

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS LENTUR DAN GESER PADA
BALOK BETON BERTULANG MUTU TINGGI**

Disusun oleh :

DWI PUJI UTAMI
No. Mhs : 92310178
NIRM : 920051013114120178

LENNY WINNASNY S.
No. Mhs : 92310294
NIRM : 920051013114120294

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. H. Moch. Teguh, MSCE

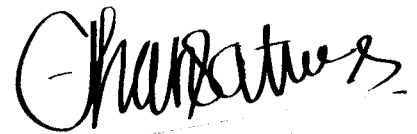
Dosen Pembimbing I



Tanggal : 6-11-1998

Ir. Suharyatmo, MT

Dosen Pembimbing II



Tanggal 5-11-'98

....., ALLAH MENINGGIKAN ORANG-ORANG YANG BERIMAN
DIANTARA KAMU DAN ORANG-ORANG YANG DIBERI ILMU
PENGETAHUAN, BEBERAPA DERAJAT.....
(Q.S. AL.MUJAADILAH : 1)

..... KATAKANLAH : " ADAKAH SAMA ORANG-ORANG YANG
MENGETAHUI DENGAN ORANG-ORANG YANG TIDAK
MENGETAHUI ? SESUNGGUHNYA ORANG YANG BERAKALLAH
YANG DAPAT MENERIMA PELAJARAN
(Q.S. AZ. ZUMAR : 9)

AKAL DAN BELAJAR ITU SEPERTI JIWA DAN RAGA
TANPA RAGA, JIWA HANYALAH UDARA HAMPA
TANPA JIWA, RAGA ADALAH KERANGKA TANPA MAKNA
(KHALIL GIBRAN)

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini, kami persembahkan setulus hati kepada :
kedua orang tua kami tercinta, atas semua do'a, dorongan semangat
dan segala yang telah diberikan selama ini.

PRAKATA

Bismillaahirrohmaanirrohim,

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi hidayah, karunia dan nikmat tak terhingga, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas Akhir ini diwajibkan bagi mahasiswa, untuk melengkapi persyaratan guna mencapai derajat sarjana Strata Satu, sesuai dengan kurikulum di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Pada kesempatan ini tidak lupa diucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah turut membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini, terutama kepada

1. Bapak Ir. H. Mochammad Teguh, MSCE, selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Ir. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing II,
3. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
4. Bapak Ir. H.Tadjuddin, MBA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil,
5. Para Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
6. Orang tua dan keluarga kami tercinta, yang telah memberikan dorongan material maupun spiritual,
7. Teman-teman yang telah membantu dan memberikan masukan pada penulisan Tugas Akhir ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada kami dapat menjadi amal soleh dan dibalas dengan pahala yang berlipat ganda oleh Allah SWT.

Disadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan ilmu serta kemampuan yang kami miliki. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan, demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna khususnya bagi penulis pribadi dan pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Oktober 1998

Puji / Lenny

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR MOTTO	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR GRAFIK	x
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Manfaat	3
1.4 Ruang Lingkup dan Batasan	3
1.5 Metodologi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Perilaku Lentur pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi	7

2.3 Tegangan Geser pada Komponen Struktur Balok Beton Bertulang	
Mutu Tinggi	10
2.4 Beberapa Jenis Retak pada Balok	12
BAB III ANALISIS BALOK BETON BERTULANG MUTU TINGGI	15
3.1 Umum	15
3.2 Analisis Lentur	17
3.3 Analisis Geser	25
BAB IV DESAIN BALOK BETON BERTULANG MUTU TINGGI	30
4.1 Data dan Asumsi Desain	30
4.2 Kekuatan Lentur	32
4.3 Kekuatan Geser	41
BAB V PEMBAHASAN	50
5.1 Hasil Desain	50
5.2 Pembahasan	60
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	63
6.1 Kesimpulan	63
6.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Balok.....	5
Gambar 2.2 Diagram momen lentur.....	6
Gambar 2.3 Diagram <i>free body</i> yang menunjukkan momen internal dan gaya geser...	6
Gambar 2.4 Pembebanan dan penampang balok	8
Gambar 2.5 Tegangan-regangan penampang sebelum retak	8
Gambar 2.6 Distribusi retak-tarik	8
Gambar 2.7 Tegangan -regangan setelah terjadi retak	8
Gambar 2.8 Kerusakan tipikal akibat tarik diagonal	12
Gambar 2.9 Jenis retak pada balok beton bertulang	13
Gambar 3.1 Kurva tegangan-regangan	16
Gambar 3.2 Distribusi tegangan dan regangan internal beton bertulang	18
Gambar 3.3 Distribusi tegangan dan regangan pada balok bertulangan rangkap	25
Gambar 3.4 Geser ditahan oleh sengkang vertikal	28
Gambar 3.5 Sengkang maximum	28
Gambar 4.1 Balok sederhana	34

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 5.1 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 400$ mm, dan Panjang Bentangan 9 m	51
Grafik 5.2 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 400$ mm, dan Panjang Bentangan 9 m	51
Grafik 5.3 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 400$ mm, dan Panjang Bentangan 9 m	52
Grafik 5.4 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 450$ mm, dan Panjang Bentangan 9 m	52
Grafik 5.5 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 450$ mm, dan Panjang Bentangan 9 m	52
Grafik 5.6 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 450$ mm, dan Panjang Bentangan 9 m	53
Grafik 5.7 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 500$ mm, dan Panjang Bentangan 9 m	53
Grafik 5.8 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 500$ mm, dan Panjang Bentangan 9 m	53
Grafik 5.9 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 500$ mm, dan Panjang Bentangan 9 m	54
Grafik 5.10 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 400$ mm, dan Panjang Bentangan 12 m	54
Grafik 5.11 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 400$ mm, dan Panjang Bentangan 12 m	54
Grafik 5.12 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 400$ mm, dan Panjang Bentangan 12 m	55
Grafik 5.13 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 450$ mm, dan Panjang Bentangan 12 m.....	55

Grafik 5.14 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 350$ MPa , $b = 450$ mm, dan Panjang Bentangan 12 m	55
Grafik 5.15 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 400$ MPa , $b = 450$ mm, dan Panjang Bentangan 12 m	56
Grafik 5.16 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 300$ MPa , $b = 500$ mm, dan Panjang Bentangan 12 m	56
Grafik 5.17 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 350$ MPa , $b = 500$ mm, dan Panjang Bentangan 12 m	56
Grafik 5.18 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 400$ MPa , $b = 500$ mm, dan Panjang Bentangan 12 m	57
Grafik 5.19 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 300$ MPa , $b = 400$ mm, dan Panjang Bentangan 15 m	57
Grafik 5.20 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 350$ MPa , $b = 400$ mm, dan Panjang Bentangan 15 m	57
Grafik 5.21 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 400$ MPa , $b = 400$ mm, dan Panjang Bentangan 15 m	58
Grafik 5.22 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 300$ MPa , $b = 450$ mm, dan Panjang Bentangan 15 m	58
Grafik 5.23 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 350$ MPa , $b = 450$ mm, dan Panjang Bentangan 15 m	58
Grafik 5.24 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 400$ MPa , $b = 450$ mm, dan Panjang Bentangan 15 m	59
Grafik 5.25 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 300$ MPa , $b = 500$ mm, dan Panjang Bentangan 15 m	59
Grafik 5.26 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 350$ MPa , $b = 500$ mm, dan Panjang Bentangan 15 m	59
Grafik 5.27 Hubungan antara Luas Tulangan dan Tinggi Penampang untuk $f_y = 400$ MPa , $b = 500$ mm, dan Panjang Bentangan 15 m	60

DAFTAR NOTASI

ϕ	Faktor reduksi kekuatan.
α_1	Intensitas tegangan pada blok tegangan.
β_1	Nilai rasio tinggi blok tegangan terhadap sumbu netral.
ε	Regangan.
ε_c'	Regangan beton di daerah tekan.
ε_s	Regangan baja tulangan tarik.
ε_y	Regangan leleh baja tulangan.
ρ	Rasio luas tulangan terhadap luas penampang beton.
ρ_b	Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang.
ρ_{\min}	Rasio tulangan minimum.
ρ_{\max}	Rasio tulangan maksimum.
\emptyset	Diameter tulangan polos, mm.
a	Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen, mm.
A_s	Luas tulangan tarik longitudinal, mm ² .
A_s'	Luas tulangan tekan longitudinal, mm ² .
A_v	Luas tulangan sengkang, mm ² .
b	Luas penampang melintang, mm.
c	Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral, mm.
C	Gaya tekan beton, N.
d	Tinggi efektif penampang, diukur dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm.
d_s	Jarak dari serat tarik terluar ke pusat tulangan tarik, mm.
d'	Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan, mm.
E_c	Modulus elastisitas beton, MPa.
E_s	Modulus elastisitas baja, MPa.
f	Tegangan, MPa.

f_c'	Kuat tekan beton silinder, MPa .
f_s	Tegangan tarik baja tulangan, MPa .
f_y	Tegangan leleh baja tulangan, MPa .
h	Tinggi total penampang, mm.
I	Momen inersia, mm ⁴ .
k	Koefisien tahanan momen.
L	Panjang bentangan balok, mm.
M	Momen lentur, Nm.
M_n	Momen lentur nominal, Nm.
M_u	Momen lentur ultimit, Nm.
P	Gaya terpusat, N.
s	Jarak sengkang, mm.
T	Gaya tarik beton atau baja tulangan, N.
V	Geser tahanan internal, N.
V_c	Kekuatan geser yang diberikan oleh beton, N.
V_n	Kekuatan geser nominal, N.
V_s	Kekuatan geser akibat penulangan geser, N.
V_u	Gaya geser berfaktor, N.
W_c	Berat isi beton, kg/m ³ .
W_D	Beban mati, N/m.
W_O	Beban akibat berat sendiri, N/m.
W_L	Beban hidup, N/m.
W_U	Beban ultimit berfaktor, N/m.

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 : Tabel 1.a Hasil perhitungan desain lentur pada balok panjang bentangan 9 m	68
Lampiran 2 : Tabel 1.b Hasil perhitungan desain lentur pada balok panjang bentangan 9 m	69
Lampiran 3 : Tabel 1.c Hasil perhitungan desain lentur pada balok panjang bentangan 9 m	70
Lampiran 4 : Tabel 2.a Hasil perhitungan desain lentur pada balok panjang bentangan 12 m	71
Lampiran 5 : Tabel 2.b Hasil perhitungan desain lentur pada balok panjang bentangan 12 m.....	72
Lampiran 6 : Tabel 2.c Hasil perhitungan desain lentur pada balok panjang bentangan 12 m.....	73
Lampiran 7 : Tabel 3.a Hasil perhitungan desain lentur pada balok panjang bentangan 15 m.....	74
Lampiran 8 : Tabel 3.b Hasil perhitungan desain lentur pada balok panjang bentangan 15 m.....	75
Lampiran 9 : Tabel 3.c Hasil perhitungan desain lentur pada balok panjang bentangan 15 m.....	76
Lampiran 10 : Tabel 4.a Hasil perhitungan desain geser pada balok panjang bentangan 9 m.....	77
Lampiran 11 : Tabel 4.b Hasil perhitungan desain geser pada balok panjang bentangan 9 m	78
Lampiran 12 : Tabel 4.c Hasil perhitungan desain geser pada balok panjang bentangan 9 m.....	79
Lampiran 13 : Tabel 5.a Hasil perhitungan desain geser pada balok panjang bentangan 12 m.....	80

Lampiran 14 : Tabel 5.b Hasil perhitungan desain geser pada balok panjang bentangan 12m.....	81
Lampiran 15 : Tabel 5.c Hasil perhitungan desain geser pada balok panjang bentangan 12 m.....	82
Lampiran 16 : Tabel 6.a Hasil perhitungan desain geser pada balok panjang bentangan 15 m.....	83
Lampiran 17 : Tabel 6.b Hasil perhitungan desain geser pada balok panjang bentangan 15 m.....	84
Lampiran 18: Tabel 6.c Hasil perhitungan desain geser pada balok panjang bentangan 15 m.....	85

ABSTRAK

Adanya perbedaan perilaku lentur dan geser pada beton mutu tinggi terhadap beton normal, menyebabkan rumus-rumus lentur-geser yang digunakan dalam perencanaan balok beton bertulang mutu tinggi mempunyai perbedaan dengan beton biasa. Namun beberapa perumusan pada beton normal tersebut masih sesuai untuk beton mutu tinggi. Hal ini dikarenakan nilai batas regangan beton dengan kekuatan tekan 28 MPa -83 MPa, masih berlaku 0,003 sebagaimana yang ditetapkan oleh ACI 1989. Perbedaan rumus pada beton mutu tinggi hanya terdapat pada nilai α_1 , β_1 , dan untuk kuat tekan beton diatas 69 MPa ada perbedaan juga pada rumus jarak sengkang di daerah minimum. Perumusan untuk beton mutu tinggi ini masih belum dibahas secara mendalam di SK-SNI dan ACI, karena itu untuk mengetahui sejauh mana keefektifan rumus lentur dan geser pada balok beton bertulang dapat digunakan sebagai konsep desain, dilakukan analisis rumus-rumus tersebut terhadap penggunaannya pada struktur. Dalam tugas akhir ini disajikan desain beberapa balok sederhana dengan kuat tekan 40-80 MPa. Dari hasil perhitungan dan analisis dengan variasi kuat tekan tersebut, didapatkan bahwa dengan menggunakan beton mutu tinggi pada struktur balok sederhana, maka dimensi penampang yang digunakan dapat lebih kecil, dan memperkecil luas tulangan yang dibutuhkan, serta mutu baja yang digunakan dapat menjadi lebih rendah. Dengan demikian perumusan lentur dan geser yang ada untuk beton mutu tinggi efektif digunakan untuk balok, terutama balok-balok dengan bentangan yang panjang. Tetapi dengan kuat tekan yang semakin tinggi, maka beton akan semakin getas untuk mengatasinya diperlukan tulangan geser yang lebih rapat. Karena itu digunakan rumusan baru pada jarak tulang geser untuk beton mutu tinggi tersebut.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu jenis material bangunan yang paling banyak digunakan untuk struktur dalam bangunan teknik sipil adalah beton (seperti gedung, jalan, jembatan dan lain-lain). Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju, diupayakan berbagai cara untuk dapat meningkatkan sifat-sifat mekanis beton, antara lain *workability*, *placebility*, *strength*, *durability*, *permeability*, *corrosivity* dan lain-lain. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan suatu beton yang berkekuatan tinggi dengan koefisien susut dan rangkai yang lebih kecil dan mempunyai ketegaran retak yang lebih tinggi dibandingkan beton biasa. Parameter kekuatan beton dinyatakan dengan kekuatan karakteristik tekannya dan beton dikatakan sebagai beton mutu tinggi jika mempunyai kekuatan tekan lebih tinggi dari 40 MPa atau 6000 psi (Nilson, A.H., 1985).

Untuk meningkatkan mutu beton tersebut, selain dengan meningkatkan mutu material pembentuknya, seperti kekerasan agregatnya, ukuran maksimum agregat kasar yang lebih kecil ($\varnothing \leq 20$ mm) dan kehalusan butir semennya, adalah dengan menggunakan *admixtures*, seperti *superplasticizer (chemical admixtures)*, *fly ash* dan *silica fume (mineral admixtures)*; yang apabila dikombinasikan akan menghasilkan kekuatan tekan beton yang tinggi (4th International Symposium on Utilization of High

Strength Concrete/High Performance Concrete, Paris, 1996). Penambahan *superplasticizer* tersebut ke dalam adukan beton berguna untuk mengurangi penggunaan air, sehingga menghasilkan rasio air-semen yang rendah. Untuk beton biasa, rasio air-semen berkisar antara 40% sampai 60% dari berat adukan, sedangkan untuk beton mutu tinggi rasio air-semen dapat menjadi lebih rendah, yaitu sekitar 25% dari berat adukan. Adapun penggunaan *fly ash* dan *silica fume* berguna untuk memperbaiki tingkat kemudahan pengerjaan beton dan meningkatkan daya ikat. Selain itu, untuk mempertinggi mutu beton diperlukan kontrol kualitas yang sangat hati-hati selama proses produksi.

Dewasa ini kebutuhan akan beton mutu tinggi dalam dunia konstruksi semakin meningkat. Penggunaan beton mutu tinggi ini telah banyak dipakai di negara Kanada, Amerika Serikat, Perancis, Inggris, Italia, Cina, Jepang dan negara-negara lain. Aplikasi-aplikasi beton mutu tinggi ini adalah antara lain :

1. struktur kolom pada bangunan tingkat tinggi,
2. struktur jembatan dengan bentang besar,
3. struktur di daerah lepas pantai,
4. slab-slab pada industri berat.

Di Indonesia sendiri, penyelidikan-penyelidikan yang berkenaan dengan beton mutu tinggi ini masih terus dilakukan. Penelitian terhadap perilaku dan bahan pembuatan *mix design* didasarkan pada ketersediaan bahan pembentuknya yang ada di Indonesia dan kemudahan pemakaiannya di lapangan.

Banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui sejauh mana ketentuan pada beton normal dapat digunakan untuk beton mutu tinggi. Dalam perencanaan elemen

struktur yang menggunakan beton mutu tinggi terdapat perbedaan perilaku lentur dan geser dibanding beton biasa. Karena itu, beberapa ketentuan-ketentuan dalam perencanaannya juga berbeda. Peraturan-peraturan beton baik SK-SNI maupun ACI belum membahas secara mendalam ketentuan-ketentuan lentur dan geser pada perencanaan balok beton bertulang mutu tinggi. Atas dasar tersebut, maka dianalisis lentur dan geser pada balok beton bertulang mutu tinggi yang diakibatkan bekerjanya beban-beban luar.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kemampuan balok beton bertulang mutu tinggi dalam menerima lentur dan geser, sehingga dapat dipahami secara benar konsep desain lentur dan geser pada balok beton bertulang mutu tinggi.

1.3 Manfaat

Dengan mengetahui formulasi yang tepat dari beton mutu tinggi, akan bermanfaat untuk mendesain bangunan tingkat tinggi dalam menahan beban statis dan dinamis yang bekerja pada bangunan tersebut.

1.4 Ruang Lingkup dan Batasan

Batasan-batasan yang dipakai dalam Tugas Akhir ini antara lain :

1. standar yang digunakan adalah SK-SNI T-15-1991-03 dan *ACI Building Code*,
2. balok yang dianalisa adalah balok beton bertulang dengan penampang empat persegi panjang, dengan lebar balok (b) = 400 mm, 450 mm, dan 500 mm,
3. mutu baja yang digunakan $f_y = 300$ Mpa, 350 Mpa, dan 400 Mpa,
4. panjang bentang balok $L = 9$ m, 12 m, dan 15 m,

5. beton yang digunakan adalah beton mutu tinggi dengan $f_c' \geq 40$ Mpa (6000 psi),
6. perhitungan didasarkan pada balok sederhana (*simple beam*),
7. analisis didasarkan pada *Ultimit Strength Design Method*.

1.5 Metodologi

Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dengan studi literatur yang dihubungkan dengan hasil beberapa penelitian tentang beton mutu tinggi. Materi-materi dalam analisis ini diperoleh dari berbagai literatur, buku ilmiah, jurnal teknik, laporan hasil riset dan makalah-makalah seminar.

Literatur-literatur itu kemudian dipelajari dan dipahami sehingga diperoleh pemahaman dan pengertian tentang lentur dan geser pada balok beton mutu tinggi, serta diketahui permasalahan dan kendala dalam mendesain balok beton mutu tinggi.

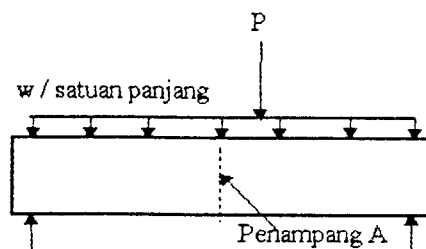
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

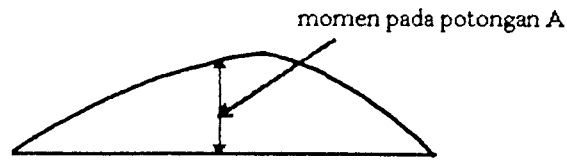
2.1 Tinjauan Umum

Balok adalah elemen struktur yang mendukung beban luar dan berat sendiri, terutama oleh momen dan geser internal (MacGregor, J.G., 1997). Gambar 2.1 menunjukkan *simple beam* yang mendukung berat sendiri balok, w merupakan beban terbagi merata per satuan panjang, dan beban berguna, P .

