$$

$$W_b = ((0,05365 - 0,001012) \times 23,291) + (0,001012 \times 78,471)$$

$$= 1,305 \text{ KN / m}^3$$

$$w = 1,305 \times 0,145 \times 0,185 = 0,75257 \text{ KN / m}$$

➤ **Balok 1.2**

$$V_{balok} = 0,052983 \text{ m}^3$$

$$V_{baja} = 0,001012 \text{ m}^3$$

$$B_{beton} = 23,291 \text{ KN/m}^3$$

$$B_{baja} = 78,471 \text{ KN/m}^3$$

$$b = 0,145 \text{ m}$$

$$h = 0,180 \text{ m}$$

$$W_b = ((0,052983 - 0,001012) \times 23,291) + (0,001012 \times 78,471)$$

$$= 1,3097 \text{ KN/m}^3$$

$$w = 1,3097 \times 0,145 \times 0,180 = 0,73106 \text{ KN/m}$$

□ **BALOK-2**➤ **Balok 2.1**

$$V_{balok} = 0,052577 \text{ m}^3$$

$$V_{baja} = 0,001012 \text{ m}^3$$

$$B_{beton} = 23,291 \text{ KN/m}^3$$

$$B_{baja} = 78,471 \text{ KN/m}^3$$

$$b = 0,140 \text{ m}$$

$$h = 0,185 \text{ m}$$

$$W_b = ((0,052577 - 0,001012) \times 23,291) + (0,001012 \times 78,471)$$

$$= 1,2804 \text{ KN/m}^3$$

$$w = 1,2804 \times 0,140 \times 0,185 = 0,709567 \text{ KN/m}$$

➤ **Balok 2.2**

$$V_{balok} = 0,05180 \text{ m}^3$$

$$V_{baja} = 0,001012 \text{ m}^3$$

$$B_{beton} = 23,291 \text{ KN/m}^3$$

$$B_{baja} = 78,471 \text{ KN/m}^3$$

$$b = 0,140 \text{ m}$$

$$h = 0,185 \text{ m}$$

$$W_b = ((0,05180 - 0,001012) \times 23,291) + (0,001012 \times 78,471)$$

$$= 1,2623 \text{ KN/m}^3$$

$$w = 1,2623 \times 0,145 \times 0,185 = 0,70096 \text{ KN/m}$$

□ **BALOK-3**➤ **Balok 3.1**

$$V_{balok} = 0,0513756 \text{ m}^3$$

$$V_{baja} = 0,001012 \text{ m}^3$$

$$B_{beton} = 23,291 \text{ KN/m}^3$$

$$B_{baja} = 78,471 \text{ KN/m}^3$$

$$b = 0,142 \text{ m}$$

$$h = 0,180 \text{ m}$$

$$W_b = ((0,0513756 - 0,001012) \times 23,291) + (0,001012 \times 78,471)$$

$$= 1,2524 \text{ KN/m}^3$$

$$w = 1,2524 \times 0,142 \times 0,180 = 0,68806 \text{ KN/m}$$

➤ **Balok 3.2**

$$V_{\text{balok}} = 0,050904 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{baja}} = 0,001012 \text{ m}^3$$

$$B_{\text{beton}} = 23,291 \text{ KN/m}^3$$

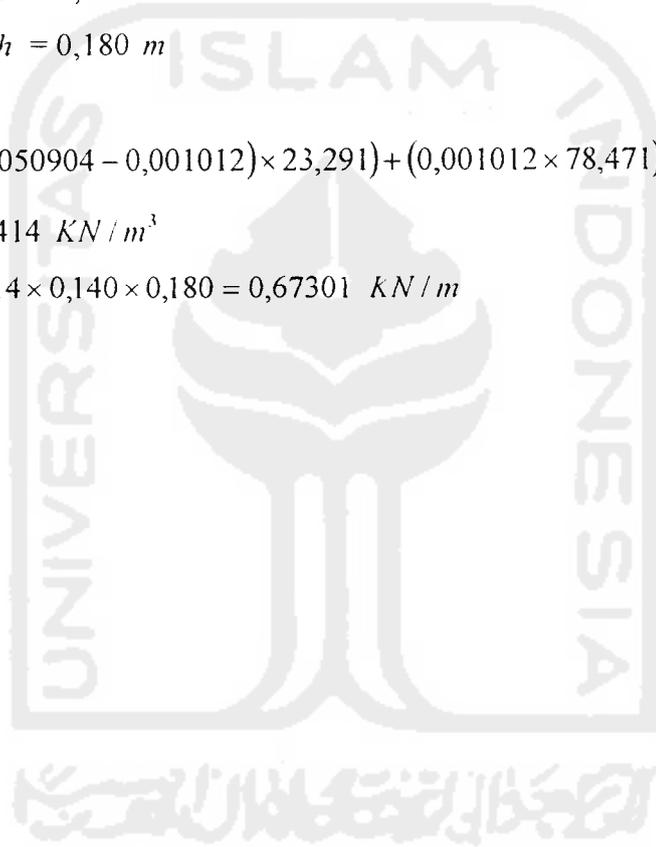
$$B_{\text{baja}} = 78,471 \text{ KN/m}^3$$

$$b = 0,140 \text{ m}$$

$$h = 0,180 \text{ m}$$

$$W_b = ((0,050904 - 0,001012) \times 23,291) + (0,001012 \times 78,471)$$
$$= 1,2414 \text{ KN/m}^3$$

$$w = 1,2414 \times 0,140 \times 0,180 = 0,67301 \text{ KN/m}$$



Analisis Kuat Lentur Penampang Balok

□ BALOK-1

➤ Balok 1.1

$$\begin{aligned} b &= 145 \text{ mm} & A'_s &= 100,48 \text{ mm}^2 \\ h &= 185 \text{ mm} & A_s &= 226,48 \text{ mm}^2 \\ d' &= 47 \text{ mm} & f'_c &= 24,913 \text{ MPa} \\ d &= 136 \text{ mm} & f_y &= 321,941 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Asumsi tulangan tekan dianggap tidak memberikan kontribusi kekuatan lentur :

$$T_s = 226,48 \times 321,941 = 72913,19768 \text{ N}$$

$$C_c = a \times 145 \times 0,85 \times 24,913 = 3070,52725 \text{ a}$$

Persamaan kesetimbangan

$$T_s = C_c$$

$$72913,19768 = 3070,52725 \text{ a}$$

$$a = 23,746 \text{ mm}$$

$$M_n = T_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 72913,19768 \left(136 - \frac{23,746}{2} \right)$$

$$= 9050496,488 \text{ Nmm} = 9,0505 \text{ kNm}$$

➤ Balok 1.2

$$\begin{aligned} b &= 145 \text{ mm} & A'_s &= 100,48 \text{ mm}^2 \\ h &= 180 \text{ mm} & A_s &= 226,48 \text{ mm}^2 \\ d' &= 47,4 \text{ mm} & f'_c &= 24,913 \text{ MPa} \\ d &= 130,6 \text{ mm} & f_y &= 321,941 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Asumsi tulangan tekan dianggap tidak memberikan kontribusi kekuatan lentur :

$$T_s = 226,48 \times 321,941 = 72913,19768 \text{ N}$$

$$C_c = a \times 145 \times 0,85 \times 24,913 = 3070,52725 \text{ a}$$

Persamaan kesetimbangan

$$T_s = C_c$$

$$72913,19768 = 3070,52725 a$$

$$a = 23,746 \text{ mm}$$

$$M_n = T_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 72913,19768 \left(130,6 - \frac{23,746}{2} \right)$$

$$= 8656765,221 \text{ Nmm} = 8,656 \text{ kNm}$$

Kuat lentur (M_n) perlu rerata **Balok-1** = $\left(\frac{9,0505 + 8,656}{2} \right) = 8,853 \text{ kNm}$