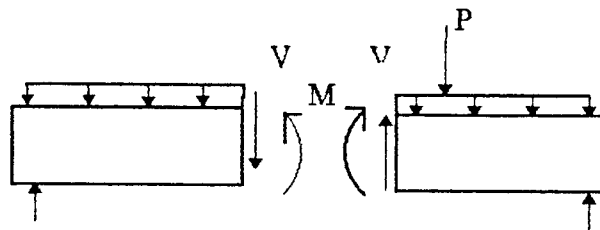
Akibat beban w dan P , menimbulkan momen lentur seperti pada gambar 2.2. Momen lentur diakibatkan pengaruh beban yang diturunkan berdasarkan hukum pembebanan statis. Untuk balok terdukung sederhana dengan bentangan tertentu dan suatu unit pembebanan, w dan P , maka momen yang terjadi akan tergantung pada komposisi dan ukuran penampang balok.



Gambar 2.1 Balok



Gambar 2.2 Diagram momen lentur



Gambar 2.3 Diagram *free body* yang menunjukkan momen internal dan gaya geser

Pada penampang balok, terdapat momen tahanan internal M seperti ditunjukkan dalam gambar 2.3, diperlukan untuk keseimbangan momen lentur yang terjadi. Geser tahanan internal V , ditunjukkan dalam gambar tersebut (MacGregor, J.G., 1997).

Balok beton bertulang merupakan balok nonhomogen, karena terdiri dari dua material yang berbeda. Metode yang digunakan dalam menganalisis balok-balok beton bertulang juga berbeda dengan analisis balok yang disusun dari bahan yang sama (homogen). Namun bagaimanapun prinsip dasar perhitungannya adalah sama. Pada setiap penampang melintang balok terdapat gaya internal yang dapat berubah menjadi komponen normal dan tangensial terhadap penampang balok. Komponen normal terhadap penampang disebut *bending stresses* (ditinjau dari sumbu netral balok mengalami tarik pada satu bagian dan tekan pada bagian yang lain). Fungsinya adalah untuk menahan momen lentur pada penampang balok. Sedangkan komponen tangensial

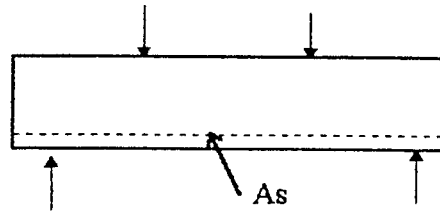
untuk menahan momen lentur pada penampang balok. Sedangkan komponen tangential yang dikenal sebagai *shear stresses* berfungsi untuk menahan gaya geser atau gaya melintang.

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami ratak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberikan perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem. Untuk keperluan penulangan tersebut digunakan bahan baja yang memiliki sifat teknis menguntungkan, dan baja tulangan yang digunakan dapat berupa batangan baja ataupun kawat rangkaian las (*wire mesh*) yang berupa batang kawat baja yang dirangkai (dianyam) dengan teknik pengelasan.

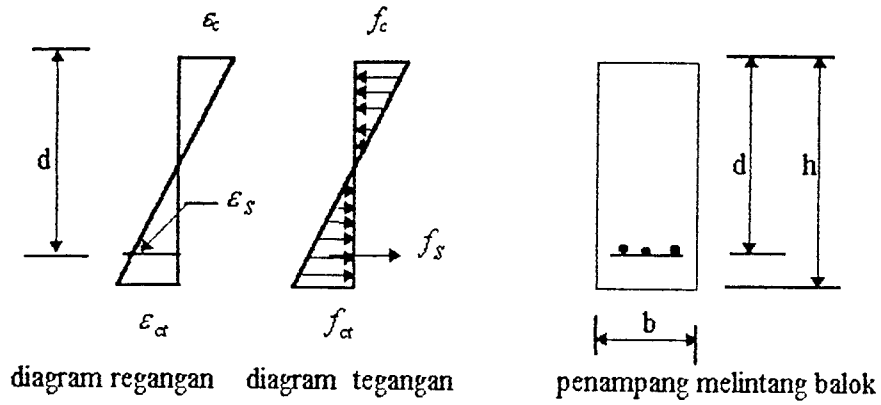
Balok dengan mutu tinggi lebih cenderung untuk mengalami keruntuhan lelah daripada balok biasa. Kelakuan dari balok-balok beton bertulang secara tidak langsung dipengaruhi oleh kekuatan beton itu sendiri, karena kemampuan untuk menahan tekan sangat mempengaruhi kuat lentur balok. Karenanya beton mutu tinggi mempunyai peranan yang penting dalam kelakuan lentur balok yang ditinjau terhadap kekakuan, kekuatan dan daktilitas balok (Nilson, A.H. dalam Russell, H.G-Editor., 1985).

2.2 Perilaku Lentur pada Komponen Balok Beton Bertulang

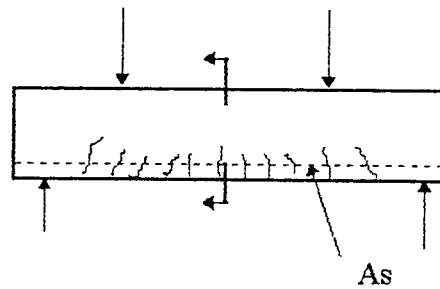
Beban-beban yang bekerja pada struktur seperti diperlihatkan pada gambar 2.4, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (dapat berarah horisontal), atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur.



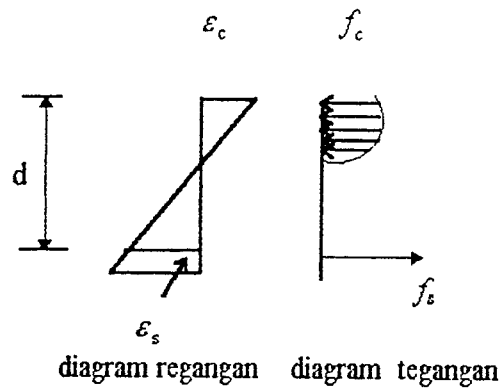
Gambar 2.4 Pembebanan dan penampang balok



Gambar 2.5 Tegangan-regangan penampang sebelum retak



Gambar 2.6 Distribusi retak-tarik



Gambar 2.7 Tegangan-regangan setelah terjadi retak

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena beban luar. Pada gambar 2.5 diperlihatkan tegangan dan regangan penampang balok sebelum terjadinya retak akibat beban luar tersebut.

Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur disepanjang bentang balok seperti terlihat pada gambar 2.6. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luar mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Karena itulah perencana harus mendesain penampang elemen balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban bekerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan. Apabila suatu gelegar balok sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah dari penampang. Regangan-regangan tersebut menyebabkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan disebelah atas dan tegangan tarik di bagian bawah, seperti terlihat pada gambar 2.7. Agar stabilitasnya terjamin, batang balok sebagai bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat untuk menahan tegangan tekan dan tarik tersebut. Karena beton hanya dapat menahan tekan, maka pada daerah dimana tegangan tarik bekerja diperkuat dengan batang tulangan baja.

Dalam mendesain atau menganalisis balok dengan mutu tinggi, peraturan ACI memperbolehkan untuk menggunakan distribusi tegangan persegi empat, parabola, atau

bentuk-bentuk yang lain, selama kekuatannya berada dalam batasan yang sesuai dengan hasil-hasil percobaan tekan. Namun bagaimanapun, adalah lebih tepat untuk menggunakan distribusi tegangan tekan persegi empat ekuivalen. Berdasarkan data-data yang ada saat ini, tampak bahwa untuk balok-balok bertulangan kurang (*under-reinforced*), beberapa metode ACI yang ada sekarang dapat digunakan untuk beton dengan kuat tekan sampai 103 MPa atau 15.000 psi (Nilson, A.H. dalam Russell, H.G.-Editor, 1985).

2.3 Tegangan Geser pada Komponen Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi

Dalam desain struktur beton bertulang, lentur selalu menjadi pertimbangan pertama untuk menentukan momen perlawanan bersyarat yang dapat digunakan untuk memastikan jika akan terjadi keruntuhan dapat memberikan peringatan kepada penghuninya. Pada saat yang sama, balok juga menahan gaya geser akibat lenturan. Sifat keruntuhan akibat gaya geser pada suatu elemen struktur beton bertulang adalah getas (*brittle*), tidak daktil, dan keruntuhannya terjadi secara tiba-tiba tanpa ada peringatan. Hal tersebut disebabkan kekuatan geser struktur beton bertulang terutama tergantung pada kekuatan tarik dan tekan beton. Keadaan ini sangat berbeda dengan tujuan perencanaan yang selalu menginginkan suatu struktur yang daktil. Karena kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya, maka desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton. Dengan demikian, meskipun prediksi keruntuhan geser cukup sulit, seorang perencana harus berupaya agar jenis keruntuhan geser tidak terjadi. Untuk komponen struktur beton bertulang, apabila gaya geser yang bekerja sedemikian besar hingga diluar kemampuan beton untuk menahannya, perlu dipasang baja tulangan tambahan untuk menahan geser tersebut.

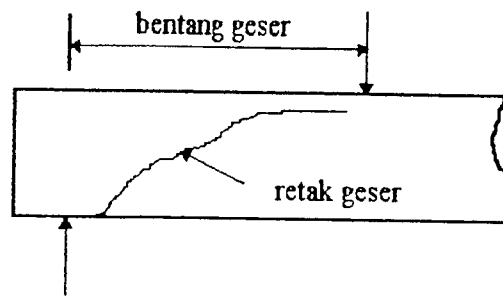
Pada balok beton bertulangan lentur arah memanjang, tulangan baja sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Sementara itu, apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat seiring dengan beban. Sedangkan tulangan baja yang diperuntukkan menahan tarik dalam balok letaknya tidak berada pada tempat timbulnya tegangan tarik diagonal. Untuk itu diperlukan tulangan sengkang untuk menahan tegangan tarik diagonal tersebut di tempat-tempat yang dibutuhkan.

Dengan demikian penulangan geser mempunyai empat fungsi utama (Nawy, 1990) sebagai berikut :

1. memikul sebagian gaya geser luar rencana V_u ,
2. mencegah penjaralan retak diagonal sehingga tidak menerus ke bagian tekan beton,
3. memegang dan mengikat tulangan memanjang pada posisinya sehingga tulangan memanjang ini mempunyai kapasitas yang baik untuk memikul lentur,
4. memberikan semacam ikatan pada daerah beton yang tertekan apabila sengkang ini berupa sengkang tertutup.

2.4 Beberapa Jenis Retak pada Balok

Tegangan tarik dengan variasi besar dan kemiringan, baik sebagai akibat geser saja maupun gabungan dengan lentur, akan timbul disetiap tempat disepanjang balok, yang harus diperhitungkan pada analisis dan perencanaan. Pada balok beton tanpa tulangan, kerusakan akibat geser umumnya akan terjadi pada daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok, dan dinamakan bentang geser. Pada gambar 2.8, retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser.



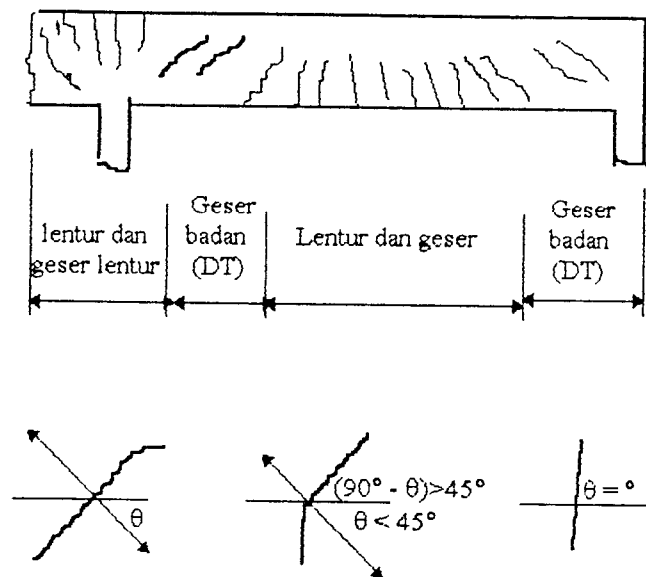
Gambar 2.8 Kerusakan tipikal akibat tarik diagonal

Untuk bentang geser yang lebih pendek, kerusakan akan timbul sebagai kombinasi dari pergeseran, remuk, dan belah. Sedangkan untuk balok beton tanpa tulangan dengan bentang geser lebih panjang, retak karena tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum timbul retak karena tarik diagonal. Dengan demikian terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan merupakan peringatan awal kerusakan geser.

Pada dasarnya, macam-macam retak dalam balok dibagi menjadi tiga jenis yang dijelaskan sebagai berikut ini (gambar 2.9).

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mengalami momen yang besar, proses terjadinya retak lentur dimulai dari tepi balok tarik, terus masuk merambat kedalam balok dengan arah hampir vertikal ($\theta \cong 0$). Kecenderungan retak lentur terjadi pada balok yang semakin langsing.
2. Retak geser lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada balok sebagai kelanjutan dari retak lentur, dan lebar atau panjang retak ini dikendalikan oleh adanya tulangan memanjang. Bila tegangan tarik diagonal pada daerah di atas retak ini melampaui kekuatan tarik beton, retak tersebut akan menjalar membelok ke arah diagonal. Retak jenis ini dapat dijumpai pada balok beton bertulang biasa dan prategang.

3. Retak geser badan (*web shear crack*), adalah retak miring yang tanpa didahului oleh retak lentur, biasa terjadi pada daerah garis netral penampang dengan gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil ($\theta \cong 45^\circ$). Kejadian retak geser badan jarang dijumpai pada balok beton bertulang biasa, tetapi lebih sering dijumpai pada balok beton prategang berbentuk huruf I dengan badan tipis dan *flens* (sayap lebar).



Gambar 2.9 Jenis retak pada balok beton bertulang (Nawy, 1990)

Jadi, keretakan diagonal pada badan balok dapat berkembang sebelum terjadinya retak lentur (*flexural cracks*) ataupun sebagai perpanjangan retak lentur yang telah ada. Jenis retak diagonal *web-shear cracks* terjadi pada titik yang tegangan gesernya melampaui kekuatan tarik beton, dan *flexural-shear cracks* timbul apabila kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik melampaui kekuatan tarik beton. *Flexural-shear cracks* ini hampir selalu diawali dengan keretakan lentur (Standar Baru SNI T-15-1991-03).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pada beton mutu tinggi, bagian retak tarik diagonal lebih halus bila dibandingkan dengan beton normal. Pada beton mutu normal retak-retak biasanya berkembang pada ikatan (*interface*) antara agregat dengan pasta semen, kemudian berkembang melalui pasta ke segala arah. Sebaliknya retak pada beton mutu tinggi terjadi melalui agregat yang disebabkan oleh perbedaan kekuatan dan kekakuan relatif pasta terhadap batuan lebih kecil atau tidak mencukupi (*4th international symposium on utilization of HSC / HPC, Paris, 1996*).

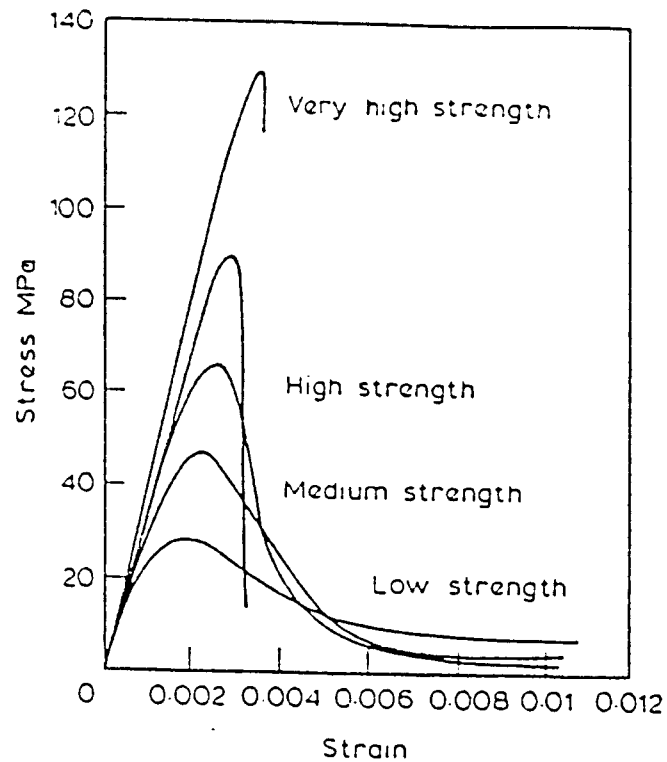
BAB III

ANALISA BALOK BETON BERTULANG MUTU TINGGI

3.1 Umum

Kekuatan beton diukur dari keawetan dan sifat perubahan bentuknya, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor penentu antara lain kekuatan mortar, ikatan antara agregat dan mortar, dan kekuatan agregat. Pada beton mutu tinggi, jumlah retak mikro ikatan lebih sedikit karena sifat kompatibilitas kekuatan dan sifat elastis agregat dengan mortar lebih baik, serta makin tingginya kekuatan lekatan tarik (*tensile bond strength*), juga kekuatan terhadap beban lebih tinggi dibandingkan pada beton normal.

Dengan mengamati kurva tegangan-regangan kuat beton pada gambar 3.1 (Nilson, A.H. dalam Russell, H.G.-Editor, 1985), tampak karakteristik yang membedakan beton mutu lebih tinggi dari beton normal. Sudut awal kurva-E lebih curam, bagian yang menaik dari kurva-E lebih linier, sudut dari bagian yang menurun kurva-E lebih curam dan batas regangan lebih rendah. Untuk nilai regangan batas beton dengan kekuatan 28 MPa-83 MPa (4.000 psi-12.000 psi), perbedaannya tidak begitu besar, sehingga asumsi regangan batas 0,003 sebagaimana ditentukan dalam peraturan ACI 1989 dapat digunakan.



Gambar 3.1 Kurva tegangan-regangan

Oleh karena itu, rumus modulus elastisitas untuk beton normal dipandang *overestimate* dan tidak memenuhi. Untuk beton mutu tinggi dengan kuat desak beton 41 MPa -83 MPa, dianjurkan untuk menggunakan rumus (Standar baru SNI T-15-1991-03) sebagai berikut:

$$E_c = (3320\sqrt{f_c'} + 6900)(W_c / 2300)^{1,5} \text{MPa} \quad (3-1)$$

dengan E_c = modulus elastisitas beton tekan,

W_c = berat beton dalam satuan kg/m^3 ,

f_c' = kuat tekan beton lebih dari 41 MPa.

3.2 Analisis Lentur

Beban yang bekerja pada struktur akan menghasilkan momen dan deformasi pada elemen-elemen struktur. Momen pada balok merupakan akibat dari deformasi regangan yang disebabkan oleh tegangan lentur yang dihasilkan oleh beban luar .

Dengan bertambahnya beban, balok menahan regangan dan defleksi tambahan yang mengakibatkan timbulnya retak-retak lentur sepanjang bentang balok. Penambahan beban yang terus menerus pada tingkat pembebanan menyebabkan keruntuhan dari elemen struktur saat beban eksternal mencapai kapasitas dari elemen tersebut. Tingkat pembebanan seperti itu dikenal sebagai keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Untuk itu perlu diketahui besarnya momen maksimum yang dapat disediakan oleh penampang balok, yang dapat dihitung berdasarkan rumus lentur balok, dari konsep material homogen :

$$f = \frac{M c}{I} \quad (3-2)$$

dengan f = tegangan lentur,

M = momen yang bekerja pada balok,

c = jarak serta terluar terhadap garis netral,

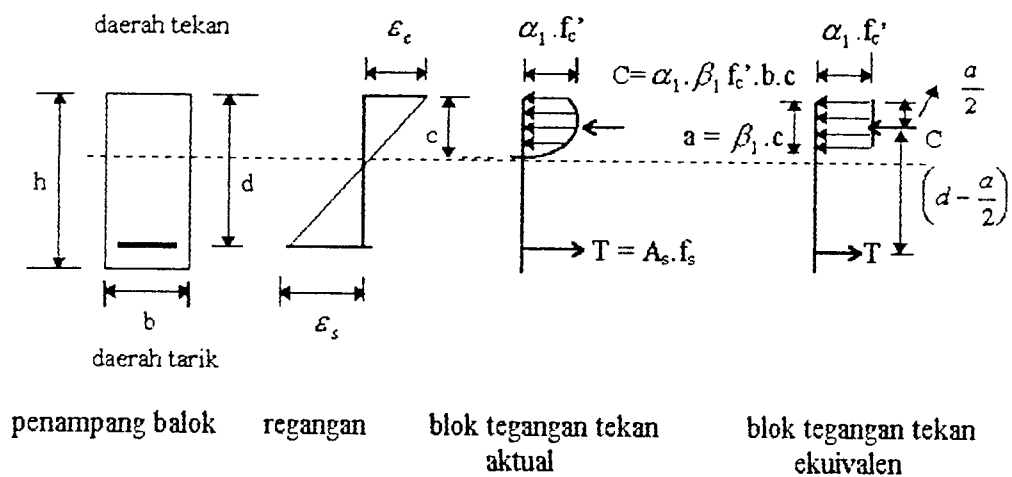
I = momen inersia penampang balok terhadap garis netral.

Penggunaan rumus lentur tersebut dapat digunakan untuk balok dari sebarang bahan yang sama dengan bentuk dan berperilaku elastik pada seluruh jenjang kekuatannya.

Konsep lain adalah kopel momen dalam ($C = T$) yang jika digunakan untuk menganalisa kuat balok akan bersifat lebih umum dan dapat digunakan untuk baik untuk bahan balok homogen atau tidak, juga untuk balok yang mempunyai distribusi tegangan

linier maupun non linier. Konsep ini menjabarkan gaya-gaya dalam balok beton bertulang, sehingga mampu menggambarkan pola tahanan dasar yang terjadi.

Dalam analisa penampang balok disini, telah ditetapkan dimensi unsur-unsur penampang balok yang terdiri dari lebar balok (b), tinggi efektif balok (d), tinggi total (h), kuat tekan beton (f_c'), kuat leleh baja (f_y), dan modulus elastis baja ($E_s = 2.10^5$ MPa). Distribusi tegangan dapat dilihat pada gambar 3.2 :



Gambar 3.2 Distribusi tegangan dan regangan internal beton bertulang

Untuk balok yang disebabkan oleh keruntuhan akibat meluhnya tegangan baja menunjukkan bahwa blok tegangan ekuivalen aman untuk digunakan bahkan untuk tegangan tekan diatas 83 MPa atau 12.000 psi (Nilson, A.H. dalam Russell, H.G.-Editor, 1985). Karena itu dalam analisis lentur disini, digunakan blok tegangan tekan ekuivalen sebagai dasar perhitungan kemampuan balok dalam menahan lentur .

Dari gambar 3.1 dan berdasarkan prinsip keseimbangan gaya-gaya horisontal, gaya tekan C dalam beton dan gaya tarik T dalam baja harus seimbang satu sama lain, yaitu :

$$C = T,$$

sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_s, \quad (3-3)$$

dengan : α_1 = intensitas tegangan pada blok tegangan,

β_1 = rasio tinggi blok tegangan terhadap tinggi sumbu netral,

b = lebar balok,

h = tinggi total balok,

A_s = luas baja tarik, dan

f_s = tegangan dalam tarik baja.

Akibat gaya tekan C dan gaya tarik T yang dipisahkan oleh lengan momen $\left(d - \frac{a}{2}\right)$

seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.1, dihasilkan momen tahanan internal M sebagai berikut :

$$M = T \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3-4a)$$

jika ditinjau terhadap gaya tarik, dan

$$M = C \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3-4b)$$

jika ditinjau terhadap gaya tekan beton.

Analisa penampang persegi bertulangan tarik terhadap tulangan lentur .

1. Asumsi awal bahwa tegangan yang terjadi pada baja tulangan f_s sama dengan tegangan luluh baja f_y , sehingga gaya tarik dalam balok :

$$T = A_s \cdot f_y, \quad (3-5)$$

dengan luas baja tarik sebagai berikut :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d , \quad (3-6a)$$

dengan : ρ = rasio penulangan, dan

d = tinggi efektif balok.

2. Pembatasan penulangan tarik

Berdasarkan persamaan 3-6a diperoleh rasio tulangan baja tarik:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad (3-6b)$$

Untuk lebih menjamin tidak terjadinya hancur secara tiba-tiba seperti yang terjadi pada balok tanpa tulangan, maka diperlukan batas minimum tulangan, yaitu :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3-7)$$

sehingga dipenuhi persyaratan :

$$\rho \geq \rho_{\min}$$

Rasio baja minimum tersebut yang termasuk dalam peraturan ACI 1989, konservatif untuk balok-balok beton bertulang persegi empat pada semua tingkat kekuatan, kecuali untuk beton dengan mutu sangat tinggi dimana $f_c' > 100$ Mpa (berdasarkan percobaan yang dilakukan di Universitas Cornell oleh Nilson, A.H.). Masih menurut Nilson, untuk menjamin pola keruntuhan daktail di dalam lentur, maka peraturan ACI ayat 10.3.3 menetapkan batasan ρ maksimum adalah sebagai berikut :

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \alpha \cdot \beta_1 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} \right) \quad (3-8)$$

Pada blok tegangan dalam gambar 3.1, nilai rasio tinggi blok tegangan terhadap sumbu netral β_1 untuk beton mutu tinggi berbeda dibandingkan dengan beton normal seperti yang terdapat dalam peraturan ACI (Ibrahim, H.H. dan MacGregor, J.G., 1997). Pada beton normal, nilai β_1 adalah sebagai berikut :

$$0,65 \leq \beta_1 \leq 0,85 \quad (3-8)$$

Nilai β_1 pada persamaan di atas tidak konservatif untuk dipakai dalam perhitungan balok dengan mutu tinggi. Beberapa percobaan yang dilakukan oleh Cusson dan Paulte, memberikan hasil yang lebih rendah dari nilai tersebut. Hasil uji lain di Universitas Toronto, menunjukkan nilai β_1 lebih rendah, sekitar 70% dari nilai yang diberikan oleh peraturan ACI. Pada prinsipnya β_1 cenderung lebih rendah dengan meningkatnya kekuatan beton. Adapun nilai β_1 untuk beton mutu tinggi sebagai berikut :

$$\beta_1 = 0,95 - \frac{f_c'}{400} \geq 0,70 \quad f_c' \text{ dalam MPa} \quad (3-10a)$$

$$\beta_1 = 0,95 - \frac{f_c'}{58.000} \geq 0,70 \quad f_c' \text{ dalam psi} \quad (3-10b)$$

Demikian pula halnya dengan nilai parameter yang menunjukkan intensitas tegangan pada blok tegangan α_1 . Untuk beton normal biasanya diambil 0,85; pada beton mutu tinggi nilainya menjadi lebih rendah, yaitu :

$$\alpha_1 = 0,85 - \frac{f_c'}{800} \geq 0,725 \quad f_c' \text{ dalam MPa} \quad (3-11a)$$

$$\alpha_1 = 0,85 - \frac{f_c'}{116.000} \geq 0,725 \quad f_c' \text{ dalam psi} \quad (3-11b)$$

Untuk nilai regangan batas beton dengan kekuatan 4.000 psi-12.000 psi (28 MPa - 83 MPa), perbedaannya tidak begitu besar, sehingga asumsi regangan batas 0,003 sebagaimana ditentukan dalam peraturan ACI 1989 dapat digunakan. Sedangkan untuk menentukan nilai regangan luluh baja ϵ_y , digunakan teori elastisitas sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{f}{E}, \quad (3-12a)$$

sehingga diperoleh regangan luluh baja :

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (3-12b)$$

3. Menentukan tinggi blok tegangan tekan

Tinggi blok tegangan tekan dapat diperoleh berdasarkan keseimbangan gaya internal balok pada persamaan 3-3 sebagai berikut :

$$A_s \cdot f_y = \alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot c,$$

dengan : $a = \beta_1 \cdot c,$

maka :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{\alpha_1 \cdot f_c' \cdot b}, \quad (3-13)$$

dengan : a = tinggi blok tegangan tekan.

4. Menghitung kuat lentur nominal

Kuat lentur nominal balok beton bertulang persegi empat dengan mutu tinggi dapat dihitung dengan persamaan biasa :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right), \quad (3-14a)$$

dengan $\left(d - \frac{a}{2}\right)$ = lengan momen internal, yaitu jarak antara resultan gaya tekan

beton dengan gaya tarik di tulangan.

Persamaan 3-14a dapat dinyatakan juga dengan persamaan berikut :

$$M_n = \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \left[1 - \frac{1}{2} \rho \left(\frac{f_y}{\alpha_1 \cdot f_c'} \right) \right], \quad (3-14b)$$

dengan $\frac{f_y}{\alpha_1 \cdot f_c'} = m$, maka :

$$M_n = \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \left(1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m \right) \quad (3-14c)$$

dan koefisien lawan (*coefficient of resistant*) :

$$k = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m \right), \quad (3-15a)$$

atau

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot k}{f_y}} \right) \quad (3-15b)$$

Persyaratan kekuatan untuk lentur dapat dinyatakan berikut ini :

$$\phi M_n > M_u$$

dengan : M_u = momen akibat beban berfaktor, dan

ϕ = faktor reduksi momen.

Bila suatu penampang persegi dengan ukuran yang telah ditetapkan, diperlukan mempunyai kekuatan yang lebih besar dari kekuatan yang tersedia dengan hanya menggunakan tulangan tarik saja (tulangan sebelah). Diperlukan tambahan tulangan tarik dan pemberian tulangan tekan.

Prosedur untuk perencanaan penampang persegi dengan tulangan rangkap.

1. Menghitung kapasitas/momen nominal penampang dengan tulangan tarik saja, dengan menggunakan tulangan tarik maksimum yang diijinkan.

$$M_{n1} < M_n$$

dengan luas tulangan tarik :

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d \quad (3-16)$$

2. Kelebihan momen

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} \quad (3-17)$$

ditahan oleh tambahan tulangan tarik bersama dengan tulangan tekan :

$$C_s = \frac{M_{n2}}{d - d'} \quad (3-18)$$

Luas tulangan tekan :

$$A_s' = \frac{C_s}{f_s'} \quad (3-19)$$

dengan : $f_s' = f_y$ bila $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$ dan $f_s' = E_s \cdot \epsilon_s'$ bila $\epsilon_s' < \epsilon_y$.

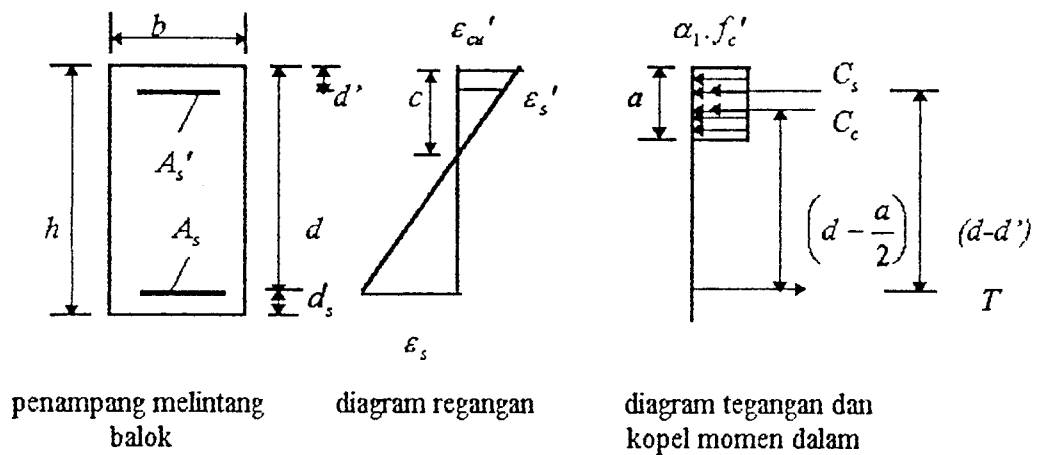
Dari keseimbangan gaya dalam diperoleh $T_2 = C$, sehingga tambahan tulangan tarik :

$$A_{s2} = \frac{T_2}{f_y} \quad (\text{baja tarik telah leleh}), \quad (3-20)$$

dengan luas tulangan tarik :

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (3-21)$$

Distribusi tegangan pada balok bertulangan rangkap, dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.3 Distribusi tegangan dan regangan pada balok bertulangan rangkap

3.3 Analisis Geser

ACI Committe 363 telah menganjurkan bahwa diperlukan lebih banyak data mengenai jumlah minimum kebutuhan tulangan geser untuk mencegah retak diagonal. Peraturan ACI (revisi 1992) menyediakan prosedur baru untuk menghitung jumlah minimum tulangan geser pada balok beton mutu tinggi berkekuatan lebih dari 69 MPa (10.000 psi).

Beton mutu tinggi dengan kekuatan desak yang tinggi dan kesesuaian dalam kuat tarik beban, retakan geser yang terjadi lebih tinggi juga. Karena itu diperlukan jumlah tulangan geser minimum yang lebih banyak, serta jarak sengkang minimum juga harus dibatasi (Yoon, Y.S., Cook, W.D., dan Mitchell, D., 1996).

Pada beton mutu tinggi retakan miring akibat peningkatan beban dalam balok berkurang dengan cepat daripada peningkatan $\sqrt{f_c'}$ untuk f_c' lebih besar dari 55 MPa atau 8000 psi. Hal ini diimbangi oleh keefektivan peningkatan dari sengkang

dalam balok beton mutu tinggi. Pengujian lainnya menyarankan bahwa kebutuhan jumlah minimum tulangan badan bertambah sesuai pertambahan f_c' . Oleh karena itu ACI membatasi $\sqrt{f_c'}$ sampai 100 psi kecuali jumlah tulangan minimum memenuhi (Mac Gregor, J.G.,1997).

Perencanaan kekuatan geser menurut ACI adalah dengan meninjau kekuatan geser nominal V_n dari penjumlahan dua faktor kontribusi :

$$V_n = V_c + V_s, \quad (3-22)$$

dengan V_n adalah kekuatan geser nominal, V_c adalah kekuatan geser dari balok yang dikerahkan oleh beton, dan V_s adalah kekuatan geser akibat penulangan geser.

Perencanaan kekuatan geser pada balok adalah sebagai berikut ini.

1. Persamaan-persamaan desain untuk kuat geser batang-batang tanpa tulangan badan menghitung kekuatan geser dengan kombinasi geser dan lentur menurut SNI adalah sebagai berikut :

$$V_c = 1/7 \left(\sqrt{f_c'} + 120 \cdot \rho \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) b \cdot d \quad (3-23a)$$

ACI-ASCE Committee menyatakan persamaan berikut untuk menghitung geser;

$$V_c = \left(1,9 \sqrt{f_c'} + 2500 \cdot \rho \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) b \cdot d \quad (3-23b)$$

Untuk susunan variabel normal, perhitungan kedua dalam tanda kurung pada persamaan akan menjadi sama dengan $0,1\sqrt{f_c'}$, dimasukkan dalam persamaan (3-23b) menghasilkan :

$$V_c = 2 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d, \quad (3-24a)$$

dalam satuan SI menjadi :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \quad (3-24b)$$

2. Perumusan batas keruntuhan geser balok dengan tulangan badan

Gambar 3.4 menunjukkan free body antara ujung balok dan retakan miring, proyeksi horisontal retak diambil sebagai d , mengesankan retak membentuk bidang 45° . Jika s adalah spasi sengkang, jumlah sengkang diambil dari retakan adalah d/s . Pengasumsian bahwa semua sengkang leleh saat runtuh, geser ditahan oleh sengkang adalah :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (3-25)$$

Jika V_u melebihi ϕV_c , sengkang harus disediakan sebagai :

$$V_u \leq \phi V_n, \quad (3-26)$$

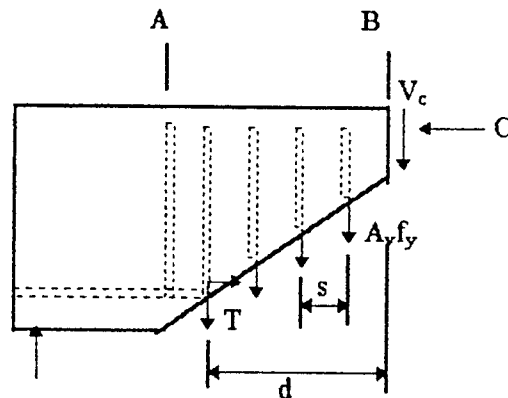
dimana V_u adalah gaya disebabkan beban berfaktor, ϕ adalah faktor reduksi, dan V_n adalah perlawanan geser nominal. V_n diberikan oleh persamaan (3-26), dalam desain ini secara umum disusun ulang dari bentuk :

$$\phi V_s \geq V_u - \phi V_c \quad \text{atau} \quad V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

Pengantar persamaan (3-25) disusun ulang memberikan jarak sengkang :

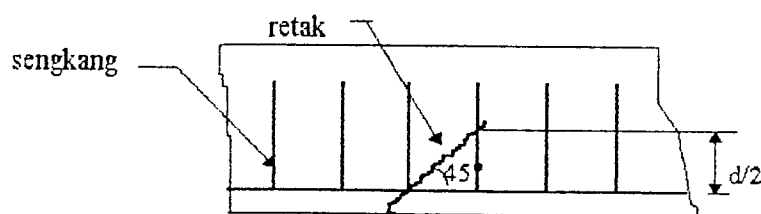
$$s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{\frac{V_u}{\phi} - V_c} \quad (3-27)$$

Persamaan ini digunakan untuk sengkang vertikal, seperti tampak pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Geser ditahan oleh sengkang vertikal

Sengkang-sengkang tidak menahan geser kecuali dilalui oleh sebuah retakan, untuk alasan ini peraturan ACI 11.5.4.1 menetapkan jarak maximum sengkang-sengkang vertikal lebih kecil dari $d/2$ atau 24 in, sehingga setiap 45° retak dapat ditahan setidaknya oleh satu sengkang (gambar 3-4). Retak minimum menjalar dari ketinggian batang tulangan tarik, dapat dicegah oleh sedikitnya satu tulangan sengkang, seperti ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.



Gambar 3.5 Sengkang maksimum

Jika $\frac{V_u}{\phi} - V_c = V_s \geq 4 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$, jarak sengkang maximum yang diijinkan kurang

dari setengah yang digambarkan. Jarak maximum adalah $< d/4$ atau 12 in. Hal ini dilakukan untuk dua alasan, pertama jarak sengkang lebih dekat untuk memperkecil

retakan dan jarak sengkang lebih dekat memberikan angkur yang lebih baik pada ujung yang lebih rendah diagonal desaknya.

3. Tulangan badan minimum.

Kebutuhan tulangan badan minimum menurut ACI , adalah :

$$A_{vmin} = \frac{50.b.s}{f_y} \quad (3-28a)$$

Ekuivalen penyediaan tulangan badan meneruskan tegangan geser 50 psi, untuk $f_c' = 2500$ psi, 50 psi adalah tegangan geser miring dari persamaan (3-24a), dalam satuan SI, persamaan (3-28a) menjadi :

$$A_{vmin} = \frac{b.s}{3f_y} \quad (3-28b)$$

Untuk balok dengan f_c' lebih besar dari 10.000 psi, $\sqrt{f_c'}$ dibatasi sampai 100 psi kecuali jika tulangan minimum yang disediakan memenuhi persamaan (3-29a) dan (3-29b).

$$A_{vmin} = \frac{f_c'}{5000} \left(\frac{50.b.s}{f_y} \right) \leq \frac{150.b.s}{f_y} \quad (3-29a)$$

dalam satuan SI menjadi persamaan (3-27b) (Yoon,Cook,dan Mitchell;1996):

$$A_{vmin} = \frac{f_c'}{35} \left(\frac{b.s}{3f_y} \right) \leq \frac{b.s}{f_y} \quad (3-29b)$$

BAB IV

DESAIN BALOK BETON BERTULANG MUTU TINGGI

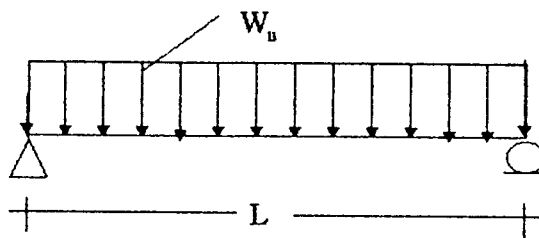
Dalam tugas akhir ini, tinjauan perencanaan dilakukan terhadap beban mati dan beban hidup yang bekerja pada balok dengan mutu beton dan baja tulangan telah diketahui. Selanjutnya proses perhitungan desain balok beton bertulang terhadap kuat lentur dan geser ini, dibagi dalam beberapa langkah/tahap.

4.1 Data dan Asumsi Desain

Perencanaan balok beton bertulang ini mengacu pada peraturan-peraturan yang berlaku. Pembebanan didasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia (PPI) 1983 dan perhitungan pendesainan balok mengacu pada standar SNI T-15-1991-03 dan *ACI Building Code*, serta peraturan-peraturan lain yang relevan.

Untuk mengetahui keefektifan beton mutu tinggi terhadap kenaikan mutu baja, dimensi penampang dan pengaruhnya pada panjang bentang, balok tersebut direncanakan dengan ketentuan sebagai berikut (Gambar 4.1).

1. Mutu Beton $f_c' = 40 \text{ MPa}$, 60 MPa , dan 80 MPa .
2. Mutu baja tulangan $f_y = 300 \text{ MPa}$, 350 MPa , dan 400 MPa .
3. Lebar balok (b) = 400 mm , 450 mm , dan 500 mm .
4. Panjang bentang $L = 9 \text{ m}$, 12 m , dan 15 m .