□ **BALOK-2**

➤ **Balok 2.1**

$$b = 140 \text{ mm} \quad A'_s = 100,48 \text{ mm}^2$$

$$h = 182,4 \text{ mm} \quad A_s = 226,48 \text{ mm}^2$$

$$d' = 47,9 \text{ mm} \quad f'_c = 29,345 \text{ MPa}$$

$$d = 132,5 \text{ mm} \quad f_y = 321,941 \text{ MPa}$$

Asumsi tulangan tekan dianggap tidak memberikan kontribusi kekuatan lentur :

$$T_s = 226,48 \times 321,941 = 72913,19768 \text{ N}$$

$$C_c = a \times 140 \times 0,85 \times 29,345 = 3492,055 a$$

Persamaan kesetimbangan

$$T_s = C_c$$

$$72913,19768 = 3492,055 a$$

$$a = 20,879 \text{ mm}$$

$$M_n = T_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 72913,19768 \left(132,5 - \frac{20,879}{2} \right)$$

$$= 8899821,365 \text{ Nmm} = 8,899 \text{ kNm}$$

➤ **Balok 2.2**

$$\begin{aligned}
 b &= 140 \text{ mm} & A'_s &= 100,48 \text{ mm}^2 \\
 h &= 183 \text{ mm} & A_s &= 226,48 \text{ mm}^2 \\
 d' &= 47,5 \text{ mm} & f'_c &= 29,345 \text{ MPa} \\
 d &= 133,5 \text{ mm} & f_y &= 321,941 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Asumsi tulangan tekan dianggap tidak memberikan kontribusi kekuatan lentur :

$$T_s = 226,48 \times 321,941 = 72913,19768 \text{ N}$$

$$C_c = a \times 140 \times 0,85 \times 29,345 = 3492,055 a$$

Persamaan kesetimbangan

$$T_s = C_c$$

$$72913,19768 = 3492,055 a$$

$$a = 20,879 \text{ mm}$$

$$M_n = T_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 72913,19768 \left(133,5 - \frac{20,879}{2} \right)$$

$$= 8972734,563 \text{ Nmm} = 8,973 \text{ kNm}$$

Kuat lentur (M_n) perlu rerata **Balok-2** = $\left(\frac{8,899 + 8,973}{2} \right) = 8,936 \text{ kNm}$

□ **BALOK-3**➤ **Balok 3.1**

$$\begin{aligned}
 b &= 142 \text{ mm} & A'_s &= 100,48 \text{ mm}^2 \\
 h &= 180 \text{ mm} & A_s &= 226,48 \text{ mm}^2 \\
 d' &= 47,7 \text{ mm} & f'_c &= 33,818 \text{ MPa} \\
 d &= 130,3 \text{ mm} & f_y &= 321,941 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Asumsi tulangan tekan dianggap tidak memberikan kontribusi kekuatan lentur :

$$T_s = 226,48 \times 321,941 = 72913,19768 \text{ N}$$

$$C_c = a \times 142 \times 0,85 \times 33,818 = 4081,8326 a$$

Persamaan kesetimbangan

$$T_s = C_c$$

$$72913,19768 = 4081,8326 a$$

$$a = 17,863 \text{ mm}$$

$$M_n = T_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 72913,19768 \left(130,3 - \frac{17,863}{2} \right)$$

$$= 8849365,433 \text{ Nmm} = 8,849 \text{ kNm}$$

➤ **Balok 3.2**

$$b = 140 \text{ mm} \quad A'_s = 100,48 \text{ mm}^2$$

$$h = 180 \text{ mm} \quad A_s = 226,48 \text{ mm}^2$$

$$d' = 47,2 \text{ mm} \quad f'_c = 33,818 \text{ MPa}$$

$$d = 130,8 \text{ mm} \quad f_y = 321,941 \text{ MPa}$$

Asumsi tulangan tekan dianggap tidak memberikan kontribusi kekuatan lentur :

$$T_s = 226,48 \times 321,941 = 72913,19768 \text{ N}$$

$$C_c = a \times 140 \times 0,85 \times 33,818 = 4024,342 a$$

Persamaan kesetimbangan

$$T_s = C_c$$

$$72913,19768 = 4024,342 a$$

$$a = 18,118 \text{ mm}$$

$$M_n = T_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 72913,19768 \left(130,8 - \frac{18,118}{2} \right)$$

$$= 8876525 \text{ Nmm} = 8,876 \text{ kNm}$$

$$\text{Kuat lentur (} M_n \text{) perlu rerata **Balok-3** = } \left(\frac{8,849 + 8,876}{2} \right) = \mathbf{8,862 \text{ kNm}}$$

Analisis Kuat Lentur Pengujian

□ BALOK-1

➤ Balok 1.1

$$P = 4270 \text{ kg} = 42,70 \text{ KN}$$

$$w = 0,75257 \text{ KN/m}$$

$$L = 1,8 \text{ m}$$

$$R_a = 21,35 + \left(\frac{0,75257 \times 1,8}{2} \right) = 22,027 \text{ KN}$$

$$M_c = \frac{42,70 \times 1,8}{6} + \frac{0,75257 \times 1,8^2}{8} = 13,1148 \text{ kNm}$$

➤ Balok 1.2

$$P = 4070 \text{ kg} = 40,70 \text{ KN}$$

$$w = 0,73106 \text{ KN/m}$$

$$L = 1,8 \text{ m}$$

$$R_a = 20,35 + \left(\frac{0,73106 \times 1,8}{2} \right) = 21,0079 \text{ KN}$$

$$M_c = \frac{40,70 \times 1,8}{6} + \frac{0,73106 \times 1,8^2}{8} = 12,5060 \text{ kNm}$$

$$\text{Kuat Lentur (} M_n \text{) aktual rerata Balok-1} = \left(\frac{13,1148 + 12,5060}{2} \right) = 12,8104 \text{ kNm}$$

□ **BALOK-2**

➤ **Balok 2.1**

$$P = 4470 \text{ kg} = 44,70 \text{ KN}$$

$$w = 0,709567 \text{ KN/m}$$

$$L = 1,8 \text{ m}$$

$$R_a = 22,35 + \left(\frac{0,709567 \times 1,8}{2} \right) = 22,9886 \text{ KN}$$

$$M_c = \frac{44,70 \times 1,8}{6} + \frac{0,709567 \times 1,8^2}{8} = 13,6974 \text{ kNm}$$

➤ **Balok 2.2**

$$P = 4670 \text{ kg} = 46,70 \text{ KN}$$

$$w = 0,70096 \text{ KN/m}$$

$$L = 1,8 \text{ m}$$

$$R_a = 23,35 + \left(\frac{0,70096 \times 1,8}{2} \right) = 23,9808 \text{ KN}$$

$$M_c = \frac{46,70 \times 1,8}{6} + \frac{0,70096 \times 1,8^2}{8} = 14,2938 \text{ kNm}$$

$$\text{Kuat Lentur (} M_n \text{) aktual rerata Balok-2} = \left(\frac{13,6974 + 14,2938}{2} \right) = 13,9956 \text{ kNm}$$

□ **BALOK-3**

➤ **Balok 3.1**

$$\begin{aligned} P &= 5070 \text{ kg} = 50,70 \text{ KN} \\ q &= 0,68806 \text{ KN/m} \\ L &= 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$R_a = 25,35 + \left(\frac{0,68806 \times 1,8}{2} \right) = 25,9692 \text{ KN}$$

$$M_c = \frac{50,70 \times 1,8}{6} + \frac{0,68806 \times 1,8^2}{8} = 15,4887 \text{ kNm}$$

➤ **Balok 3.2**

$$\begin{aligned} P &= 4870 \text{ kg} = 48,70 \text{ KN} \\ q &= 0,67301 \text{ KN/m} \\ L &= 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$R_a = 24,35 + \left(\frac{0,67301 \times 1,8}{2} \right) = 24,9557 \text{ KN}$$

$$M_c = \frac{48,70 \times 1,8}{6} + \frac{0,67301 \times 1,8^2}{8} = 14,8826 \text{ kNm}$$

$$\text{Kuat Lentur (} M_n \text{) aktual rerata Balok-3} = \left(\frac{15,4887 + 14,8826}{2} \right) = 15,1856 \text{ kNm}$$

Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

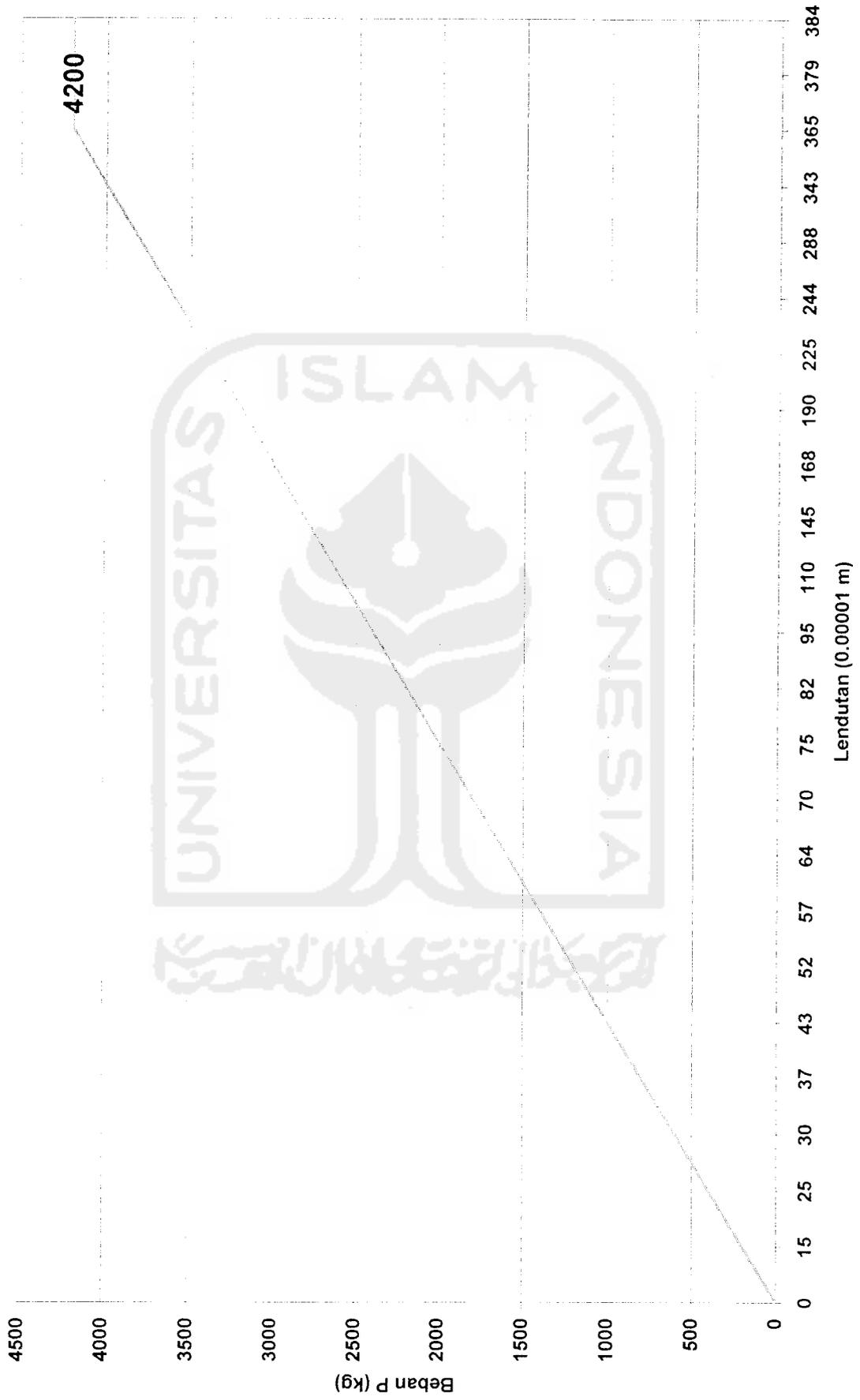
Jenis : Balok 1.1
 Tanggal Uji : 23 November 2001

| Beban P (kg) | Lend-1 (0,00001 m) | Lend-2 (0,00001 m) | Lend-3 (0,00001 m) | Retak |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 200 | 10 | 15 | 10 | |
| 400 | 15 | 25 | 17 | |
| 600 | 20 | 30 | 22 | |
| 800 | 22 | 37 | 25 | |
| 1000 | 25 | 43 | 28 | |
| 1200 | 30 | 52 | 35 | |
| 1400 | 35 | 57 | 37 | |
| 1600 | 40 | 64 | 45 | |
| 1800 | 45 | 70 | 56 | 1 |
| 2000 | 50 | 75 | 60 | 2 |
| 2200 | 60 | 82 | 64 | 3 |
| 2400 | 80 | 95 | 82 | 4 |
| 2600 | 90 | 110 | 95 | 5 |
| 2800 | 105 | 145 | 110 | 6 |
| 3000 | 125 | 168 | 135 | 7 |
| 3200 | 167 | 190 | 188 | 8 |
| 3400 | 193 | 225 | 195 | 9 |
| 3600 | 226 | 244 | 230 | 10 |
| 3800 | 264 | 288 | 270 | 11 |
| 4000 | 298 | 343 | 300 | 12 |
| 4200 | 320 | 365 | 325 | 13 |
| 4200 | 325 | 379 | 330 | |
| 4200 | 330 | 384 | 340 | |

Catatan :

1. Beban belum termasuk landasan 15 kg + 55 kg
2. Beban yang terbaca + point 1
3. $P_{maks} = 4270$ kg

Grafik Uji Lentur Balok 1.1



Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

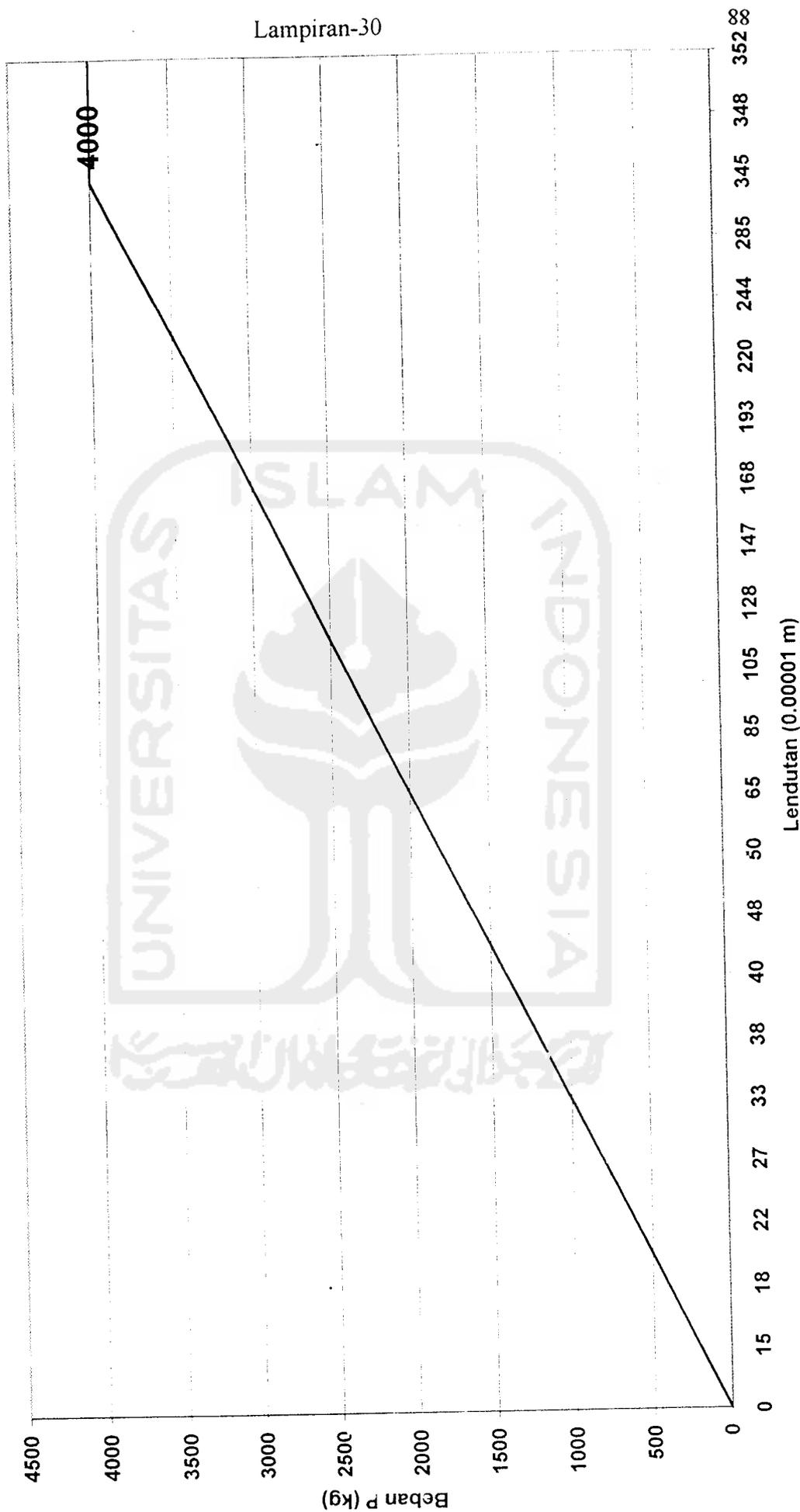
Jenis : Balok 1.2
 Tanggal Uji : 23 November 2001