Gambar 4.1 Balok sederhana

Untuk menghitung pembebanan yang terjadi pada balok, maka balok diasumsikan sebagai balok lantai pada gedung perpustakaan, dengan tebal pelat lantai diambil 120 mm dan jarak antar balok 5 m. Berdasarkan asumsi tersebut, maka beban-beban yang bekerja pada balok adalah sebagai berikut ini.

a. Beban mati (W_D) :

$$\text{- Penutup lantai} = 24 \times 2 \times 5 = 240 \text{ kg/m}$$

$$\text{- Spesi} = 21 \times 2 \times 5 = 210 \text{ kg/m}$$

$$\text{- Pasir} = 1600 \times 0,04 \times 5 = 320 \text{ kg/m}$$

$$\text{- Pelat} = 2400 \times 0,12 \times 5 = 1440 \text{ kg/m}$$

$$W_D = 2210 \text{ kg/m} = 22,10 \text{ kN/m}$$

b. Beban akibat berat sendiri (W_0) :

$$W_0 = 0,5 \times 1 \times 24 = 1200 \text{ kg/m} = 12 \text{ kN/m} \text{ (diambil dimensi balok terbesar).}$$

c. Beban hidup (W_L) :

$$W_L = 400 \times 5 = 2000 \text{ kg/m} = 20 \text{ kN/m}$$

Diperoleh beban kerja :

$$W_U = 1,2 (W_D + W_0) + 1,6 W_L$$

$$= 1,2 (22,1 + 12) + 1,6 \cdot 20 = 72,92 \text{ kN/m}$$

4.2 Kekuatan Lentur

4.2.1 Untuk Penampang Terlentur Bertulangan Sebelah

Dengan menggunakan asumsi-asumsi sebelumnya, dan diambil nilai $f_c' = 40$ MPa, $f_y = 350$ MPa, $b = 400$ mm, $h = 900$ mm dan $L = 15$ m, perencanaan kekuatan lentur dapat dilakukan sebagai berikut.

1. Rasio Tulangan

a. Rasio tulangan seimbang

$$\rho_b = \frac{\alpha_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\text{dengan nilai : } \alpha_1 = 0,85 - \frac{f_c'}{800} \geq 0,725$$

$$= 0,85 - \frac{40}{800} = 0,8$$

$$\beta_1 = 0,95 - \frac{f_c'}{400} \geq 0,70$$

$$= 0,95 - \frac{40}{400} = 0,85$$

$$\text{sehingga diperoleh : } \rho_b = \frac{0,8 \cdot 40}{350} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 350} \right) = 0,0491$$

b. Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0491 = 0,03681$$

c. Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

2. Momen yang terjadi pada balok

$$M_u = \frac{1}{8} W_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 72,92 \cdot 15^2 = 2050,875 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Didapatkan momen nominal balok :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2050,875}{0,8} = 2563,5938 \text{ kN} \cdot \text{m} = 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

3. Momen tahanan balok

$$M_n = k \cdot b \cdot d^2$$

$$\text{dengan : } k = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m\right)$$

$$= \rho \cdot f_y \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \rho \cdot \left(\frac{f_y}{\alpha_1 \cdot f_c'}\right)\right]$$

$$= 0,03681 \cdot 350 \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \cdot 0,03681 \cdot \left(\frac{350}{0,8 \cdot 40}\right)\right] = 10,2904$$

$$d = h - 100 = 900 - 100 = 800 \text{ mm}$$

$$\text{sehingga } M_n = 10,2904 \times 400 \times 800^2 = 2,634 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}.$$

Karena nilai $M_n = 2,634 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm} > 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$, maka digunakan tulangan sebelah (tulangan Tarik) saja.

4. Rasio tulangan dibutuhkan

$$k = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{2,5636 \cdot 10^9}{400 \times 800^2} = 10,0140 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{\alpha_1 \cdot f_c'} = \frac{350}{0,8 \times 40} = 10,9375$$

maka diperoleh rasio tulangan dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot k}{f_y}} \right) = \frac{1}{10,9375} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10,9375 \times 10,014}{350}} \right) = 0,0355$$

5. Luas tulangan tarik

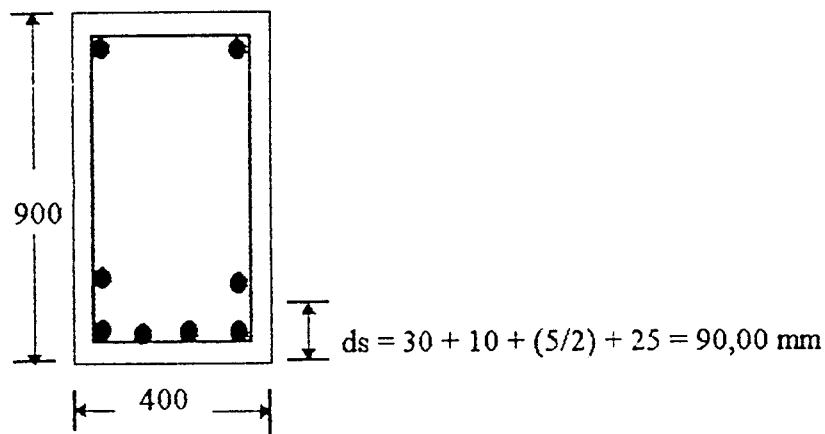
$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0305 \times 400 \times 800 = 11361,8 \text{ mm}^2$$

6. Kebutuhan tulangan

Digunakan tulangan $\varnothing 50 \text{ mm}$, dengan luas = $1963,5 \text{ mm}^2$.

$$\text{Diperoleh jumlah tulangan yang digunakan} = \frac{11361,8}{1963,5} = 5,79 \approx 6 \text{ buah}$$



7. Keseimbangan gaya dalam

$$C = T$$

Anggapan baja tarik telah mencapai regangan leleh, saat beton tekan mencapai regangan 0.003

$$\text{dengan } C = \alpha \cdot f_c' \cdot b \cdot a = 0,8 \times 40 \times 400 \times a = 12800a$$

$$T = A_s \cdot f_y = 11781 \times 350 = 41253350$$

maka, $a = \frac{4123350}{12800} = 322,14 \text{ mm}$ dan

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{322,14}{0,85} = 378,98 \text{ mm}$$

8. Periksa regangan baja tarik

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{350}{2.10^5} = 0,00175$$

$$\varepsilon_s = \frac{d_{\text{baru}} - c}{c} \times \varepsilon_{\text{ck}}$$

dengan : $d_{\text{baru}} = h - d_s$

$$= 900 - \left(30 + 10 + \frac{50}{2} + \frac{2}{6} \left(\frac{50}{2} + 25 + \frac{50}{2} \right) \right) = 810 \text{ mm}$$

maka, $\varepsilon_s = \frac{d_{\text{baru}} - c}{c} \times \varepsilon_{\text{ck}} = \frac{810 - 378,98}{378,98} \times 0,003 = 0,0034 > \varepsilon_y = 0,00175$

berarti anggapan bahwa tulangan tarik telah leleh adalah benar, sehingga $f_s = f_y$

9. Kontrol kapasitas penampang

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

dengan : $T = A_s \cdot f_y = 4123350$

$$M_n = 4123350 \left(810 - \frac{322,14}{2} \right) = 2675,772 \text{ kNm} > 2563,6 \text{ kNm}$$

4.2.1 Untuk Penampang Terlentur Bertulangan Rangkap

Dengan menggunakan asumsi-asumsi sebelumnya, dan diambil nilai $f_c' = 40$ MPa, $f_y = 350$ MPa, $b = 400$ mm, $h = 700$ mm, dan $L = 15$ m, perencanaan kekuatan lentur dapat dilakukan sebagai berikut.

1. Rasio Tulangan

a. Rasio tulangan seimbang

$$\rho_b = \frac{\alpha_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\text{dengan nilai : } \alpha_1 = 0,85 - \frac{f_c'}{800} \geq 0,725$$

$$= 0,85 - \frac{40}{800} = 0,8$$

$$\beta_1 = 0,95 - \frac{f_c'}{400} \geq 0,70$$

$$= 0,95 - \frac{40}{400} = 0,85$$

$$\text{sehingga diperoleh : } \rho_b = \frac{0,8 \cdot 40}{350} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 350} \right) = 0,0491$$

b. Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0491 = 0,03681$$

c. Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

2. Momen yang terjadi pada balok

$$M_u = \frac{1}{8} W_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 72,92 \cdot 15^2 = 2050,875 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Didapatkan momen nominal balok :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2050,875}{0,8} = 2563,5938 \text{ kN} \cdot \text{m} = 2,563610^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

3. Momen tahanan balok

$$M_n = k \cdot b \cdot d^2$$

$$\text{dengan : } k = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m\right)$$

$$= \rho \cdot f_y \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \rho \cdot \left(\frac{f_y}{\alpha_1 \cdot f'_c}\right)\right]$$

$$= 0,03681 \cdot 350 \left[1 - \frac{1}{2} \cdot 0,03681 \cdot \left(\frac{350}{0,8 \cdot 40}\right)\right] = 10,2904 \text{ MPa}$$

$$d = h - 100 = 700 - 100 = 600 \text{ mm}$$

$$\text{sehingga } M_n = 10,2904 \times 400 \times 600^2 = 1,482 \cdot 10^9 \text{ N-mm.}$$

Karena nilai $M_n = 1,482 \cdot 10^9 \text{ N-mm} < 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N-mm}$, maka digunakan tulangan rangkap.

4. Rasio tulangan dibutuhkan

$$\rho = 0,9 \rho_{maks} = 0,9 \cdot 0,03681 = 0,0331$$

5. Luas tulangan tarik perlu

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0331 \times 400 \times 600 = 7944,00 \text{ mm}^2$$

6. letak garis netral

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{\alpha \cdot f'_c \cdot b} = \frac{7944,00 \times 350}{0,80 \times 40 \times 400} = 217,219 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{217,219}{0,85} = 255,551 \text{ mm}$$

7. Momen tulangan tarik

Anggapan baja tarik telah leleh

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y = 7944,00 \times 350 = 2780400N$$

$$M_{n1} = T_1 \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 2780400 \times \left(600 - \frac{217,219}{2} \right) = 1,366.10^9 N - mm$$

8. Kelebihan momen yang harus ditahan oleh tulangan tekan dan tambahan untuk tulangan tarik

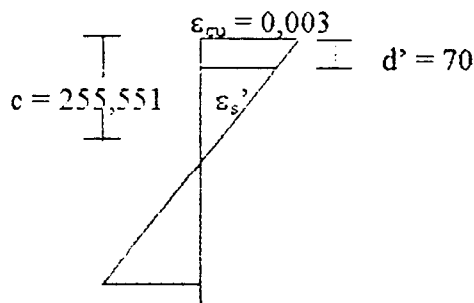
$$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 2,5636.10^9 - 1,366.10^9 = 1,197.10^9 N - mm$$

$$M_{n2} = C_s \cdot (d - d') = T_2 (d - d')$$

dengan d' diperkirakan = 70 mm, sehingga:

$$T_2 = C_s = \frac{M_{n2}}{(d - d')} = \frac{1,197.10^9}{(600 - 70)} = 2259116N$$

9. Periksa regangan tulang tekan



$$\varepsilon_s' = \frac{c - d'}{c} \times \varepsilon_{mx} = \frac{255,551 - 70}{255,551} \times 0,003 = 0,0022$$

karena $\varepsilon_s' = 0,0022 > \varepsilon_y = 0,00175$ berarti $f_s' = f_y = 350MPa$

10. Luas tulangan tekan dan tambahan luas tulangan tarik

$$A_s' = \frac{C_s}{f_s'} = \frac{2259116}{350} = 6454,62mm^2$$

$$A_{s2} = \frac{T_2}{f_y} = \frac{2259116}{350} = 6454,62mm^2$$

11. Luas tulangan tarik seluruhnya

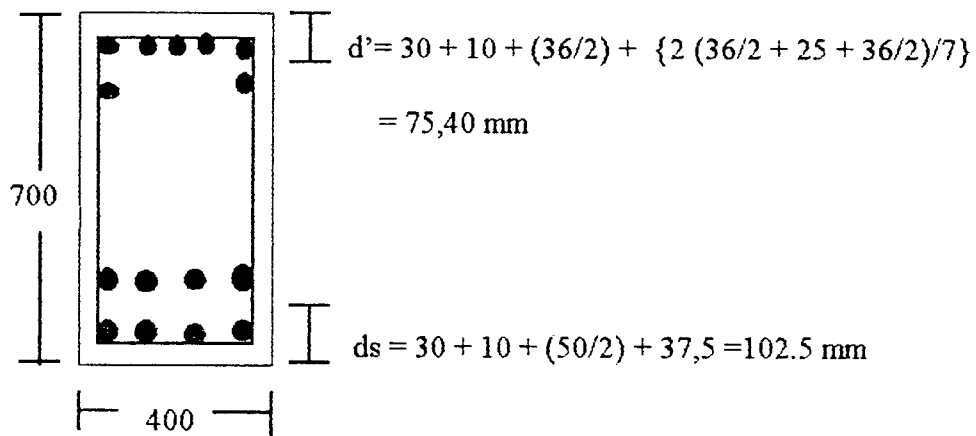
$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 7944,00 + 6454,62 = 14398,62 \text{ mm}^2$$

12. Jumlah tulangan

Untuk tulangan tarik digunakan $\varnothing 50$ mm dengan luas = $1963,5 \text{ mm}^2$ dan untuk tulangan tekan digunakan $\varnothing 36$ mm dengan luas = $1017,9 \text{ mm}^2$.

$$\text{Jumlah tulangan tarik} = \frac{14398,50}{1963,5} = 7,33 \approx 8 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah tulangan tekan} = \frac{6454,62}{1017,9} = 6,34 \approx 7 \text{ buah}$$



$$\text{Luas tulangan tarik } A_s = 15708,0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan tekan } A_s' = 7125,30 \text{ mm}^2$$

$$d_s = 102,5 \text{ mm} \text{ maka } d = 700 - 102,5 = 597,50 \text{ mm}$$

$$d' = 75,40 \text{ mm}$$

$$\text{maka : } C_c = \alpha_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot a = 0,8 \times 40 \times 400 \times a = 12800 \cdot a$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y = 7125,30 \times 350 = 2265845 \text{ N}$$

13. Keseimbangan gaya-gaya dalam

$$T = C_c + C_s$$

dengan : $T = A_s \cdot f_y = 15708,0 \times 350 = 5497800N$

maka , $a = \frac{5497800 - 2265845}{12800} = 252,50mm$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{252,50}{0,85} = 297,05mm$$

14. Periksa regangan-regangan baja yang terjadi

$$\varepsilon_s' = \frac{c - d'}{c} \times \varepsilon_{\alpha} = \frac{297,05 - 75,40}{297,05} \times 0,003 = 0,0022 > \varepsilon_y = 0,00175$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \times \varepsilon_{\alpha} = \frac{597,50 - 297,05}{297,05} \times 0,003 = 0,00303$$

15. Momen Nominal

$$C_c = 12800 \cdot a = 12800 \times 252,50 = 3232000N$$

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

$$M_n = 3232000 \left(597,50 - \frac{252,50}{2} \right) + 2265845 (597,50 - 75,4) N - mm$$

$$M_n = 2,7092310^9 N - mm > \frac{M_u}{\phi} = 2,563610^9 N - mm$$

Jadi dimensi balok mampu untuk memikul beban dengan penulangan rangkap.

4.3 KEKUATAN GESER

Untuk perhitungan kuat geser disini, diambil nilai $f_y = 350$ MPa, $b = 400$ mm, $h = 700$ mm, $d = 590$ mm dan $L = 15$ m. Memikul beban ultimit seperti asumsi sebelumnya, $W_u = 72,92$ kN/m.

Direncanakan penulangan geser untuk :

4.3.1 Nilai $f_c' = 40$ MPa

1. Momen yang terjadi pada balok

$$M_u = \frac{1}{8} W_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 72,92 \cdot 15^2 = 2050,875 \text{ kN-m}$$

Didapatkan momen nominal balok :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2050,875}{0,8} = 2563,5938 \text{ kN-m} = 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N-mm}$$

2. Gaya geser maksimum pada ujung bentang

$$V_u = \frac{1}{2} \cdot W_u \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 72,92 \cdot 15 = 546,9 \text{ kN}$$

3. Gaya geser pada penampang kritis sejauh d dari perletakan

$$V_{ud} = \frac{0,5L - d}{0,5L} \cdot V_u = \frac{7,5 - 0,59}{7,5} \cdot 546,9 = 503,8772 \text{ kN}$$

4. Kekuatan geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 248,765 \text{ kN}$$

5. Kekuatan geser tulangan geser

$$V_{sl} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{3} \sqrt{40} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 497,532 \text{ kN}$$

$$V_{s2} = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \sqrt{40} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 995,064 \text{ kN}$$

6. Jarak tulangan geser

Untuk geser, faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,6$, maka :

$$\phi V_c = 0,6 \times 248,766 = 149,2596 \text{ kN}$$

$$\phi V_{s1} = 0,6 \times 497,532 = 298,5192 \text{ kN}$$

$$\phi V_{s2} = 0,6 \times 995,064 = 597,0384 \text{ kN}$$

$$\phi (V_c + V_{s1}) = 0,6 \times (248,766 + 497,532) = 447,7788 \text{ kN}$$

$$\phi (V_c + V_{s2}) = 0,6 \times (248,766 + 995,064) = 746,2980 \text{ kN}$$

Ternyata : $\phi V_c < V_u < \phi (V_c + V_{s2})$, berarti ukuran penampang dapat digunakan,

tetapi diperlukan tulangan geser, dan pada daerah $V_u > \phi (V_c + V_{s1})$, sengkang

maksimum $\frac{d}{4}$ atau 300 mm, maka dicari :

a. titik dengan nilai $V_u = \phi (V_c + V_{s1}) = 447,7788 \text{ kN}$, yaitu :

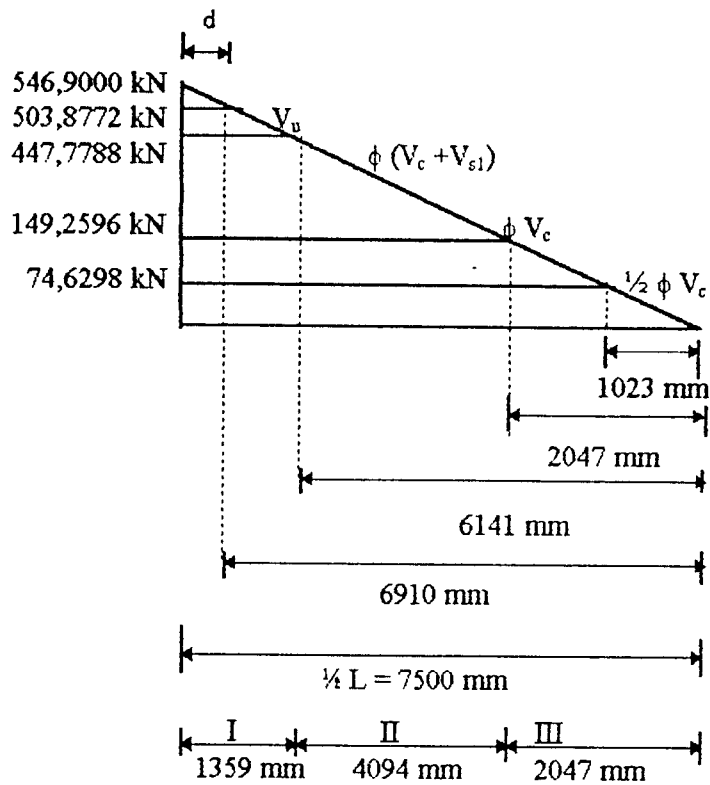
$$x_1 = \frac{447,7788}{546,9} \times 7500 = 6140,6857 \text{ mm} = 6141 \text{ mm dari tengah bentang}$$

b. titik dengan gaya geser = $\phi V_c = 149,2596 \text{ kN}$, yaitu :

$$x_2 = \frac{149,2596}{546,9} \times 7500 = 2046,895 \text{ mm} = 2047 \text{ mm dari tengah bentang}$$

c. titik dengan gaya geser = $\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \cdot 149,2596 = 74,6298$, yaitu :

$$x_3 = \frac{74,6298}{546,9} \times 7500 = 1023,4476 \text{ mm} = 1023 \text{ mm dari tengah bentang}$$



Digunakan sengkang dengan $\varnothing 10$ mm dengan $A_s = 2(\pi \cdot 5^2) = 157 \text{ mm}^2$

a. Jarak sengkang untuk daerah I :

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 503,8772 - 149,2596 = 354,6176 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{354,6176}{0,6} = 591,0293 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{591,0293} = 55 \text{ mm} \leq \frac{d}{4} = 147,5 \text{ mm}$$

dipakai sengkang $\varnothing 10-50$ mm

b. Jarak sengkang untuk daerah II

Untuk daerah II ini, dibagi menjadi 4 bagian dengan lebar 1000 mm, 1000 mm, 1000 mm dan 1095 mm .

1. Daerah II-1, dengan lebar 1000 mm dan $V_u = 447,7788$ kN

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 447,7788 - 149,2596 = 298,5192 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{298,5192}{0,6} = 497,532 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{497,532 \times 10^3} = 65,1626 \text{ mm}$$

dipakai sengkang $\emptyset 10-60$ mm

2. Daerah II-2, dengan lebar 1000 mm

$$V_u = \frac{5141}{7500} \times 546,9 = 374,8817 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 374,8817 - 149,2596 = 225,6221 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{225,6221}{0,6} = 376,037 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{376,037 \times 10^3} = 86,216 \text{ mm}$$

dipakai sengkang $\emptyset 10-80$ mm

3. Daerah II-3, dengan lebar 1000 mm

$$V_u = \frac{4141}{7500} \times 546,9 = 301,9617 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 301,9617 - 149,2596 = 152,7021 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{152,7021}{0,6} = 254,5035 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{254,5035 \times 10^3} = 127,39 \text{ mm}$$

dipakai sengkang $\emptyset 10-120$ mm

4. Daerah II-4, dengan lebar 1094 mm

$$V_u = \frac{3141}{7500} \times 546,9 = 229,0417 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 229,0417 - 149,2596 = 79,78 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{79,78}{0,6} = 132,9704 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{v_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{132,9704 \times 10^3} = 243,817 \text{ mm}$$

dipakai sengkang $\emptyset 10$ -240 mm

c. Jarak sengkang untuk daerah III

Daerah III merupakan daerah tulangan geser minimum :

$$s = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b} = \frac{3 \times 157 \times 350}{400} = 412,125 \text{ mm} > \frac{d}{2} = 295 \text{ mm}$$

dipakai sengkang $\emptyset 10$ -290 mm

4.3.2 Nilai $f_c' = 80 \text{ MPa}$

1. Momen yang terjadi pada balok

$$M_u = \frac{1}{8} W_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 72,92 \cdot 15^2 = 2050,875 \text{ kN-m}$$

Didapatkan momen nominal balok :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2050,875}{0,8} = 2563,5938 \text{ kN-m} = 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N-mm}$$

2. Gaya geser maksimum pada ujung bentang

$$V_u = \frac{1}{2} W_u \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 2050,875 \times 15 = 546,9 \text{ kN}$$



3. Gaya geser pada penampang kritis sejauh d dari perletakan

$$V_{\text{ud}} = \frac{0,5L - d}{0,5L} \cdot V_u = \frac{7,5 - 0,59}{7,5} \cdot 546,9 = 503,877 \text{ kN}$$

4. Kekuatan geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{80} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 351,808 \text{ kN}$$

5. Kekuatan geser tulangan geser

$$V_{s1} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{3} \sqrt{80} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 703,616 \text{ kN}$$

$$V_{s2} = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \sqrt{80} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 1407,232$$

6. Jarak tulangan geser

Untuk geser faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,6$ maka :

$$\phi V_c = 0,6 \times 351,808 = 211,0848 \text{ kN}$$

$$\phi V_{s1} = 0,6 \times 703,616 = 422,1696 \text{ kN}$$

$$\phi V_{s2} = 0,6 \times 1407,232 = 844,3392 \text{ kN}$$

$$\phi(V_c + V_{s1}) = 0,6(351,808 + 703,616) = 633,2544 \text{ kN}$$

$$\phi(V_c + V_{s2}) = 0,6(351,808 + 1407,232) = 844,3392 \text{ kN}$$

Ternyata : $\phi V_c = 211,0848 < V_u = 503,8772 < \phi(V_c - V_{s2}) = 633,2544 \text{ kN}$, berarti

ukuran penampang dapat digunakan dan jarak sengkang maksimum $d/2$ atau 600 mm,

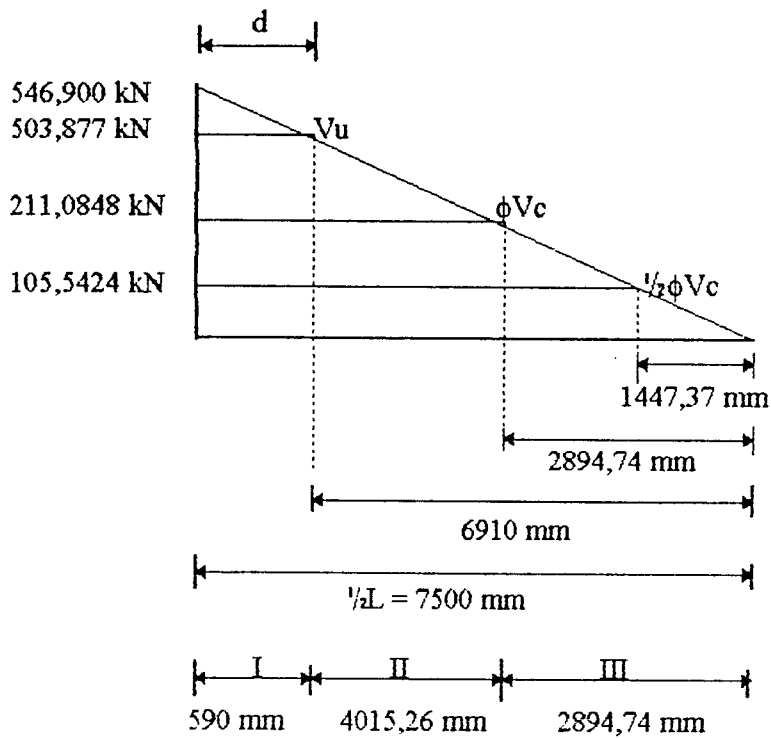
maka dicari :

a. titik dimana gaya geser = $\phi V_c = 211,0848 \text{ kN}$, yaitu :

$$x_1 = \frac{211,0848}{546,9} \times 7500 = 2894,74 \text{ mm}$$

b. titik dimana gaya geser = $\frac{1}{2}\phi V_c = 105,5424 \text{ kN}$

$$x_2 = \frac{105,5424}{546,9} \times 7500 = 1447,37 \text{ mm}$$



Digunakan sengkang dengan $\varnothing 10$ dengan $A_v = 2(\pi \cdot 5^2) = 157 \text{ mm}^2$

a. Jarak sengkang untuk daerah I (penampang kritis):

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 503,877 - 211,0848 = 292,7922 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{292,7922}{0,6} = 487,987 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{487,987 \times 10^3} = 66,44 \text{ mm}$$

dipakai sengkang $\varnothing 10-60 \text{ mm}$

b. Perhitungan jarak sengkang untuk daerah II dibagi menjadi empat bagian dengan lebar 1000 mm, 1000 mm, 1000 mm, dan 1015,28 mm.

1. Daerah II-1, daerah penampang kritis dengan lebar 1000 mm dan $V_u = 503,877 \text{ kN}$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 503,877 - 211,0848 = 292,7922 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{292,7922}{0,6} = 487,987 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{487,987 \times 10^3} = 66,44$$

dipakai sengkang $\emptyset 10-60 \text{ mm}$

2. Daerah II-2 dengan 1000 mm dan $V_u = 430,9572 \text{ kN}$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 430,9572 - 211,0848 = 219,8724 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{219,8724}{0,6} = 366,4540 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{366,4540 \times 10^3} = 88,47 \text{ mm}$$

dipakai sengkang $\emptyset 10-80 \text{ mm}$

3. Daerah II-3 dengan lebar 1000 mm dan $V_u = 358,0372 \text{ kN}$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 358,0372 - 211,0848 = 146,9524 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{146,9524}{0,6} = 244,9207 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{244,9207 \times 10^3} = 132,37 \text{ mm}$$

dipakai sengkang $\emptyset 10-130 \text{ mm}$

4. Daerah II-4 dengan lebar 1000 mm dan $V_u = 285,1172 \text{ kN}$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 285,1172 - 211,0848 = 74,0324 kN$$

$$V_s = \frac{74,0324}{0,6} = 123,3873 kN$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{123,3873 \times 10^3} = 262,75 mm < \frac{d}{2} = 295 mm$$

dipakai sengkang $\varnothing 10$ -130 mm

c. Jarak sengkang untuk daerah III

Daerah III adalah daerah tulangan geser minimum dengan jarak sengkang minimum

$$\frac{A_v \cdot f_y}{b} = \frac{157 \cdot 350}{400} = 137,38 \text{ mm}$$

$$s = \frac{105 \cdot f_y \cdot A_v}{f_c' \cdot b} = \frac{105 \times 350 \times 157}{80 \times 400} = 180,305 > \frac{A_v \cdot f_y}{b} = \frac{157 \cdot 350}{400} = 137,38$$

dipakai sengkang $\varnothing 10$ -130 mm

Karena pada daerah II-4 jarak sengkang melebihi jarak tulangan geser minimum maka pada daerah II-4 digunakan jarak sengkang sama dengan daerah tulangan geser minimum yaitu 130 mm.

BAB V

PEMBAHASAN

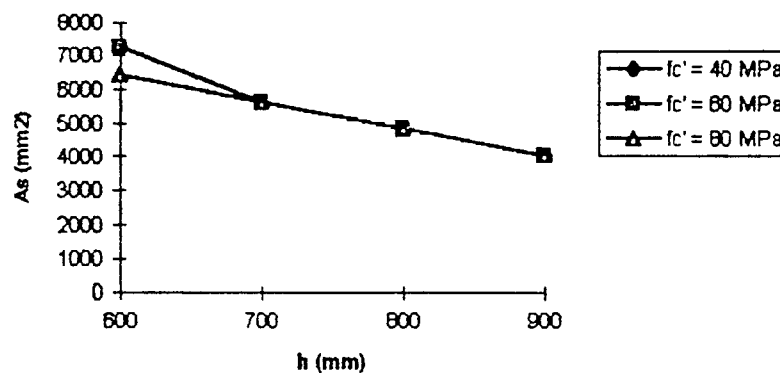
5.1 Hasil Desain

Berdasarkan analisis dan perhitungan pada balok beton bertulang mutu tinggi yang ditinjau dari kekuatannya dalam menahan lentur dan geser, dapat diketahui hasil akhir dalam bentuk tabel pada lampiran 1-18. Untuk lebih memperjelas hasil pembahasan dari analisis tersebut, ditampilkan juga dalam bentuk grafik 5.1-5.27 yang menggambarkan hubungan antara luas tulangan dengan tinggi penampang balok seperti tercantum dalam bab ini.

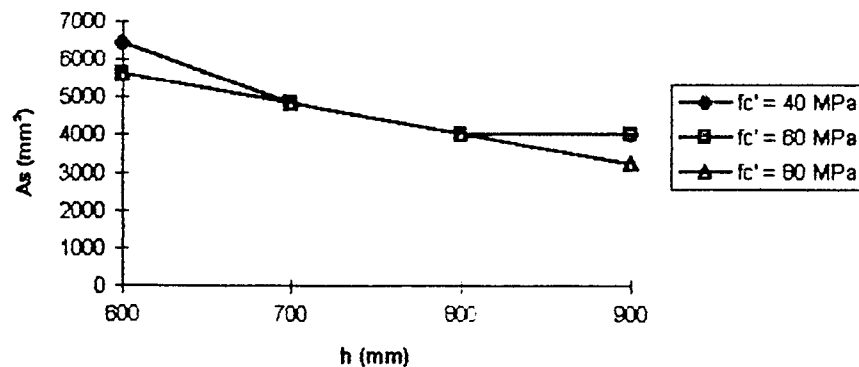
Dari grafik-grafik tersebut, tampak bahwa pada dasarnya peningkatan mutu beton pada dimensi penampang yang sama, dapat mengurangi luas tulangan yang dibutuhkan. Tetapi pada grafik 5.1-5.9, terlihat bahwa pengaruh peningkatan mutu beton terhadap pengurangan luas tulangan, sangat kecil. Apalagi dalam grafik 5.1, 5.4 dan 5.7 pada $h \geq 700$ mm, luas tulangan yang dihasilkan adalah sama untuk mutu beton yang berbeda. Pada $h \geq 850$ mm, peningkatan mutu beton tidak mempengaruhi pengurangan luas tulangan seperti terlihat dalam grafik 5.10-5.16. Hanya pada grafik 5.11 dengan $h = 900$ mm, terlihat bahwa luas tulangan yang diperoleh lebih kecil dengan menggunakan mutu beton 60 MPa dibanding 40 MPa. Juga pada grafik 5.13 dan 5.16 dengan $h = 850$ mm, terlihat bahwa luas tulangan yang kecil dengan menggunakan mutu beton 80 MPa dibanding 60 MPa. Pada grafik 5.17-5.26, peningkatan mutu beton dari 40 MPa ke 60

MPa, benar-benar dapat mengurangi luas tulangan yang dibutuhkan. Tetapi sebagian besar luas tulangan mempunyai nilai yang sama, walau mutu beton dinaikkan dari 60 MPa ke 80 MPa. Hal ini terlihat jelas pada grafik 5.23, 5.24 dan 5.25.

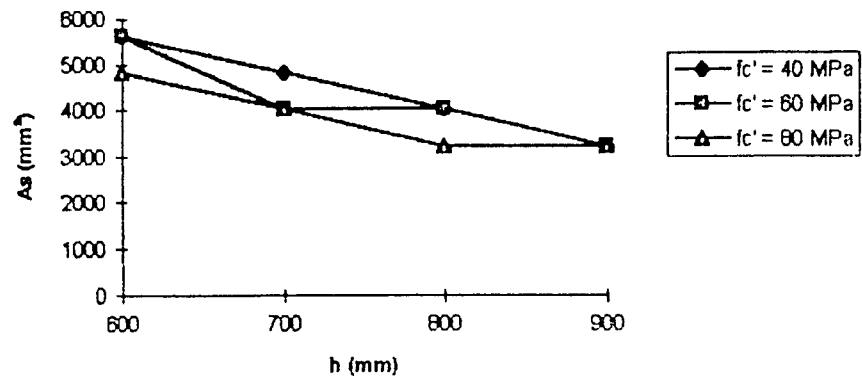
Hasil perhitungan geser pada balok beton mutu tinggi untuk semua panjang bentangan seperti ditunjukkan dalam tabel 4.a-6.c pada lampiran, menunjukkan jarak sengkang semakin lebar dengan meningkatnya mutu beton. Tetapi untuk mutu beton 80 MPa, jarak sengkang pada daerah minimum lebih rapat dibandingkan jarak sengkang di daerah minimum untuk mutu beton yang lebih rendah.



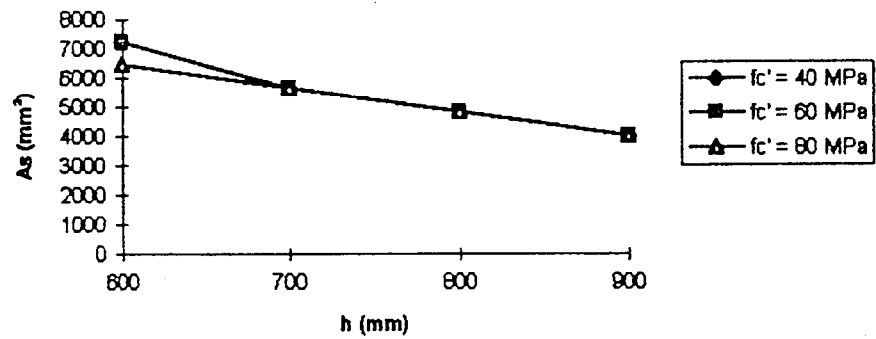
Grafik 5.1 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 400$ mm, dan panjang bentangan 9 m



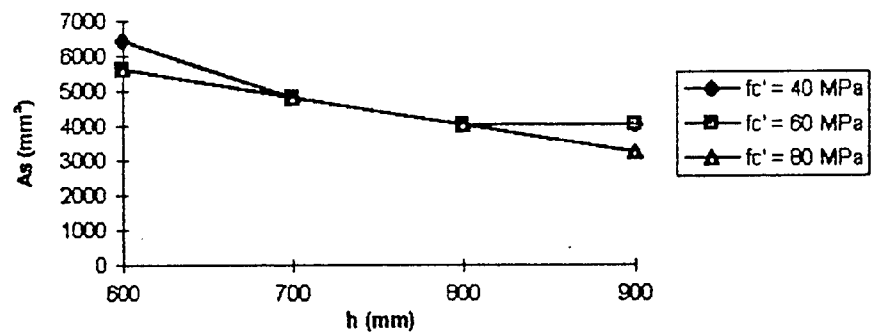
Grafik 5.2 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 400$ mm, dan panjang bentangan 9 m



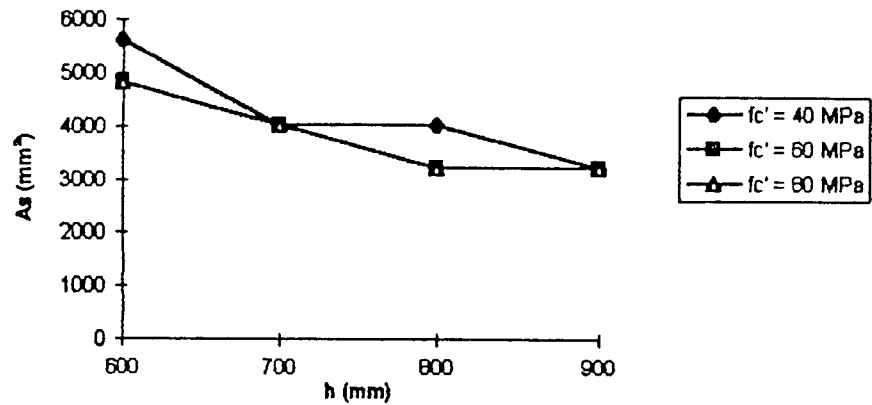
Grafik 5.3 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 400$ mm, dan panjang bentangan 9 m



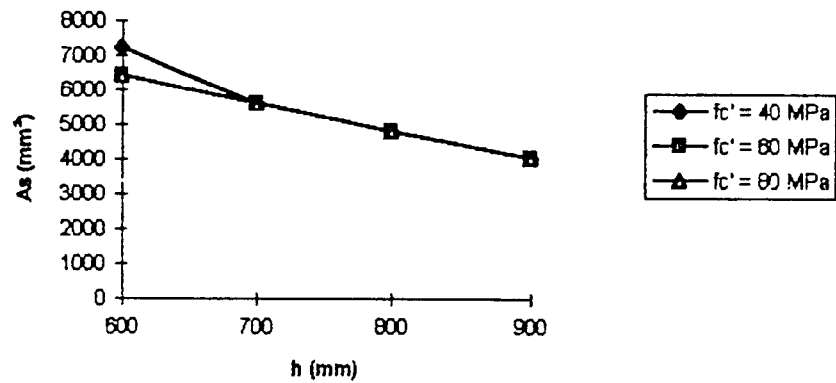
Grafik 5.4 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 450$ mm, dan panjang bentangan 9 m



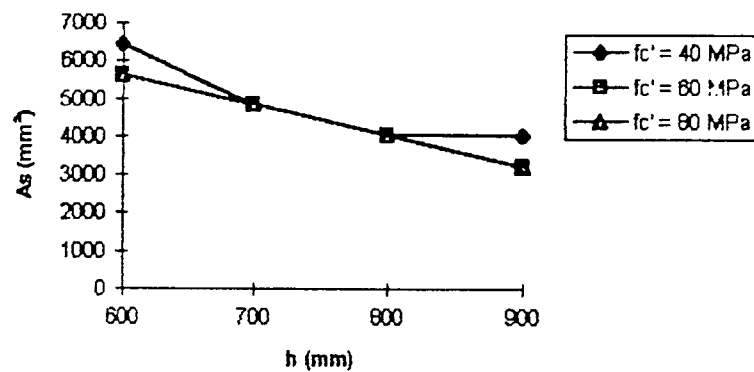
Grafik 5.5 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 450$ mm, dan panjang bentangan 9 m



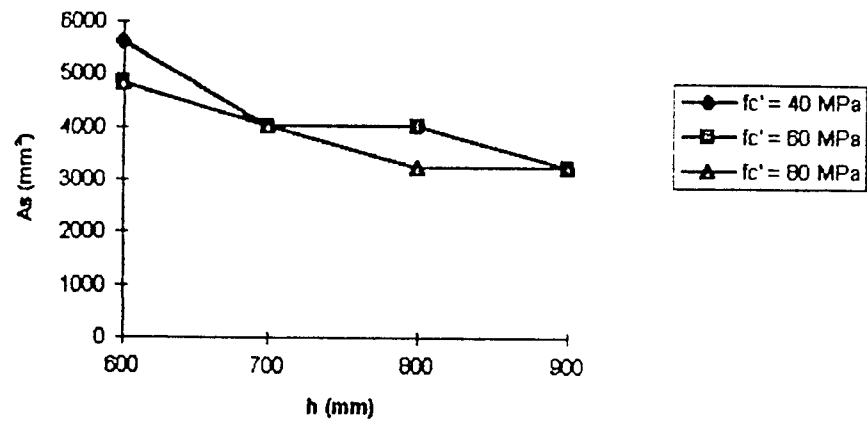
Grafik 5.6 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 450$ mm, dan panjang bentangan 9 m