| Beban P (kg) | Lend-1 (0,00001 m) | Lend-2 (0,00001 m) | Lend-3 (0,00001 m) | Retak |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 200 | 10 | 15 | 12 | |
| 400 | 13 | 18 | 14 | |
| 600 | 16 | 22 | 18 | |
| 800 | 17 | 27 | 20 | |
| 1000 | 25 | 33 | 28 | |
| 1200 | 32 | 38 | 35 | |
| 1400 | 35 | 40 | 37 | |
| 1600 | 38 | 48 | 42 | |
| 1800 | 40 | 50 | 45 | 1 |
| 2000 | 46 | 65 | 50 | 2 |
| 2200 | 58 | 85 | 64 | |
| 2400 | 75 | 105 | 77 | 3 |
| 2600 | 80 | 128 | 85 | 4 |
| 2800 | 97 | 147 | 100 | 5 |
| 3000 | 120 | 168 | 124 | 6 |
| 3200 | 145 | 193 | 148 | |
| 3400 | 180 | 220 | 195 | 7 |
| 3600 | 225 | 244 | 230 | 8 |
| 3800 | 268 | 285 | 270 | 9 |
| 4000 | 285 | 345 | 300 | 10 |
| 4000 | 293 | 348 | 310 | |
| 4000 | 316 | 352 | 320 | |

Catatan :

1. Beban belum termasuk landasan 15 kg + 55 kg
2. Beban yang terbaca + point 1
3. $P_{maks} = 4070$ kg

Grafik Uji Lentur Balok 1.2



Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

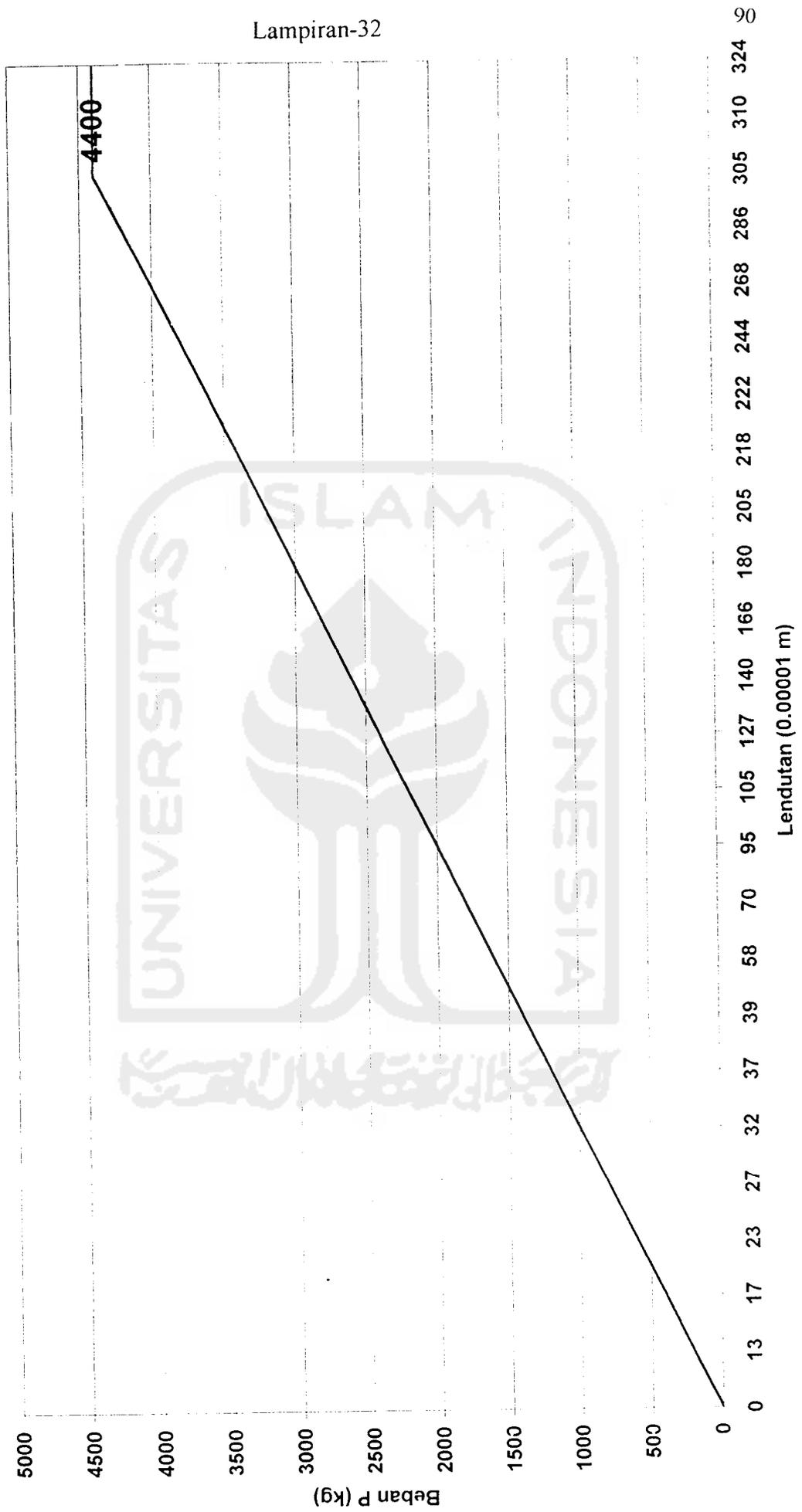
Jenis : Balok 2.1
Tanggal Uji : 23 November 2001

| Beban P (kg) | Lend-1 (0,00001 m) | Lend-2 (0,00001 m) | Lend-3 (0,00001 m) | Retak |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 200 | 10 | 13 | 11 | |
| 400 | 13 | 17 | 14 | |
| 600 | 16 | 23 | 18 | |
| 800 | 17 | 27 | 20 | |
| 1000 | 25 | 32 | 28 | |
| 1200 | 32 | 37 | 35 | |
| 1400 | 35 | 39 | 37 | 1 |
| 1600 | 38 | 58 | 42 | |
| 1800 | 40 | 70 | 47 | 2 |
| 2000 | 56 | 95 | 65 | 3 |
| 2200 | 74 | 105 | 84 | 4 |
| 2400 | 97 | 127 | 100 | 5 |
| 2600 | 108 | 140 | 112 | 6 |
| 2800 | 123 | 166 | 126 | 7 |
| 3000 | 140 | 180 | 144 | 8 |
| 3200 | 165 | 205 | 168 | 9 |
| 3400 | 180 | 218 | 185 | |
| 3600 | 197 | 222 | 198 | 10 |
| 3800 | 208 | 244 | 212 | 11 |
| 4000 | 235 | 268 | 238 | 12 |
| 4200 | 255 | 286 | 267 | 13 |
| 4400 | 275 | 305 | 288 | 14 |
| 4400 | 290 | 310 | 293 | |
| 4400 | 315 | 324 | 317 | |