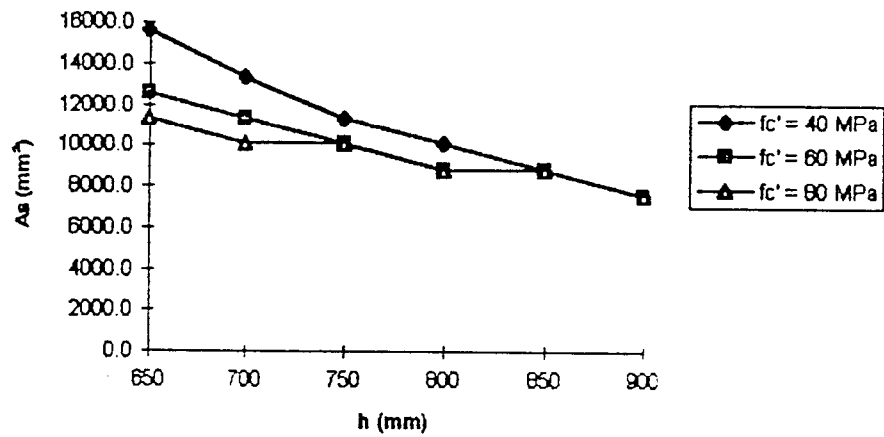
Grafik 5.7 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 500$ mm, dan panjang bentangan 9 m



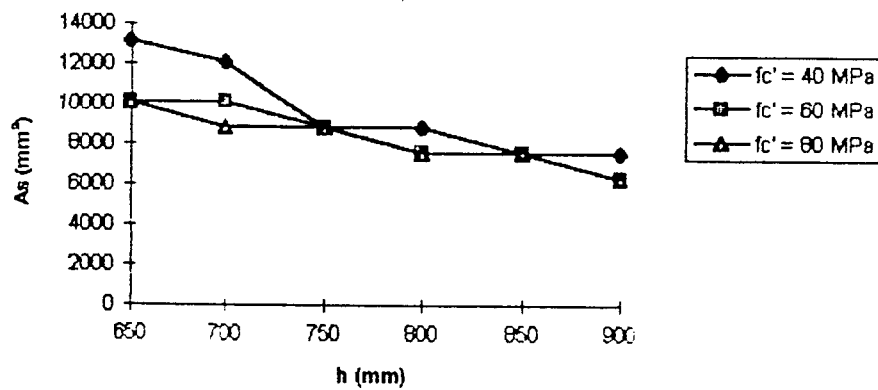
Grafik 5.8 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 500$ mm, dan panjang bentangan 9 m



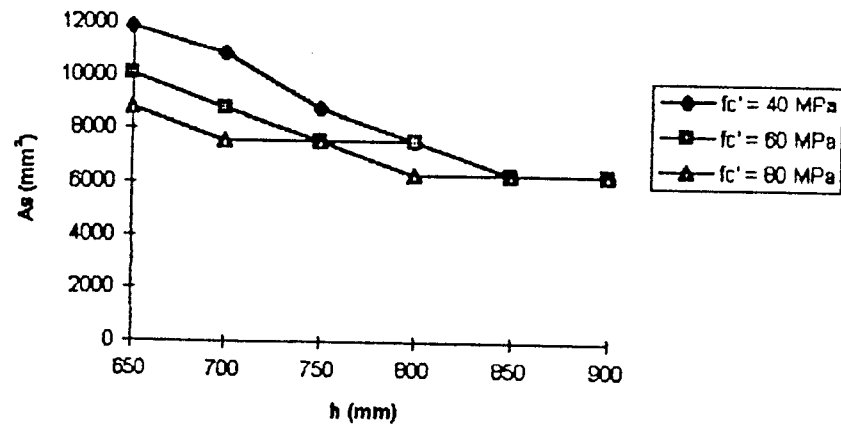
Grafik 5.9 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 500$ mm, dan panjang bentangan 9 m



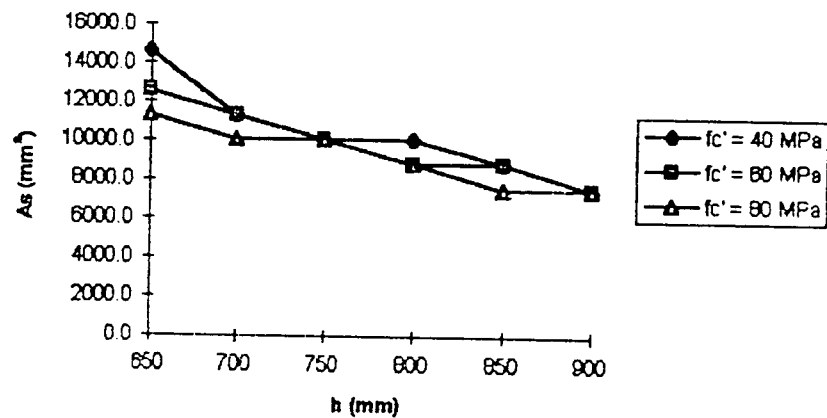
Grafik 5.10 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 400$ mm, dan panjang bentangan 12 m



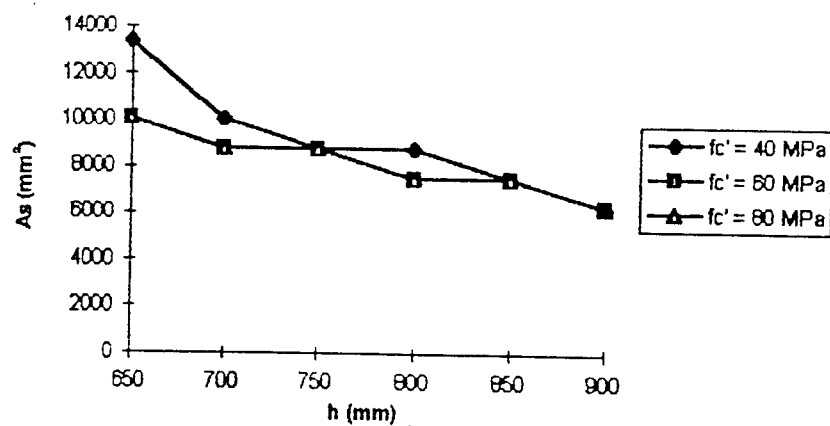
Grafik 5.11 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 400$ mm, dan panjang bentangan 12 m



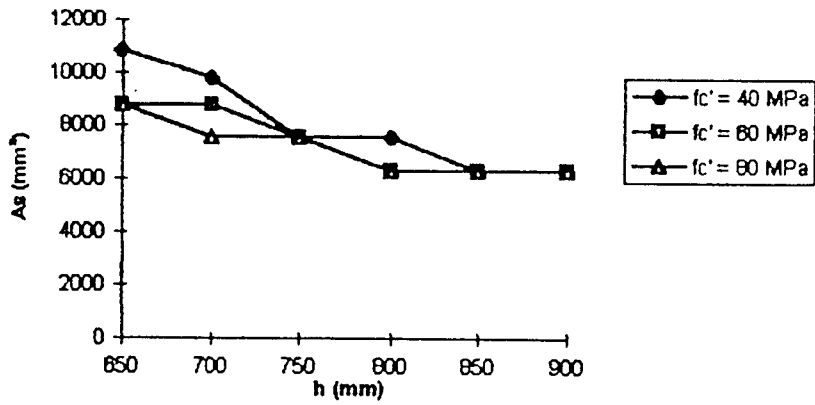
Grafik 5.12 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 400$ mm, dan panjang bentang 12 m



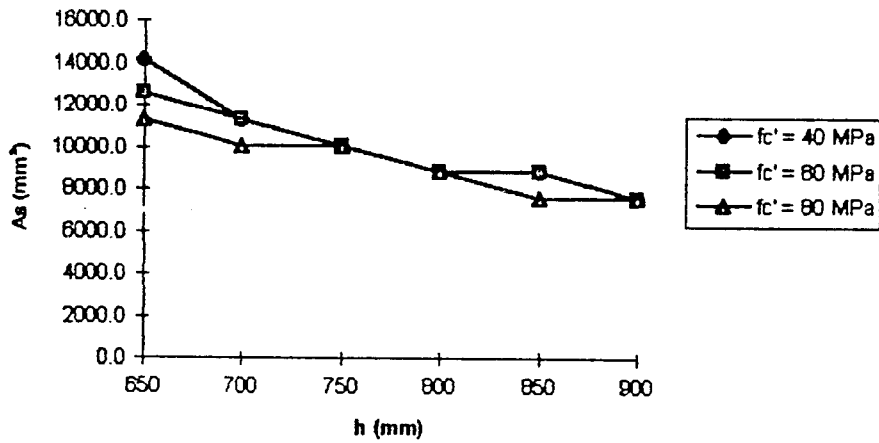
Grafik 5.13 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 450$ mm, dan panjang bentangan 12 m



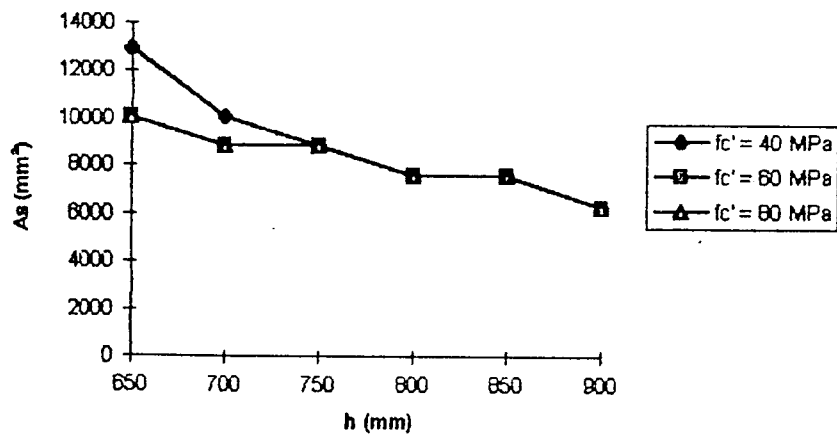
Grafik 5.14 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 450$ mm, dan panjang bentangan 12 m



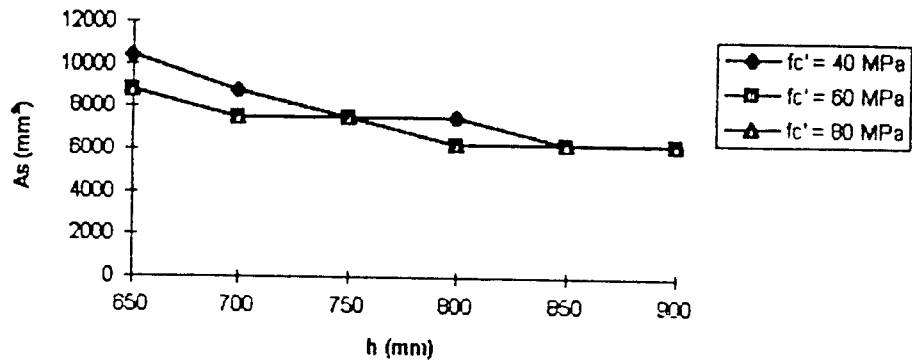
Grafik 5.15 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 450$ mm, dan panjang bentangan 12 m



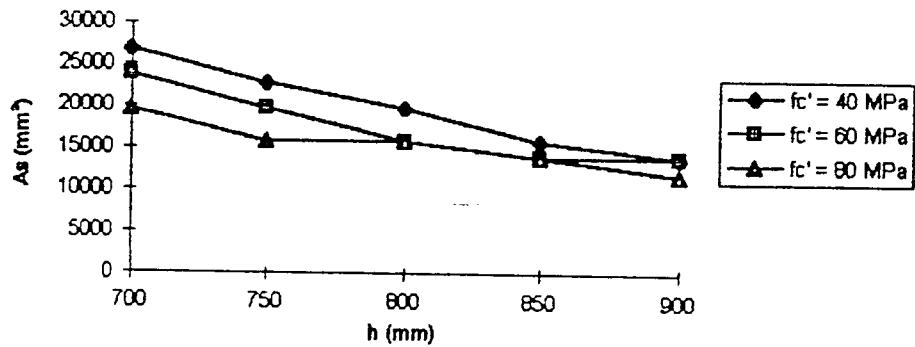
Grafik 5.16 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 500$ mm, dan panjang bentangan 12 m



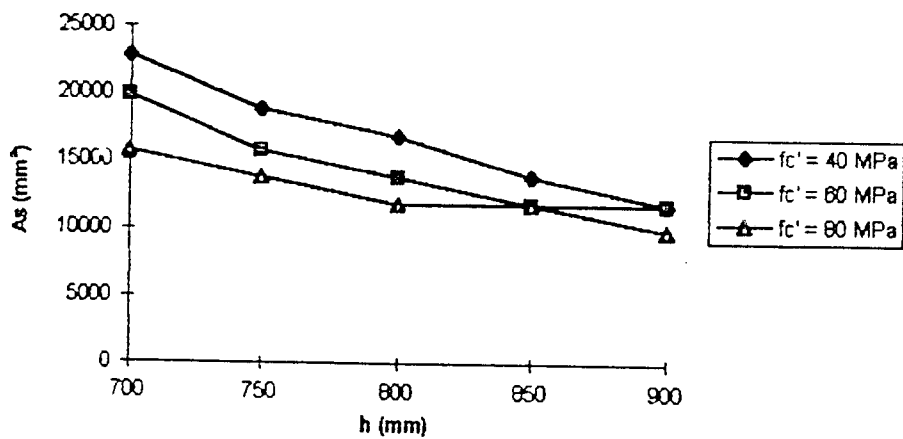
Grafik 5.17 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 500$ mm, dan panjang bentangan 12 m



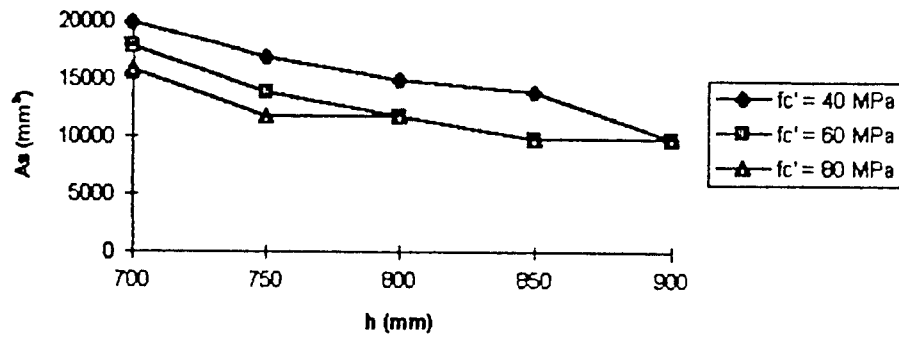
Grafik 5.18 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 500$ mm, dan panjang bentangan 12 m



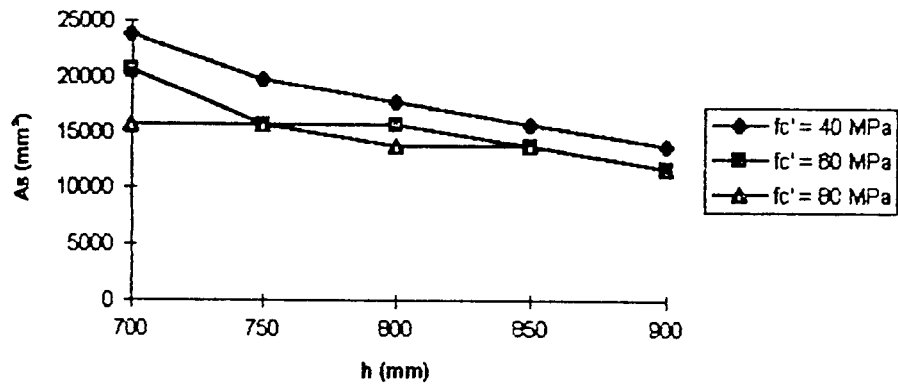
Grafik 5.19 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 400$ mm, dan panjang bentangan 15 m



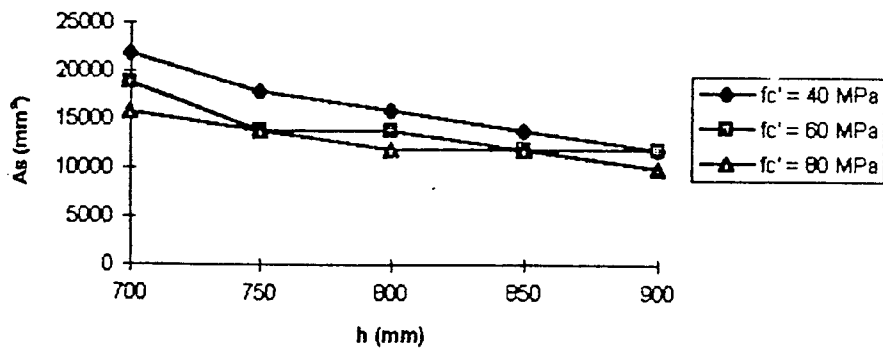
Grafik 5.20 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 400$ mm, dan panjang bentangan 15 m



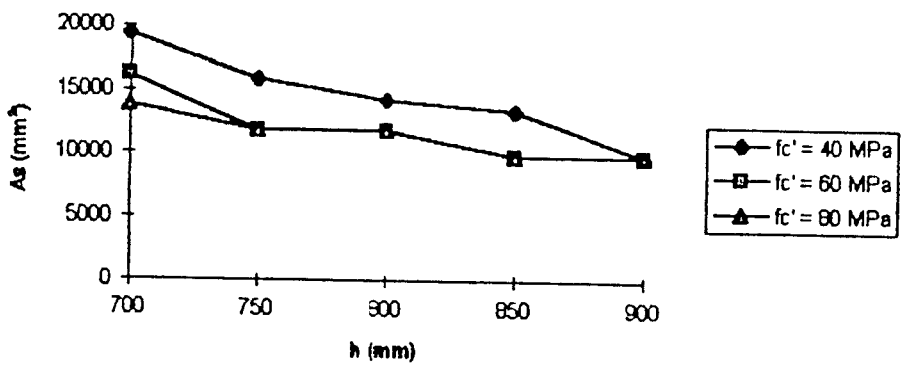
Grafik 5.21 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$, $b = 400 \text{ mm}$, dan panjang bentangan 15 m



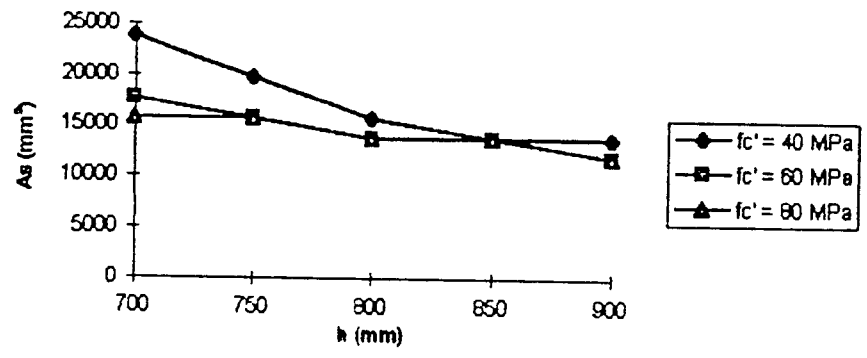
Grafik 5.22 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 300 \text{ MPa}$, $b = 450 \text{ mm}$, dan panjang bentangan 15 m



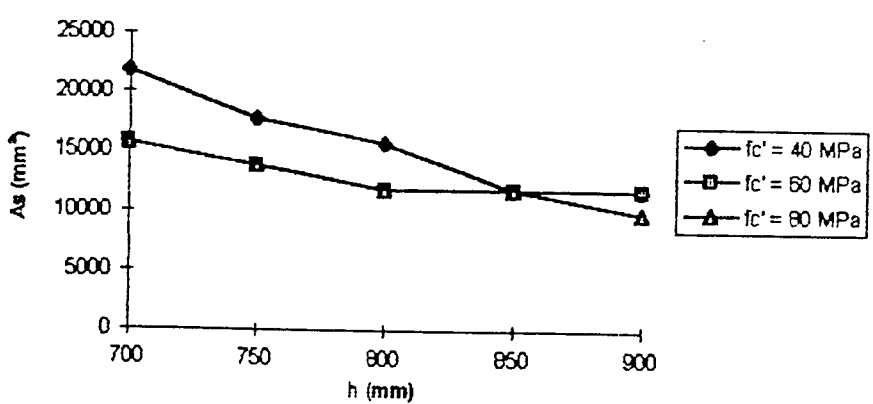
Grafik 5.23 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 350 \text{ MPa}$, $b = 450 \text{ mm}$, dan panjang bentangan 15 m



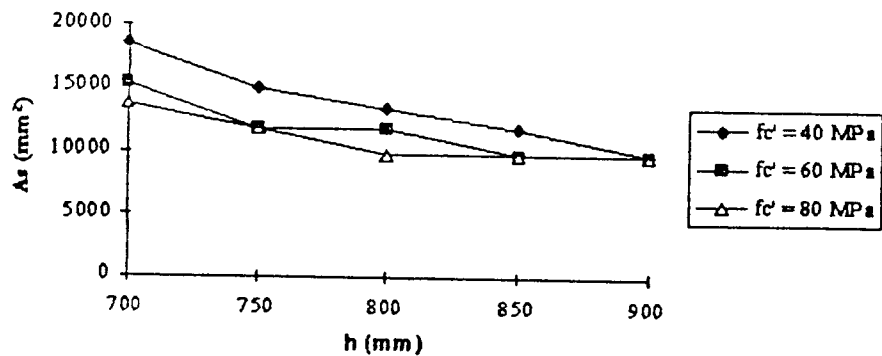
Grafik 5.24 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 400$ MPa, $b = 450$ mm, dan panjang bentangan 15 m



Grafik 5.25 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 300$ MPa, $b = 500$ mm, dan panjang bentangan 15 m



Grafik 5.26 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi penampang untuk $f_y = 350$ MPa, $b = 500$ mm, dan panjang bentangan 15 m



Grafik 5.27 Hubungan antara luas tulangan dan tinggi pensampang untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$, $b = 500 \text{ mm}$, dan panjang bentangan 15 m

5.2 Pembahasan

Sampai saat ini belum terdapat perumusan yang jelas tentang pendesainan beton mutu tinggi, bahkan dalam *ACI building code* belum ditetapkan ketentuan-ketentuan tentang beton mutu tinggi tersebut. Penyelidikan-penyelidikan untuk menentukan variabel-variabel baru dan pengaruh beton mutu tinggi dalam pendesainan balok telah banyak dilakukan. Beberapa ahli mencoba membandingkan ketentuan-ketentuan yang digunakan untuk beton biasa dengan beton mutu tinggi, sehingga diperoleh berbagai hipotesis dan kesimpulan. Ternyata sebagian besar ketentuan pada beton biasa masih digunakan untuk beton mutu tinggi, hanya beberapa variabel seperti perumusan α_1 , β_1 , dan jarak sengkang minimum yang mengalami perubahan.

Analisis desain dikhususkan pada balok beton mutu tinggi ditinjau terhadap kekuatan lentur dan geser-nya, dengan panjang bentang yang bervariasi yaitu 9 m, 12 m, dan 15 m. Dengan menggunakan mutu beton dan panjang bentang yang bervariasi ini, diharapkan dapat ditemukan hubungan antara kekuatan lentur dan geser pada balok terhadap peningkatan mutu beton.

Dalam desain ini dicoba beberapa ukuran penampang balok, untuk mengetahui sejauh mana kapasitas penampang balok beton mutu tinggi mampu menahan beban dengan panjang bentang tertentu. Penampang balok mempengaruhi momen nominal dengan semakin besar ukuran penampang balok, maka momen nominal yang dihasilkan semakin besar pula. Untuk itulah dianalisis penampang balok beton bertulang mutu tinggi yang ekonomis serta mampu menahan lentur dan geser.

Dari penjelasan pada sub bab sebelumnya, peningkatan mutu beton pada dimensi penampang yang sama dapat mengurangi luas tulangan yang dibutuhkan. Tetapi pada balok dengan panjang bentangan 9 m, peningkatan mutu beton terhadap luas tulangan yang dibutuhkan hanya berpengaruh pada tinggi penampang yang kecil ($h = 700 \text{ mm}$). Sedangkan pada balok dengan panjang bentang 12 m dan 15 m hal tersebut terlihat jelas, terutama pada balok dengan tinggi penampang lebih kecil dari 800 mm ($h < 800 \text{ mm}$), tetapi pada tinggi penampang yang tinggi ($h \geq 800 \text{ mm}$) tidak terlihat pengaruh tersebut. Sebenarnya pada perhitungan untuk tinggi penampang $h > 700 \text{ mm}$ pada balok dengan panjang bentang 9 m, dan $h \geq 800 \text{ mm}$ pada balok panjang bentang 12 m dan 15 m, peningkatan mutu beton tetap memperkecil luas tulangan yang dibutuhkan. Tetapi untuk mempermudah dalam menganalisis balok-balok tersebut, maka pada desain diambil diameter tulangan yang sama untuk setiap balok dengan panjang bentangan tertentu. Hal ini menyebabkan luas tulangan yang dihasilkan menjadi lebih besar, sehingga pada beberapa penampang tidak terlihat pengaruh peningkatan luas tulangan dengan meningkatnya mutu beton.

Hasil perhitungan geser pada balok beton bertulang mutu tinggi memperlihatkan bahwa untuk mutu beton 80 MPa, jarak sengkang pada daerah minimum menjadi lebih

rapat. Padahal jarak sengkang seharusnya semakin lebar dengan meningkatnya mutu beton. Hal tersebut dikarenakan pemakaian rumus jarak sengkang minimum untuk beton dengan $f_c' \geq 80\text{MPa}$ berbeda dengan perumusan untuk $f_c' < 80\text{ Mpa}$.

esimp
Da
ang n
ngar
maki
da s
ri 4
ri 6
nga
nga
ih k
ri h
umu
ebu
ok l
njau
jadi
h rap

6.2 Saran-saran

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam melaksanakan studi lebih lanjut tentang desain balok beton bertulang mutu tinggi antara lain sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui lebih jauh kemampuan beton mutu tinggi dalam menahan beban, hendaknya dilakukan perhitungan untuk $f_c' > 80\text{MPa}$ dengan bentang yang lebih panjang.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap perumusan jarak sengkang minimum untuk f_c' yang besar.
3. Perlu dilakukan studi mengenai pengaruh torsi dan defleksi pada balok beton bertulang mutu tinggi, serta perhitungan desain beton mutu tinggi untuk elemen-elemen struktur yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Nilson, A.H., "Design Implications of Current Research", High-Strength Concrete, Russell, H.G., Editor, SP-87, American Concrete Institute, Detroit, 1985.
- Nawy, E.G., "Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar", PT. Eresco, Bandung, 1990.
- Fourth International Symposium on the "Utilization of High-Strength / High-Performance concrete", France, 29-31 May 1996.
- Dipohusodo, I., "Struktur Beton Bertulang", Berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1994.
- Macgregor, J.G., "Reinforced Concrete Mechanics and Design", International Edition, Prentice-Hall International Inc., 1997.
- Roller, J.J. dan Russell, H.G., "Shear Strength of High-Strength Concrete Beams with Web Reinforcement", ACI Structural Journal, Maret-April 1990.
- Wahyudi, L., Rahim, S.A., "Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI-T-15-1991-03", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1997.
- Pendyala, R., Mendis, M., Patnaikuni, I., "Full-Range Behavior of High-Strength Concrete Flexural Members : Comparison of Ductility Parameter of High and Normal-Strength Concrete Members", ACI Structural Journal, Januari-Februari 1996.
- French, S.E., Ph.D., P.e., "Reinforced Concrete Technology", Delmar Publishers Inc., 1994.

Shah, S.P., dan Ahmad, S.H., "High-Performance Concrete and Applications", British Library, Arnold, E., A member of the Hodder Headline Group, London-Melbourne-Auckland, 1994.

Yoon, Cook, W.P., dan Mitchel, D., "Minimum Shear Reinforcement in Normal, Medium, and High-Strength Concrete Beams", ACI Structural Journal, September-Oktober 1996.

Besari, M.S., Munaf, D.R., Hanafiah, "The Effect of Fly-Ash and Strength of Coarse Aggregate to the Mechanical Properties of High-Strength Concrete", 17th Conference on Our World in Concrete and Structures, 25-27 Agustus 1992, Singapore.

LAMPIRAN

TABEL 1.a HASIL PERHITUNGAN DESAIN LENTUR PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 9 m

	f _c ' MPa	b mm	h mm	f _y = 300 MPa			f _y = 350 MPa			f _y = 400 MPa		
				tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)
[1]	40	400	600	9D ₃₂	7238.7	937.784	8D ₃₂	6434.4	978.860	7D ₃₂	5630.1	990.321
[2]			700	7D ₃₂	5630.1	945.412	6D ₃₂	4825.8	960.251	6D ₃₂	4825.8	1079.236
[3]			800	6D ₃₂	4825.8	978.596	5D ₃₂	4021.5	969.811	5D ₃₂	4021.5	1095.721
[4]			900	5D ₃₂	4021.5	958.975	5D ₃₂	4021.5	1110.563	4D ₃₂	3217.2	1021.437
[5]	60	400	600	9D ₃₂	7238.7	995.227	7D ₃₂	5630.1	935.498	7D ₃₂	5630.1	1052.098
[6]			700	7D ₃₂	5630.1	980.161	6D ₃₂	4825.8	995.001	5D ₃₂	4021.5	966.379
[7]			800	6D ₃₂	4825.8	1004.127	5D ₃₂	4021.5	993.943	5D ₃₂	4021.5	1127.239
[8]			900	5D ₃₂	4021.5	976.704	5D ₃₂	4021.5	1134.695	4D ₃₂	3217.2	1041.609
[9]	80	400	600	8D ₃₂	6434.4	927.345	7D ₃₂	5630.1	958.983	6D ₃₂	4825.8	954.128
[10]			700	7D ₃₂	5630.1	997.416	6D ₃₂	4825.8	1012.256	5D ₃₂	4021.5	982.030
[11]			800	6D ₃₂	4825.8	1016.804	5D ₃₂	4021.5	1005.925	4D ₃₂	3217.2	922.937
[12]			900	5D ₃₂	4021.5	985.508	4D ₃₂	3217.2	923.946	4D ₃₂	3217.2	1051.625

TABEL 1.b HASIL PERHITUNGAN DESAIN LENTUR PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 9 m

	fc' MPa	b mm	h mm	fy = 300 MPa			fy = 350 MPa			fy = 400 MPa		
				tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)
[1]	40	450	600	9D ₃₂	7238.7	976.349	8D ₃₂	6434.4	1016.918	7D ₃₂	5630.1	1030.672
[2]			700	7D ₃₂	5630.1	974.925	6D ₃₂	4825.8	988.679	5D ₃₂	4021.5	946.091
[3]			800	6D ₃₂	4825.8	1004.342	5D ₃₂	4021.5	978.409	5D ₃₂	4021.5	1106.951
[4]			900	5D ₃₂	4021.5	967.705	5D ₃₂	4021.5	1119.162	4D ₃₂	3217.2	1028.625
[5]	60	450	600	9D ₃₂	7238.7	1027.410	7D ₃₂	5630.1	963.831	6D ₃₂	4825.8	961.059
[6]			700	7D ₃₂	5630.1	1005.814	6D ₃₂	4825.8	1019.568	5D ₃₂	4021.5	974.108
[7]			800	6D ₃₂	4825.8	1027.036	5D ₃₂	4021.5	999.860	5D ₃₂	4021.5	1134.968
[8]			900	5D ₃₂	4021.5	983.464	5D ₃₂	4021.5	1140.612	4D ₃₂	3217.2	1046.555
[9]	80	450	600	8D ₃₂	6434.4	953.585	7D ₃₂	5630.1	984.018	6D ₃₂	4825.8	981.092
[10]			700	7D ₃₂	5630.1	1021.152	6D ₃₂	4825.8	1034.905	5D ₃₂	4021.5	988.020
[11]			800	6D ₃₂	4825.8	1038.305	5D ₃₂	4021.5	1010.511	4D ₃₂	3217.2	926.771
[12]			900	5D ₃₂	4021.5	991.29	4D ₃₂	3217.2	926.881	4D ₃₂	3217.2	1055.459

TABEL 1.c HASIL PERHITUNGAN DESAIN LENTUR PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 9 m

	fc MPa	b mm	h mm	fy = 300 MPa			fy = 350 MPa			fy = 400 MPa		
				tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)
[1]	40	500	600	9D ₃₂	7238.7	992.724	8D ₃₂	6434.4	1034.528	7D ₃₂	5630.1	1048.282
[2]			700	7D ₃₂	5630.1	984.831	6D ₃₂	4825.8	998.586	5D ₃₂	4021.5	955.076
[3]			800	6D ₃₂	4825.8	1011.620	5D ₃₂	4021.5	985.288	5D ₃₂	4021.5	1115.936
[4]			900	5D ₃₂	4021.5	972.759	5D ₃₂	4021.5	1126.041	4D ₃₂	3217.2	1034.375
[5]	60	500	600	8D ₃₂	6434.4	942.455	7D ₃₂	5630.1	972.420	6D ₃₂	4825.8	969.962
[6]			700	7D ₃₂	5630.1	1012.631	6D ₃₂	4825.8	1026.384	5D ₃₂	4021.5	980.291
[7]			800	6D ₃₂	4825.8	1032.044	5D ₃₂	4021.5	1004.594	5D ₃₂	4021.5	1141.151
[8]			900	5D ₃₂	4021.5	986.942	4D ₃₂	3217.2	923.094	4D ₃₂	3217.2	1050.513
[9]	80	500	600	8D ₃₂	6434.4	960.485	7D ₃₂	5630.1	991.208	6D ₃₂	4825.8	987.992
[10]			700	7D ₃₂	5630.1	1026.435	6D ₃₂	4825.8	1040.188	5D ₃₂	4021.5	992.812
[11]			800	6D ₃₂	4825.8	1042.186	5D ₃₂	4021.5	1014.180	4D ₃₂	3217.2	929.838
[12]			900	5D ₃₂	4021.5	993.985	4D ₃₂	3217.2	929.229	4D ₃₂	3217.2	1058.526

TABEL 2.a HASIL PERHITUNGAN DESAIN LENTUR PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 12 m

No	fc MPa	b mm	h mm	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa			
				tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)
[1]	40	400	650	10D ₄₀	12565	3053.7	1713.833	8D ₄₀	10052	3053.7	1680.228	7D ₄₀	8795.5	3053.7	1721.263
[2]			700	9D ₄₀	11309	2035.8	1724.973	8D ₄₀	10052	2035.8	1806.407	7D ₄₀	8795.5	2035.8	1843.346
[3]			750	9D ₄₀	11309	0	1793.267	7D ₄₀	8795.5	0	1696.759	7D ₄₀	8795.5	0	1878.715
[4]			800	8D ₄₀	10052	0	1802.810	7D ₄₀	8795.5	0	1850.680	6D ₄₀	7539.0	0	1843.647
[5]			850	7D ₄₀	8795.5	0	1763.558	6D ₄₀	7539.0	0	1783.976	5D ₄₀	6282.5	0	1738.584
[6]			900	6D ₄₀	7539	0	1675.510	6D ₄₀	7539.0	0	1915.909	5D ₄₀	6282.5	0	1864.234
[7]	60	400	650	10D ₄₀	12565	0	1719.530	8D ₄₀	10052	0	1657.247	8D ₄₀	8795.5	0	1839.673
[8]			700	9D ₄₀	11309	0	1763.833	8D ₄₀	10052	0	1833.157	7D ₄₀	8795.5	0	1853.575
[9]			750	8D ₄₀	11309	0	1762.801	7D ₄₀	8795.5	0	1812.192	6D ₄₀	7539.0	0	1803.637
[10]			800	7D ₄₀	8795.5	0	1716.434	6D ₄₀	7539.0	0	1736.852	6D ₄₀	7539.0	0	1954.417
[11]			850	7D ₄₀	8795.5	0	1848.367	6D ₄₀	7539.0	0	1868.785	5D ₄₀	6282.5	0	1815.507
[12]			900	6D ₄₀	7539	0	1737.819	5D ₄₀	6282.5	0	1717.081	5D ₄₀	6282.5	0	1941.157
[13]	80	400	650	9D ₄₀	11309	0	1663.818	8D ₄₀	10052	0	1732.112	7D ₄₀	8795.5	0	1752.531
[14]			700	8D ₄₀	10052	0	1667.024	7D ₄₀	8795.5	0	1715.590	6D ₄₀	7539.0	0	1707.860
[15]			750	8D ₄₀	11309	0	1817.804	7D ₄₀	8795.5	0	1869.511	6D ₄₀	7539.0	0	1858.640
[16]			800	7D ₄₀	8795.5	0	1758.546	6D ₄₀	7539.0	0	1778.964	5D ₄₀	6282.5	0	1728.054
[17]			850	7D ₄₀	8795.5	0	1890.478	6D ₄₀	7539.0	0	1910.897	5D ₄₀	6282.5	0	1853.704
[18]			900	6D ₄₀	7539	0	1768.758	5D ₄₀	6282.5	0	1746.325	5D ₄₀	6282.5	0	1979.354

TABEL 3. a HASIL PERHITUNGAN DESAIN LENTUR PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 15 M

	fc' MPa	b mm	h mm	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa				
				tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	tul tekan
[1]	40	400	700	10D ₅₀	19635	7D ₃₆	7125.3	8D ₅₀	15708	7D ₃₆	7125.3	7D ₅₀	13745	6D ₃₆	6107.4	2705.998
[2]			750	9D ₅₀	17672	5D ₃₆	5089.5	7D ₅₀	13745	5D ₃₆	5089.5	6D ₅₀	11781	5D ₃₆	5089.5	2648.717
[3]			800	8D ₅₀	15708	4D ₃₆	4071.6	7D ₅₀	13745	3D ₃₆	3053.7	6D ₅₀	11781	3D ₃₆	3053.7	2748.975
[4]			850	8D ₅₀	15708	2D ₃₆	2035.8	6D ₅₀	11781	2D ₃₆	2035.8	6D ₅₀	11781	2D ₃₆	2035.8	2624.231
[5]			900	7D ₅₀	13745	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	2675.772
[6]	60	400	700	10D ₅₀	19635	4D ₃₆	4071.6	8D ₅₀	15708	4D ₃₆	4071.6	7D ₅₀	13745	4D ₃₆	4071.6	2734.961
[7]			750	9D ₅₀	17672	2D ₃₆	2035.8	7D ₅₀	13745	2D ₃₆	2035.8	6D ₅₀	11781	2D ₃₆	2035.8	2688.694
[8]			800	8D ₅₀	15708	0	0	7D ₅₀	13745	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	2759.060
[9]			850	7D ₅₀	13745	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	2676.703
[10]			900	7D ₅₀	13745	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	2882.870
[11]	80	400	700	10D ₅₀	19635	0	0	8D ₅₀	15708	0	0	7D ₅₀	13745	2D ₃₆	2035.8	2655.231
[12]			750	9D ₅₀	17672	0	0	7D ₅₀	13745	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	2658.501
[13]			800	8D ₅₀	15708	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	2573.370
[14]			850	7D ₅₀	13745	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	6D ₅₀	11781	0	0	2779.537
[15]			900	6D ₅₀	11781	0	0	5D ₅₀	9817.5	0	0	5D ₅₀	9817.5	0	0	2571.644

TABEL 3.b HASIL PERHITUNGAN DESAIN LENTUR PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 15 M

	fc' MPa	b mm	h mm	fy = 300 MPa					fy = 350 MPa					fy = 400 MPa				
				tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)
[1]	40	450	700	10D ₅₀	17672	6D ₃₆	6107.4	2648.782	8D ₅₀	15708	6D ₃₆	6107.4	2784.853	7D ₅₀	13745	7D ₃₂	5630.1	2832.864
[2]			750	9D ₅₀	15708	4D ₃₆	4071.6	2719.029	7D ₅₀	13745	4D ₃₆	4071.6	2687.866	6D ₅₀	11781	5D ₃₂	4021.5	2723.402
[3]			800	8D ₅₀	15708	2D ₃₆	2035.8	2641.882	7D ₅₀	13745	2D ₃₆	2035.8	2793.330	6D ₅₀	11781	3D ₃₂	2412.9	2847.122
[4]			850	8D ₅₀	15708	0	0	2742.028	6D ₅₀	11781	0	0	2594.940	6D ₅₀	11781	2D ₃₂	1608.6	3017.666
[5]			900	7D ₅₀	13745	0	0	2711.867	6D ₅₀	11781	0	0	2801.108	5D ₅₀	9817.5	0	0	2743.582
[6]	60	450	700	10D ₅₀	19635	3D ₃₆	3053.7	2703.304	8D ₅₀	15708	3D ₃₆	3053.7	2790.520	7D ₅₀	13745	3D ₃₂	2412.9	2810.007
[7]			750	9D ₅₀	17672	0	0	2684.244	7D ₅₀	13745	0	0	2639.194	6D ₅₀	11781	0	0	2638.463
[8]			800	8D ₅₀	15708	0	0	2746.848	7D ₅₀	13745	0	0	2879.723	6D ₅₀	11781	0	0	2874.083
[9]			850	7D ₅₀	13745	0	0	2689.786	6D ₅₀	11781	0	0	2779.027	5D ₅₀	9817.5	0	0	2714.204
[10]			900	7D ₅₀	13745	0	0	2895.953	6D ₅₀	11781	0	0	2587.039	5D ₅₀	9817.5	0	0	2910.554
[11]	80	450	700	9D ₅₀	17672	0	0	2570.275	8D ₅₀	15708	0	0	2776.74	7D ₅₀	13745	0	0	2813.556
[12]			750	8D ₅₀	15708	0	0	2630.619	7D ₅₀	13745	0	0	2763.611	6D ₅₀	11781	0	0	2757.854
[13]			800	7D ₅₀	13745	0	0	2575.027	6D ₅₀	11781	0	0	2664.268	6D ₅₀	11781	0	0	2993.474
[14]			850	7D ₅₀	13745	0	0	2781.195	6D ₅₀	11781	0	0	2870.436	5D ₅₀	9817.5	0	0	2797.115
[15]			900	6D ₅₀	11781	0	0	2624.394	5D ₅₀	9817.5	0	0	2650.517	5D ₅₀	9817.5	0	0	2993.465