Catatan :

1. Beban belum termasuk landasan 15 kg + 55 kg
2. Beban yang terbaca + point 1
3. $P_{maks} = 4470$ kg

Grafik Uji Lentur Balok 2.1



Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

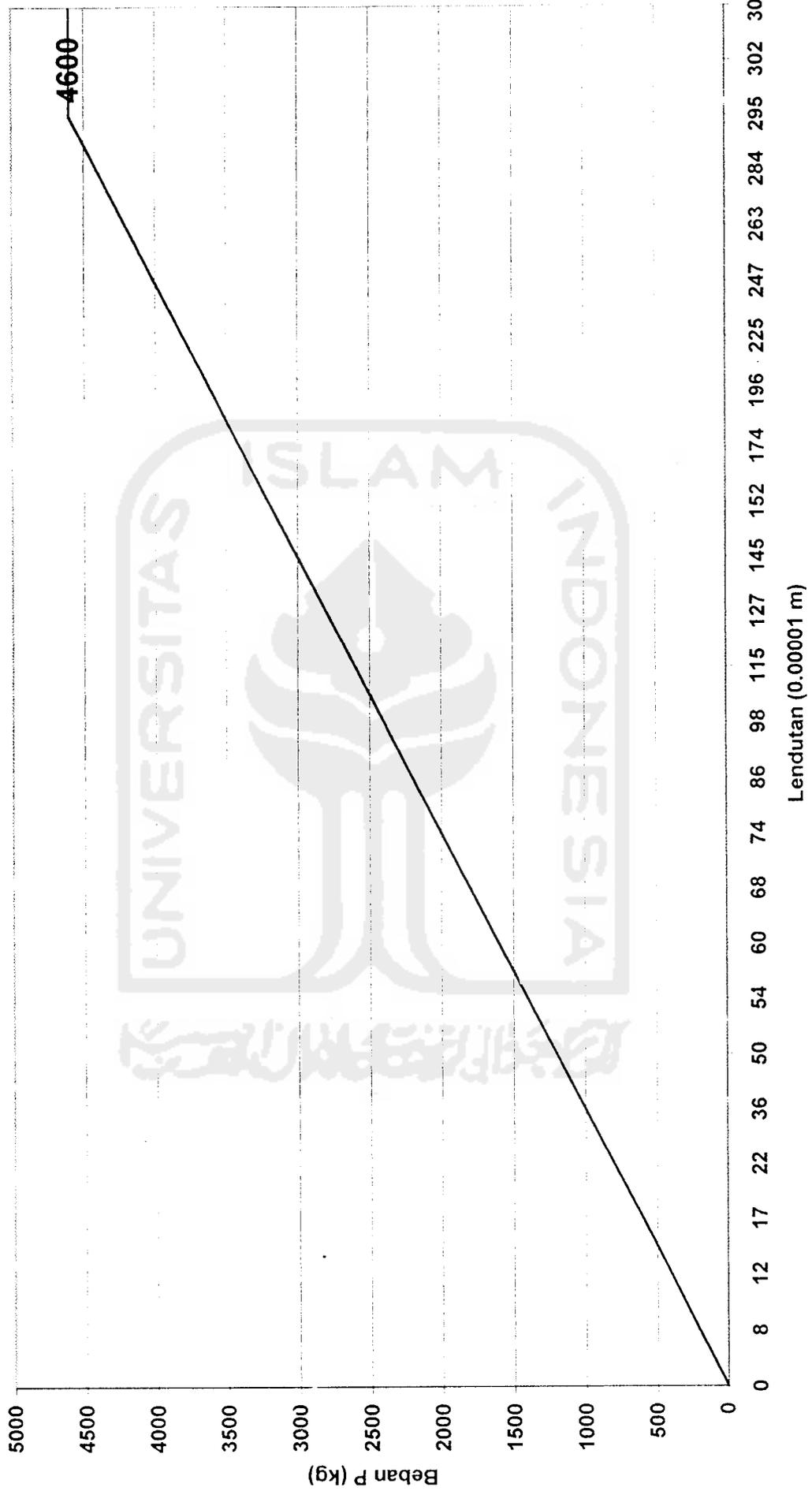
Jenis : Balok 2.2
 Tanggal Uji : 23 November 2001

| Beban P (kg) | Lend-1 (0,00001 m) | Lend-2 (0,00001 m) | Lend-3 (0,00001 m) | Retak |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 200 | 6 | 8 | 0 | |
| 400 | 10 | 12 | 11 | |
| 600 | 15 | 17 | 17 | |
| 800 | 20 | 22 | 28 | |
| 1000 | 30 | 36 | 35 | |
| 1200 | 40 | 50 | 42 | |
| 1400 | 44 | 54 | 45 | |
| 1600 | 50 | 60 | 55 | |
| 1800 | 58 | 68 | 60 | |
| 2000 | 60 | 74 | 68 | 1 |
| 2200 | 65 | 86 | 75 | 2 |
| 2400 | 78 | 98 | 82 | 3 |
| 2600 | 84 | 115 | 94 | 4 |
| 2800 | 98 | 127 | 105 | 5 |
| 3000 | 107 | 145 | 112 | |
| 3200 | 127 | 152 | 135 | 6 |
| 3400 | 143 | 174 | 148 | 7 |
| 3600 | 176 | 196 | 192 | 8 |
| 3800 | 198 | 225 | 206 | 9 |
| 4000 | 208 | 247 | 223 | 10 |
| 4200 | 237 | 263 | 242 | 11 |
| 4400 | 252 | 284 | 261 | 12 |
| 4600 | 266 | 295 | 270 | 13 |
| 4600 | 271 | 302 | 282 | |
| 4600 | 284 | 308 | 288 | |

Catatan :