TABEL 3.c HASIL PERHITUNGAN DESAIN LENTUR PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 15 M

	fc' MPa	b mm	h mm	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa						
				tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)	tul tarik	luas tul tarik (mm ²)	tul tekan	luas tul tekan (mm ²)	Momen nominal (kN-m)
[1]	40	500	700	9D ₅₀	17672	6D ₃₆	6107.4	2602.055	8D ₅₀	15708	6D ₃₆	6107.4	2759.698	7D ₅₀	13745	6D ₃₂	4825.8	2840.950
[2]			750	8D ₅₀	15708	4D ₃₆	4071.6	2572.776	7D ₅₀	13745	4D ₃₆	4071.6	2686.581	6D ₅₀	11781	4D ₃₂	3217.2	2713.723
[3]			800	8D ₅₀	15708	0	0	2627.693	7D ₅₀	13745	2D ₃₆	2035.8	2826.488	6D ₅₀	11781	2D ₃₂	1608.6	2840.997
[4]			850	7D ₅₀	13745	0	0	2608.913	6D ₅₀	11781	0	0	2653.975	6D ₅₀	11781	0	0	2946.369
[5]			900	7D ₅₀	13745	0	0	2815.080	6D ₅₀	11781	0	0	2860.142	5D ₅₀	9817.5	0	0	2797.128
[6]	60	500	700	9D ₅₀	17672	0	0	2574.686	8D ₅₀	15708	0	0	2686.460	7D ₅₀	13745	2D ₃₂	1608.6	2818.941
[7]			750	8D ₅₀	15708	0	0	2608.469	7D ₅₀	13745	0	0	2694.491	6D ₅₀	11781	0	0	2691.525
[8]			800	7D ₅₀	13745	0	0	2568.423	6D ₅₀	11781	0	0	2613.486	6D ₅₀	11781	0	0	2927.145
[9]			850	7D ₅₀	13745	0	0	2774.591	6D ₅₀	11781	0	0	2819.653	5D ₅₀	9817.5	0	0	2751.054
[10]			900	6D ₅₀	11781	0	0	2631.264	6D ₅₀	11781	0	0	3025.821	5D ₅₀	9817.5	0	0	2947.404
[11]	80	500	700	9D ₅₀	17672	0	0	2710.680	8D ₅₀	15708	0	0	2832.714	7D ₅₀	13745	0	0	2869.630
[12]			750	8D ₅₀	15708	0	0	2715.921	7D ₅₀	13745	0	0	2806.466	6D ₅₀	11781	0	0	2798.977
[13]			800	7D ₅₀	13745	0	0	2650.691	6D ₅₀	11781	0	0	2695.753	5D ₅₀	9817.5	0	0	2629.323
[14]			850	7D ₅₀	13745	0	0	2856.859	6D ₅₀	11781	0	0	2901.921	5D ₅₀	9817.5	0	0	2825.673
[15]			900	6D ₅₀	11781	0	0	2691.705	5D ₅₀	9817.5	0	0	2672.382	5D ₅₀	9817.5	0	0	3022.023

TABEL 4.a HASIL PERHITUNGAN DESAIN GESER PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 9 m

	fc' (MPa)	b (mm)	h (mm)	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa			
				Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm
[1]	40	400	600	290.95	129.02	Ø10-80	Ø10-250	290.22	131.55	Ø10-100	Ø10-260	290.22	131.55	Ø10-120	Ø10-260
[2]			700	282.93	156.85	Ø10-130	Ø10-310	282.20	159.38	Ø10-160	Ø10-310	282.20	159.38	Ø10-190	Ø10-310
[3]			800	274.91	184.68	Ø10-220	Ø10-350	274.18	187.21	Ø10-280	Ø10-370	274.18	187.21	Ø10-320	Ø10-370
[4]			900	266.89	212.51	Ø10-350	Ø10-350	266.89	212.51	Ø10-410	Ø10-410	266.89	212.51	Ø10-420	Ø10-420
[5]	60	400	600	290.95	158.02	Ø10-100	Ø10-250	290.22	161.12	Ø10-130	Ø10-260	290.22	161.12	Ø10-150	Ø10-260
[6]			700	282.93	192.10	Ø10-190	Ø10-310	282.20	195.20	Ø10-230	Ø10-310	281.47	198.30	Ø10-280	Ø10-320
[7]			800	274.91	226.18	Ø10-350	Ø10-350	274.18	229.28	Ø10-370	Ø10-370	274.18	229.28	Ø10-370	Ø10-370
[8]			900	266.89	260.26	Ø10-350	Ø10-350	266.89	260.26	Ø10-410	Ø10-410	266.89	260.26	Ø10-420	Ø10-420
[9]	80	400	600	292.22	182.46	Ø10-110	Ø10-110	290.22	186.04	Ø10-130	Ø10-130	289.49	186.04	Ø10-150	Ø10-150
[10]			700	282.93	221.82	Ø10-110	Ø10-110	282.20	225.4	Ø10-130	Ø10-130	281.47	228.97	Ø10-150	Ø10-150
[11]			800	274.91	261.17	Ø10-110	Ø10-110	274.18	264.75	Ø10-130	Ø10-130	274.18	264.75	Ø10-150	Ø10-150
[12]			900	266.89	300.53	Ø10-110	Ø10-110	266.89	300.53	Ø10-130	Ø10-130	266.89	300.53	Ø10-150	Ø10-150

TABEL 4.b HASIL PERHITUNGAN DESAIN GESER PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 9 m

	fc' (MPa)	b (mm)	h (mm)	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa			
				Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm
[1]	40	450	600	290.22	147.99	Ø10-100	Ø10-260	290.22	147.99	Ø10-120	Ø10-260	289.49	150.84	Ø10-140	Ø10-260
[2]			700	282.20	179.30	Ø10-170	Ø10-310	281.47	182.15	Ø10-210	Ø10-320	281.47	182.15	Ø10-240	Ø10-320
[3]			800	274.18	210.61	Ø10-310	Ø10-310	274.18	210.61	Ø10-360	Ø10-360	274.18	210.61	Ø10-370	Ø10-370
[4]			900	266.89	239.07	Ø10-310	Ø10-310	266.89	239.07	Ø10-360	Ø10-360	266.89	239.07	Ø10-410	Ø10-410
[5]	60	450	600	290.22	181.26	Ø10-130	Ø10-260	289.44	181.26	Ø10-150	Ø10-260	288.76	150.84	Ø10-200	Ø10-270
[6]			700	282.20	219.60	Ø10-280	Ø10-310	281.47	223.08	Ø10-320	Ø10-320	281.47	223.08	Ø10-320	Ø10-320
[7]			800	274.18	257.94	Ø10-310	Ø10-310	274.18	257.94	Ø10-360	Ø10-360	274.18	257.94	Ø10-370	Ø10-370
[8]			900	266.89	292.80	Ø10-310	Ø10-310	266.89	292.80	Ø10-360	Ø10-360	266.89	292.80	Ø10-410	Ø10-410
[9]	80	450	600	290.22	209.30	Ø10-100	Ø10-100	289.49	213.32	Ø10-120	Ø10-120	288.76	217.35	Ø10-130	Ø10-130
[10]			700	282.20	253.57	Ø10-100	Ø10-100	281.47	257.6	Ø10-120	Ø10-120	281.47	257.60	Ø10-130	Ø10-130
[11]			800	274.18	297.84	Ø10-100	Ø10-100	274.18	297.84	Ø10-120	Ø10-120	274.18	297.84	Ø10-130	Ø10-130
[12]			900	266.89	338.09	Ø10-100	Ø10-100	266.89	338.09	Ø10-120	Ø10-120	266.89	338.09	Ø10-130	Ø10-130

TABEL 4.c HASIL PERHITUNGAN DESAIN GESER PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 9 m

	fc' (MPa)	b (mm)	h (mm)	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa			
				Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm
[1]	40	500	600	290.22	164.44	Ø10-110	Ø10-260	290.22	164.44	Ø10-130	Ø10-260	289.49	167.60	Ø10-160	Ø10-260
[2]			700	282.20	199.22	Ø10-210	Ø10-280	281.47	202.39	Ø10-260	Ø10-320	281.47	202.39	Ø10-300	Ø10-320
[3]		800	800	274.18	234.01	Ø10-280	Ø10-280	274.18	234.01	Ø10-320	Ø10-320	274.18	234.01	Ø10-370	Ø10-370
[4]			900	266.89	265.89	Ø10-280	Ø10-280	266.89	265.89	Ø10-320	Ø10-320	266.89	265.63	Ø10-370	Ø10-370
[5]	60	500	600	290.22	201.40	Ø10-160	Ø10-260	289.49	205.27	Ø10-200	Ø10-260	288.76	205.27	Ø10-250	Ø10-270
[6]			700	282.20	244.00	Ø10-280	Ø10-280	281.47	247.87	Ø10-320	Ø10-320	281.47	247.87	Ø10-320	Ø10-320
[7]		800	800	274.18	286.60	Ø10-280	Ø10-280	274.18	286.60	Ø10-320	Ø10-320	274.18	286.60	Ø10-370	Ø10-370
[8]			900	266.89	325.33	Ø10-280	Ø10-280	266.89	325.33	Ø10-320	Ø10-320	266.89	325.33	Ø10-370	Ø10-370
[9]	80	500	600	290.22	232.55	Ø10-90	Ø10-90	289.49	237.02	Ø10-100	Ø10-100	288.76	241.50	Ø10-120	Ø10-120
[10]			700	282.20	281.74	Ø10-90	Ø10-90	281.47	286.22	Ø10-100	Ø10-100	281.47	286.22	Ø10-120	Ø10-120
[11]		800	800	274.18	330.94	Ø10-90	Ø10-90	274.18	330.94	Ø10-100	Ø10-100	274.18	330.94	Ø10-120	Ø10-120
[12]			900	266.89	375.66	Ø10-90	Ø10-90	266.89	375.66	Ø10-100	Ø10-100	266.89	375.66	Ø10-120	Ø10-120

TABEL 6.a HASIL PERHITUNGAN DESAIN GESER PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 12 m

	fc' (MPa)	b (mm)	h (mm)	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa			
				Yud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø-mm	tul geser daerah min. Ø-mm	Yud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø-mm	tul geser daerah min. Ø-mm	Yud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø-mm	tul geser daerah min. Ø-mm
[1]	40	400	650	397.414	139.140	Ø10-60	Ø10-270	396.685	141.670	Ø10-70	Ø10-280	395.956	144.200	Ø10-80	Ø10-280
[2]			700	393.039	154.319	Ø10-70	Ø10-300	393.039	154.319	Ø10-80	Ø10-300	392.310	156.849	Ø10-90	Ø10-310
[3]			750	389.393	166.968	Ø10-80	Ø10-330	388.664	169.498	Ø10-100	Ø10-330	388.664	169.498	Ø10-110	Ø10-330
[4]			800	385.747	179.617	Ø10-90	Ø10-350	385.018	182.147	Ø10-110	Ø10-360	385.018	182.147	Ø10-130	Ø10-360
[5]			850	381.372	194.796	Ø10-110	Ø10-350	381.372	194.796	Ø10-130	Ø10-380	379.913	199.856	Ø10-160	Ø10-390
[6]			900	377.726	207.445	Ø10-130	Ø10-350	377.726	207.445	Ø10-150	Ø10-410	376.267	212.505	Ø10-190	Ø10-420
[7]	60	400	650	397.414	170.411	Ø10-60	Ø10-270	396.685	173.510	Ø10-80	Ø10-280	396.685	173.510	Ø10-90	Ø10-280
[8]			700	393.039	189.002	Ø10-70	Ø10-300	393.039	189.002	Ø10-90	Ø10-300	392.310	192.100	Ø10-110	Ø10-310
[9]			750	389.393	204.494	Ø10-100	Ø10-330	388.664	207.592	Ø10-120	Ø10-330	388.664	207.592	Ø10-130	Ø10-330
[10]			800	385.018	223.084	Ø10-120	Ø10-350	385.018	223.084	Ø10-140	Ø10-360	385.018	223.084	Ø10-160	Ø10-360
[11]			850	381.372	238.576	Ø10-150	Ø10-350	381.372	238.576	Ø10-170	Ø10-380	379.913	244.773	Ø10-220	Ø10-390
[12]			900	377.726	254.068	Ø10-180	Ø10-350	376.267	260.265	Ø10-230	Ø10-420	376.267	260.265	Ø10-270	Ø10-420
[13]	80	400	650	396.685	200.352	Ø10-80	Ø10-110	396.685	200.352	Ø10-90	Ø10-130	395.956	203.929	Ø10-110	Ø10-150
[14]			700	393.039	218.240	Ø10-90	Ø10-110	392.310	221.818	Ø10-110	Ø10-130	392.310	221.818	Ø10-130	Ø10-150
[15]			750	389.393	236.129	Ø10-110	Ø10-110	388.664	239.707	Ø10-130	Ø10-130	388.664	239.707	Ø10-150	Ø10-150
[16]			800	385.018	257.595	Ø10-110	Ø10-110	385.018	257.595	Ø10-130	Ø10-130	383.559	264.750	Ø10-150	Ø10-150
[17]			850	381.372	275.484	Ø10-110	Ø10-110	381.372	275.484	Ø10-130	Ø10-130	379.913	282.639	Ø10-150	Ø10-150
[18]			900	377.726	293.372	Ø10-110	Ø10-110	376.267	300.528	Ø10-130	Ø10-130	376.267	300.528	Ø10-150	Ø10-150

TABEL 5.b HASIL PERHITUNGAN DESAIN GESER PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 12 m

	fc' (MPa)	b (mm)	h (mm)	fy = 300 MPa			fy = 350 MPa			fy = 400 MPa					
				Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø- mm	tul geser daerah min. Ø- mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø- mm	tul geser daerah min. Ø- mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø- mm	tul geser daerah min. Ø- mm
[1]	40	450	650	397.414	156.533	Ø10-60	Ø10-270	396.685	159.379	Ø10-70	Ø10-280	395.956	162.225	Ø10-90	Ø10-280
[2]			700	393.768	170.763	Ø10-70	Ø10-300	393.039	173.609	Ø10-90	Ø10-300	392.310	176.455	Ø10-100	Ø10-310
[3]			750	389.393	187.839	Ø10-90	Ø10-330	388.664	190.685	Ø10-110	Ø10-330	388.664	190.685	Ø10-120	Ø10-330
[4]			800	385.747	202.070	Ø10-100	Ø10-350	385.018	204.916	Ø10-130	Ø10-360	385.018	204.916	Ø10-150	Ø10-360
[5]			850	382.101	216.300	Ø10-120	Ø10-380	381.372	219.146	Ø10-150	Ø10-360	379.913	224.838	Ø10-190	Ø10-390
[6]			900	377.726	233.376	Ø10-160	Ø10-410	377.726	233.376	Ø10-180	Ø10-360	376.267	239.068	Ø10-230	Ø10-410
[7]	60	450	650	397.414	191.713	Ø10-70	Ø10-270	396.685	195.198	Ø10-90	Ø10-280	395.956	198.684	Ø10-100	Ø10-280
[8]			700	393.039	212.627	Ø10-90	Ø10-300	392.310	216.113	Ø10-110	Ø10-310	392.310	216.113	Ø10-130	Ø10-310
[9]			750	389.393	230.055	Ø10-110	Ø10-330	388.664	233.541	Ø10-140	Ø10-330	388.664	233.541	Ø10-160	Ø10-330
[10]			800	385.747	247.484	Ø10-140	Ø10-350	385.018	250.969	Ø10-170	Ø10-360	383.559	257.941	Ø10-220	Ø10-370
[11]			850	381.372	268.398	Ø10-190	Ø10-380	381.372	268.398	Ø10-220	Ø10-360	379.913	275.369	Ø10-280	Ø10-390
[12]			900	377.726	285.826	Ø10-250	Ø10-410	376.267	292.798	Ø10-330	Ø10-360	376.267	292.798	Ø10-370	Ø10-410
[13]	80	450	650	396.685	225.396	Ø10-90	Ø10-100	396.685	225.396	Ø10-100	Ø10-120	396.685	225.396	Ø10-120	Ø10-130
[14]			700	393.039	245.520	Ø10-100	Ø10-100	392.310	249.545	Ø10-120	Ø10-120	392.310	249.545	Ø10-130	Ø10-130
[15]			750	389.393	265.645	Ø10-100	Ø10-100	388.664	269.670	Ø10-120	Ø10-120	388.664	269.670	Ø10-130	Ø10-130
[16]			800	385.018	289.794	Ø10-100	Ø10-100	385.018	289.794	Ø10-120	Ø10-120	385.018	289.794	Ø10-130	Ø10-130
[17]			850	381.372	309.919	Ø10-100	Ø10-100	381.372	309.919	Ø10-120	Ø10-120	381.372	309.919	Ø10-130	Ø10-130
[18]			900	377.726	330.044	Ø10-100	Ø10-100	376.267	338.094	Ø10-120	Ø10-120	376.267	338.094	Ø10-130	Ø10-130

TABEL 5.c HASIL PERHITUNGAN DESAIN GESER PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 12 m

fc' (MPa)	b (mm)	h (mm)	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa			
			Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø- mm	tul geser daerah min Ø- mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø- mm	tul geser daerah min Ø- mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø- mm	tul geser daerah min Ø- mm
[1]	40	500	396.685	177.088	Ø10-70	Ø10-280	396.685	177.088	Ø10-80	Ø10-280	395.226	183.412	Ø10-100	Ø10-290
[2]		700	393.039	192.899	Ø10-80	Ø10-300	392.310	196.061	Ø10-100	Ø10-310	391.580	199.224	Ø10-120	Ø10-310
[3]		750	388.664	211.873	Ø10-100	Ø10-330	387.934	215.035	Ø10-120	Ø10-320	387.205	218.197	Ø10-150	Ø10-340
[4]		800	384.288	230.846	Ø10-130	Ø10-360	383.559	234.009	Ø10-160	Ø10-320	383.559	234.009	Ø10-180	Ø10-370
[5]		850	380.642	246.658	Ø10-160	Ø10-360	379.913	249.820	Ø10-200	Ø10-320	379.913	249.820	Ø10-220	Ø10-370
[6]		900	376.267	265.631	Ø10-210	Ø10-360	376.267	265.631	Ø10-250	Ø10-320	376.267	265.631	Ø10-280	Ø10-370
[7]	60	500	396.685	216.887	Ø10-80	Ø10-280	395.956	220.760	Ø10-100	Ø10-280	395.226	224.633	Ø10-120	Ø10-290
[8]		700	393.039	236.252	Ø10-100	Ø10-280	391.580	243.998	Ø10-140	Ø10-310	390.851	247.871	Ø10-160	Ø10-320
[9]		750	388.664	259.490	Ø10-140	Ø10-280	387.934	263.363	Ø10-170	Ø10-320	387.205	267.236	Ø10-210	Ø10-340
[10]		800	384.288	282.728	Ø10-200	Ø10-280	383.559	286.601	Ø10-250	Ø10-320	383.559	286.601	Ø10-280	Ø10-370
[11]		850	380.642	302.093	Ø10-280	Ø10-280	379.913	305.966	Ø10-320	Ø10-320	379.913	305.966	Ø10-370	Ø10-370
[12]		900	376.267	325.331	Ø10-280	Ø10-280	376.267	325.331	Ø10-320	Ø10-320	376.267	325.331	Ø10-370	Ø10-370
[13]	80	500	404.852	250.440	Ø10-90	Ø10-90	395.956	254.912	Ø10-100	Ø10-100	395.226	259.384	Ø10-120	Ø10-120
[14]		700	401.352	277.272	Ø10-90	Ø10-90	391.580	281.745	Ø10-100	Ø10-100	390.851	286.217	Ø10-120	Ø10-120
[15]		750	398.435	299.633	Ø10-90	Ø10-90	387.934	304.105	Ø10-100	Ø10-100	387.205	308.577	Ø10-120	Ø10-120
[16]		800	394.935	326.466	Ø10-90	Ø10-90	383.559	330.938	Ø10-100	Ø10-100	383.559	330.938	Ø10-120	Ø10-120
[17]		850	391.435	353.299	Ø10-90	Ø10-90	379.913	353.299	Ø10-100	Ø10-100	379.913	353.299	Ø10-120	Ø10-120
[18]		900	388.518	375.659	Ø10-90	Ø10-90	376.267	375.659	Ø10-100	Ø10-100	376.267	375.659	Ø10-120	Ø10-120

TABEL 6.a HASIL PERHITUNGAN DESAIN GESER PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 15 m

	fc' (MPa)	b (mm)	h (mm)	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa			
				Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm
[1]	40	400	700	505.34	144.20	