1. Beban belum termasuk landasan 15 kg + 55 kg
2. Beban yang terbaca + point 1
3. $P_{maks} = 4670$ kg

Grafik Uji Lentur Balok 2.2



Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

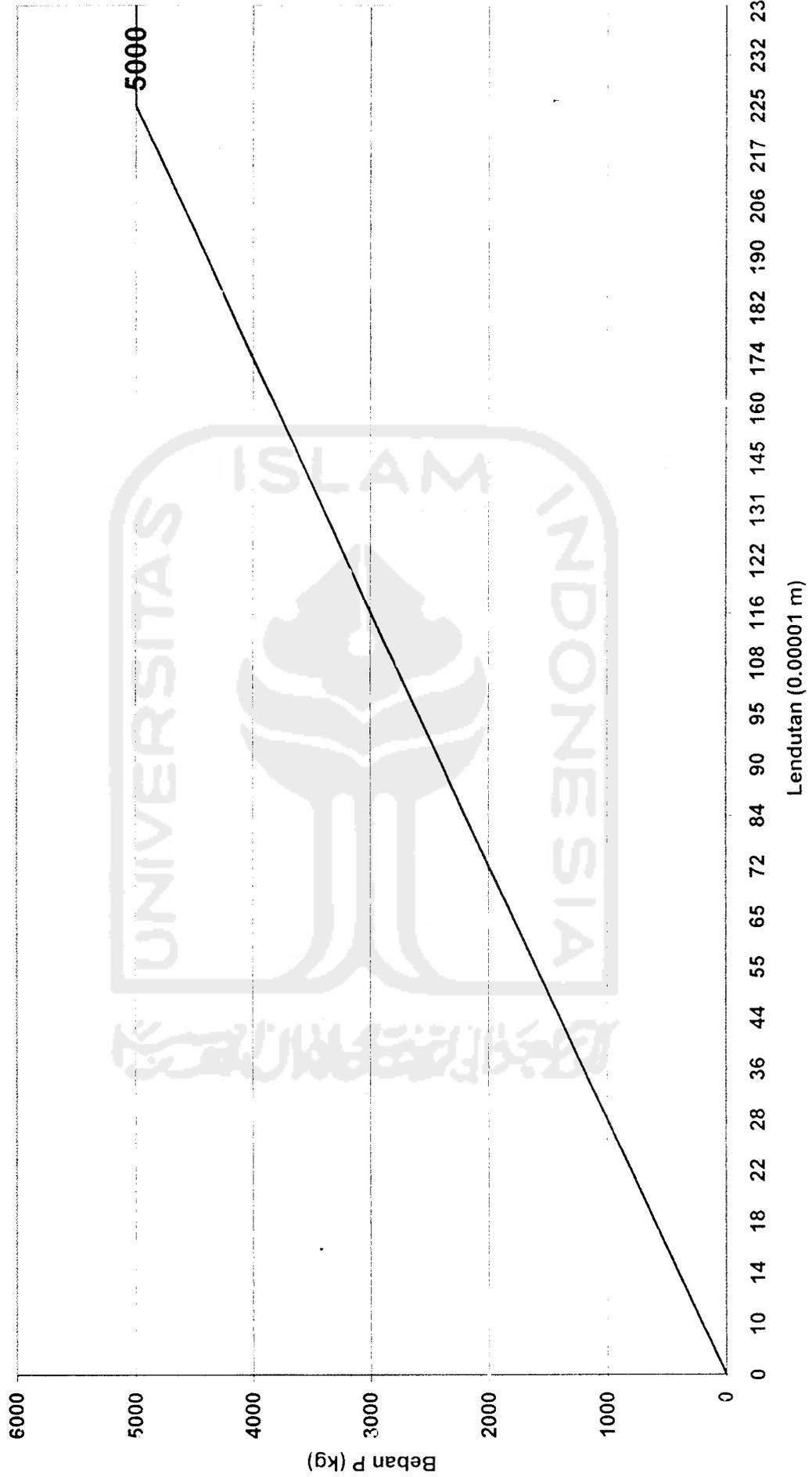
Jenis : Balok 3.1
 Tanggal Uji : 23 November 2001

| Beban P (kg) | Lend-1 (0,00001 m) | Lend-2 (0,00001 m) | Lend-3 (0,00001 m) | Retak |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 200 | 0 | 10 | 8 | |
| 400 | 8 | 14 | 10 | |
| 600 | 10 | 18 | 19 | |
| 800 | 12 | 22 | 23 | |
| 1000 | 15 | 28 | 25 | |
| 1200 | 20 | 36 | 31 | |
| 1400 | 25 | 44 | 35 | |
| 1600 | 31 | 55 | 40 | |
| 1800 | 35 | 65 | 48 | 1 |
| 2000 | 40 | 72 | 55 | 2 |
| 2200 | 46 | 84 | 60 | 3 |
| 2400 | 58 | 90 | 65 | 4 |
| 2600 | 64 | 95 | 74 | 5 |
| 2800 | 76 | 108 | 86 | 6 |
| 3000 | 80 | 116 | 94 | 7 |
| 3200 | 98 | 122 | 102 | 8 |
| 3400 | 104 | 131 | 115 | 9 |
| 3600 | 115 | 145 | 125 | 10 |
| 3800 | 129 | 160 | 147 | 11 |
| 4000 | 148 | 174 | 155 | 12 |
| 4200 | 155 | 182 | 164 | 13 |
| 4400 | 165 | 190 | 172 | |
| 4600 | 174 | 206 | 186 | 14 |
| 4800 | 180 | 217 | 195 | 15 |
| 5000 | 198 | 225 | 203 | 16 |
| 5000 | 210 | 232 | 214 | |
| 5000 | 218 | 237 | 220 | |

Catatan :

1. Beban belum termasuk landasan 15 kg + 55 kg
2. Beban yang terbaca + point 1
3. $P_{maks} = 5070$ kg

Grafik Uji Lentur Balok 3.1



Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

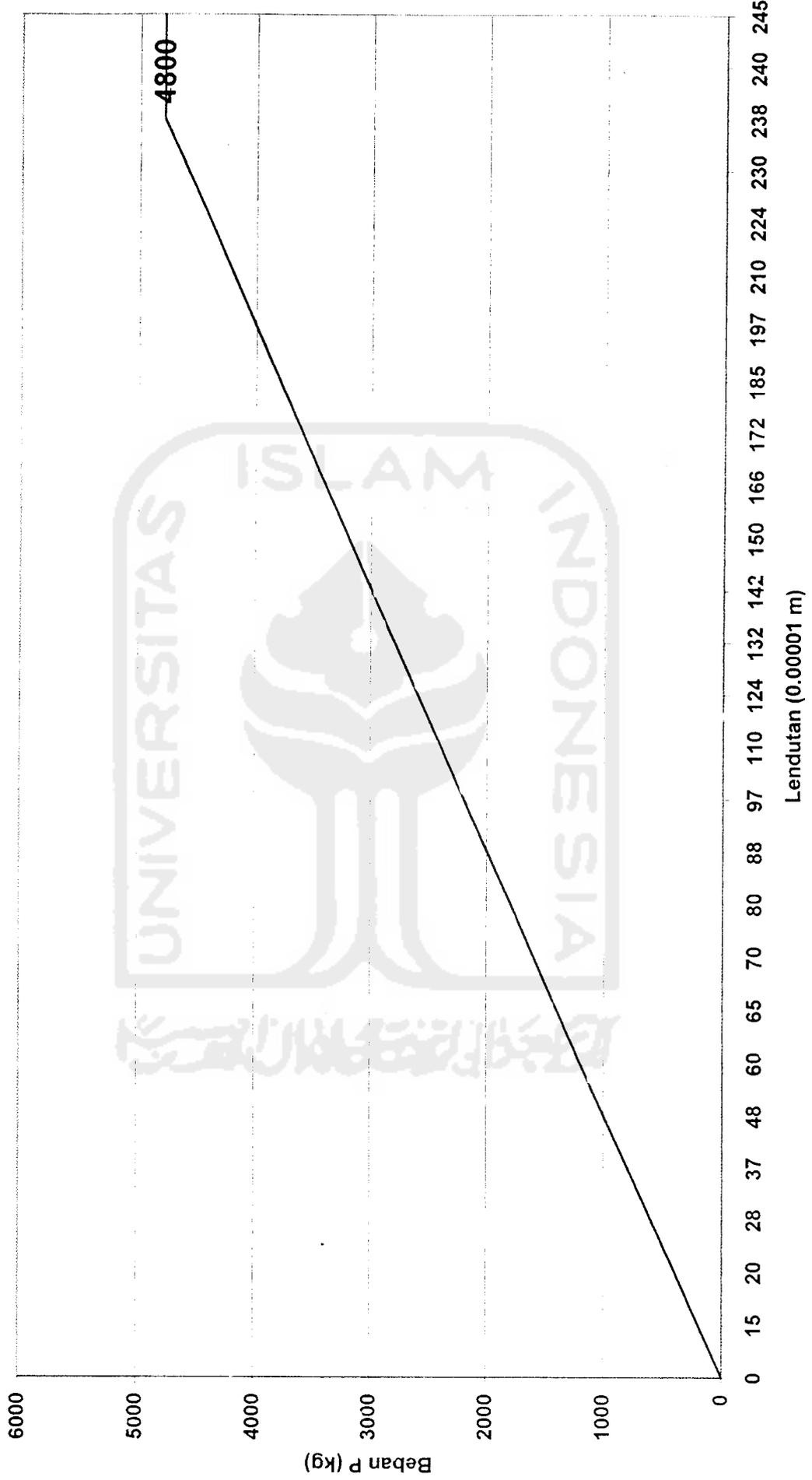
Jenis : Balok 3.2
 Tanggal Uji : 23 November 2001

| Beban P (kg) | Lend-1 (0,00001 m) | Lend-2 (0,00001 m) | Lend-3 (0,00001 m) | Retak |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 200 | 8 | 15 | 10 | |
| 400 | 10 | 20 | 18 | |
| 600 | 15 | 28 | 25 | |
| 800 | 20 | 37 | 36 | |
| 1000 | 25 | 48 | 40 | |
| 1200 | 36 | 60 | 46 | |
| 1400 | 46 | 65 | 55 | |
| 1600 | 52 | 70 | 60 | |
| 1800 | 60 | 80 | 74 | 1 |
| 2000 | 67 | 88 | 80 | 2 |
| 2200 | 76 | 97 | 85 | 3 |
| 2400 | 80 | 110 | 90 | 4 |
| 2600 | 88 | 124 | 96 | |
| 2800 | 94 | 132 | 110 | 5 |
| 3000 | 108 | 142 | 126 | 6 |
| 3200 | 120 | 150 | 135 | 7 |
| 3400 | 132 | 166 | 144 | 8 |
| 3600 | 146 | 172 | 158 | 9 |
| 3800 | 154 | 185 | 165 | 10 |
| 4000 | 165 | 197 | 174 | 11 |
| 4200 | 174 | 210 | 183 | 12 |
| 4400 | 182 | 224 | 196 | 13 |
| 4600 | 198 | 230 | 206 | 14 |
| 4800 | 205 | 238 | 210 | 15 |
| 4800 | 210 | 240 | 216 | |
| 4800 | 215 | 245 | 220 | |

Catatan :

1. Beban belum termasuk landasan 15 kg + 55 kg
2. Beban yang terbaca + point 1
3. $P_{maks} = 4870$ kg

Grafik Uji Lentur Balok 3.2



Perencanaan Campuran Beton

A. Kuat beton yang disyaratkan $f'_c = 20 \text{ MPa}$

- Volume pekerjaan sedang dengan mutu pekerjaan cukup
- Beton didalam ruangan dengan keadaan sekeliling non-korosip
- Jenis struktur balok
- Ukuran maksimum kerikil = 20 .mm
- Berat volume agregat kasar = 1,56 ton / m³
- Berat jenis kerikil = 2,5
- Berat jenis pasir = 2,67
- Modulus halus butir pasir (mhb) = 2,471

□ Perencanaan :

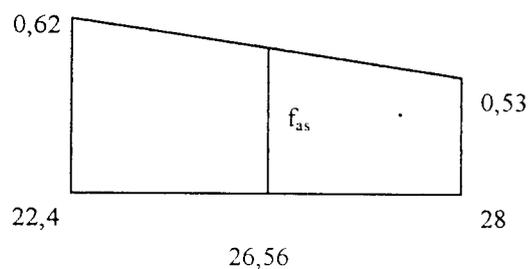
1. Menghitung mutu beton

$$S_d = 4 \text{ MPa}$$

$$m = 1,64 \times S_d = 1,64 \times 4 = 6,56 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr} = f'_c + m = 20 + 6,56 = 26,56 \text{ MPa}$$

2. Menghitung nilai faktor air semen



$$\frac{0,62 - 0,53}{28 - 22,4} = \frac{f_{as} - 0,53}{28 - 26,56}$$

$$f_{as} = 0,553$$

$$f_{as} \text{ maksimum} = 0,60$$

sehingga f_{as} yang digunakan = 0,553

3. Nilai slam

Untuk struktur balok nilai slam = 75 – 150 mm

4. Jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton

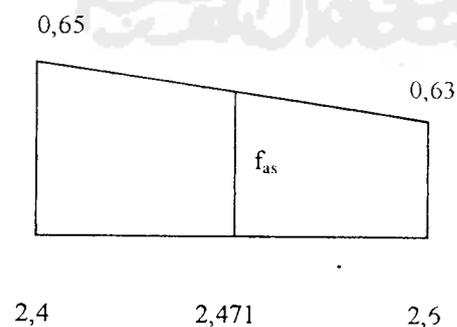
Berdasarkan nilai slam dan ukuran maksimum kerikil 20 mm, maka diperoleh kebutuhan air sebesar 203 lt atau 0,203 m³ dan udara terperangkap 2 %

5. Jumlah semen yang diperlukan per meter kubik beton

$$W_s = \frac{A}{f_{as}} = \frac{0,203}{0,553} = 0,367 \text{ ton} = 367 \text{ kg}$$

6. Menghitung volume kerikil

Berdasarkan ukuran maksimum kerikil 20 mm dan modulus halus butir pasir 2,471, maka diperoleh kebutuhan volume kerikil :



$$\frac{0,65 - 0,63}{2,6 - 2,4} = \frac{x - 0,63}{2,6 - 2,471} \quad x = 0,6429$$

Jadi kebutuhan volume kerikil adalah $0,6429 \text{ m}^3$

Berat volume kerikil = $1,56 \text{ ton} / \text{m}^3$

Berat kerikil, $W_k = 1,56 \times 0,6429 = 1,003 \text{ ton} = 1003 \text{ kg}$

7. Jumlah volume absolut air, semen, kerikil dan udara

$$\begin{aligned} V_a + V_s + V_k + V_u &= 0,203 + \frac{0,367}{3,15} + \frac{1,003}{2,5} + 0,02 \\ &= 0,203 + 0,117 + 0,401 + 0,02 \\ &= 0,741 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume absolut pasir

$$V_p = 1 - 0,741 = 0,259 \text{ m}^3$$

Berat pasir = $0,259 \times 2,67 = 0,692 \text{ ton} = 692 \text{ kg}$

8. Volume pekerjaan

Jadi 1 m^3 beton dengan $f'_c = 20 \text{ MPa}$ memerlukan material sebanyak :

Semen = 367 kg

Pasir = 692 kg

Kerikil = 1003 kg

Air = 203 lt

Tiap pengerjaan adukan beton kebutuhan material ditambah 10 %. Maka kebutuhan material 2 sampel dan 6 silinder (15×30) dibutuhkan material sebanyak :

$$(14 \times 18 \times 200 \times 2) - (0,25 \times \pi \times 15^2 \times 30 \times 6) + 10\% = 0,12729375 \text{ m}^3$$

- Jadi adukan beton untuk 1 m^3 beton dengan $f'_c = 20 \text{ MPa}$ memerlukan :

$$\text{Semen} = 367 \times 0,1325926 = 48,661 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = 692 \times 0,1325926 = 91,754 \text{ kg}$$

$$\text{Kerikil} = 1003 \times 0,1325926 = 132,990 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 203 \times 0,1325926 = 26,916 \text{ lt}$$

B. Kuat beton yang disyaratkan $f'_c = 25 \text{ MPa}$

- Volume pekerjaan sedang dengan mutu pekerjaan cukup
- Beton didalam ruangan dengan keadaan sekeliling non-korosip
- Jenis struktur balok
- Ukuran maksimum kerikil = 20 mm
- Berat volume agregat kasar = $1,56 \text{ ton} / \text{m}^3$
- Berat jenis kerikil = 2,5
- Berat jenis pasir = 2,67
- Modulus halus butir pasir (mhb) = 2,471

- Perencanaan :

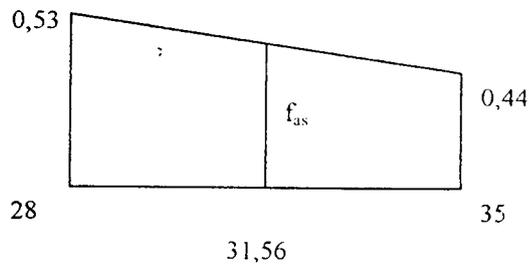
1. Menghitung mutu beton

$$S_d = 4 \text{ MPa}$$

$$m = 1,64 \times S_d = 1,64 \times 4 = 6,56 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr} = f'_c + m = 25 + 6,56 = 31,56 \text{ MPa}$$

2. Menghitung nilai faktor air semen



$$\frac{0,53 - 0,44}{35 - 28} = \frac{f'_{cv} - 0,44}{35 - 31,56}$$

$$f_{as} = 0,484$$

$$f_{as} \text{ maksimum} = 0,60$$

sehingga f_{as} yang digunakan = 0,484

3. Nilai slam

Untuk struktur balok nilai slam = 75 – 150 mm

4. Jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton

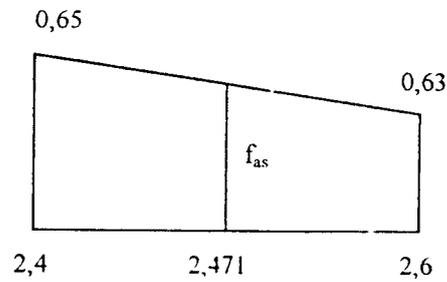
Berdasarkan nilai slam dan ukuran maksimum kerikil 20 mm, maka diperoleh kebutuhan air sebesar 203 lt atau 0,203 m³ dan udara terperangkap 2 %

5. Jumlah semen yang diperlukan per meter kubik beton

$$W_s = \frac{A}{f_{as}} = \frac{0,203}{0,484} = 0,419 \text{ ton} = 419 \text{ kg}$$

6. Menghitung volume kerikil

Berdasarkan ukuran maksimum kerikil 20 mm dan modulus halus butir pasir 2,471, maka diperoleh kebutuhan volume kerikil :



$$\frac{0,65 - 0,63}{2,6 - 2,4} = \frac{x - 0,63}{2,6 - 2,471} \quad x = 0,6429$$

Jadi kebutuhan volume kerikil adalah $0,6429 \text{ m}^3$

Berat volume kerikil = $1,56 \text{ ton} / \text{m}^3$

Berat kerikil, $W_k = 1,56 \times 0,6429 = 1,003 \text{ ton} = 1003 \text{ kg}$

7. Jumlah volume absolut air, semen, kerikil dan udara

$$\begin{aligned} V_a + V_s + V_k + V_u &= 0,203 + \frac{0,419}{3,15} + \frac{1,003}{2,5} + 0,02 \\ &= 0,203 + 0,133 + 0,401 + 0,02 \\ &= 0,757 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume absolut pasir

$$V_p = 1 - 0,757 = 0,243 \text{ m}^3$$

Berat pasir = $0,243 \times 2,67 = 0,648 \text{ ton} = 648 \text{ kg}$

8. Volume pekerjaan

Jadi 1 m³ beton dengan $f'_c = 25$ MPa memerlukan material sebanyak :

Semen = 419 kg

Pasir = 648 kg

Kerikil = 1003 kg

Air = 203 lt

Tiap pengerjaan adukan beton kebutuhan material ditambah 10 %. Maka kebutuhan material 2 sampel dan 6 silinder (15 x 30) dibutuhkan material sebanyak :

$$(14 \times 18 \times 200 \times 2) - (0,25 \times \pi \times 15^2 \times 30 \times 6) + 10\% = 0,12729375 \text{ m}^3$$

□ Jadi adukan beton untuk 1 m³ beton dengan $f'_c = 25$ MPa memerlukan :

Semen = 419 x 0,1325926 = 55,556 kg

Pasir = 648 x 0,1325926 = 85,920 kg

Kerikil = 1003 x 0,1325926 = 132,990 kg

Air = 203 x 0,1325926 = 26,916 lt

C. Kuat beton yang disyaratkan $f'_c = 30$ MPa

- Volume pekerjaan sedang dengan mutu pekerjaan cukup
- Beton didalam ruangan dengan keadaan sekeliling non-korosip
- Jenis struktur balok
- Ukuran maksimum kerikil = 20 mm
- Berat volume agregat kasar = 1,56 ton / m³

- Berat jenis kerikil = 2,5
- Berat jenis pasir = 2,67
- Modulus halus butir pasir (mhb) = 2,471

□ Perencanaan :

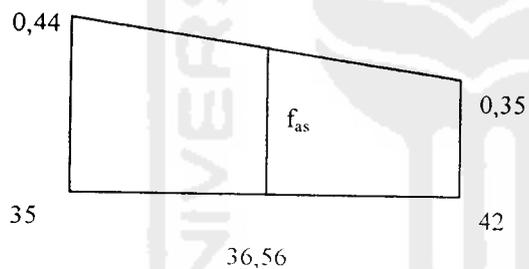
1. Menghitung mutu beton

$$S_d = 4 \text{ MPa}$$

$$m = 1,64 \times S_d = 1,64 \times 4 = 6,56 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr} = f'_c + m = 30 + 6,56 = 36,56 \text{ MPa}$$

2. Menghitung nilai faktor air semen



$$\frac{0,44 - 0,35}{42 - 35} = \frac{f_{as} - 0,35}{42 - 36,56}$$

$$f_{as} = 0,419$$

$$f_{as} \text{ maksimum} = 0,60$$

sehingga f_{as} yang digunakan = 0,419

3. Nilai slam

Untuk struktur balok nilai slam = 75 – 150 mm

4. Jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton

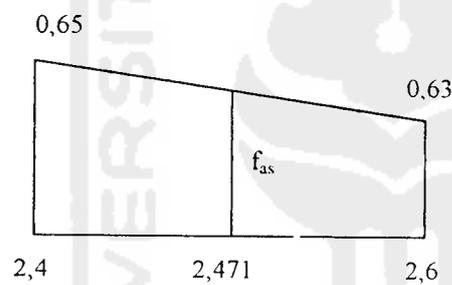
Berdasarkan nilai w_{slam} dan ukuran maksimum kerikil 20 mm, maka diperoleh kebutuhan air sebesar 203 lt atau $0,203 \text{ m}^3$ dan udara terperangkap 2 %

5. Jumlah semen yang diperlukan per meter kubik beton

$$W_s = \frac{A}{f_{as}} = \frac{0,203}{0,419} = 0,484 \text{ ton} = 484 \text{ kg}$$

6. Menghitung volume kerikil

Berdasarkan ukuran maksimum kerikil 20 mm dan modulus halus butir pasir 2,471, maka diperoleh kebutuhan volume kerikil :



$$\frac{0,65 - 0,63}{2,6 - 2,4} = \frac{x - 0,63}{2,6 - 2,471} \quad x = 0,6429$$

Jadi kebutuhan volume kerikil adalah $0,6429 \text{ m}^3$

Berat volume kerikil = $1,56 \text{ ton} / \text{m}^3$

Berat kerikil, $W_k = 1,56 \times 0,6429 = 1,003 \text{ ton} = 1003 \text{ kg}$

7. Jumlah volume absolut air, semen, kerikil dan udara

$$\begin{aligned} V_a + V_s + V_k + V_u &= 0,203 + \frac{0,484}{3,15} + \frac{1,003}{2,5} + 0,02 \\ &= 0,203 + 0,153 + 0,401 + 0,02 \\ &= 0,777 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume absolut pasir

$$V_p = 1 - 0,777 = 0,223 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat pasir} = 0,223 \times 2,67 = 0,593 \text{ ton} = 593 \text{ kg}$$

8. Volume pekerjaan

Jadi 1 m³ beton dengan $f'_c = 30 \text{ MPa}$ memerlukan material sebanyak :

Semen = 484 kg

Pasir = 593 kg

Kerikil = 1003 kg

Air = 203 lt

Tiap pengerjaan adukan beton kebutuhan material ditambah 10 %. Maka kebutuhan material 2 sampel dan 6 silinder (15 x 30) dibutuhkan material sebanyak :

$$(14 \times 18 \times 200 \times 2) - (0,25 \times \pi \times 15^2 \times 30 \times 6) + 10\% = 0,12729375 \text{ m}^3$$

- Jadi adukan beton untuk 1 m^3 beton dengan $f'_c = 30 \text{ MPa}$ memerlukan:

Semen = $484 \times 0,1325926 = 64.175 \text{ kg}$

Pasir = $593 \times 0,1325926 = 78,627 \text{ kg}$

Kerikil = $1003 \times 0,1325926 = 132,990 \text{ kg}$

Air = $203 \times 0,1325926 = 26,916 \text{ lt}$

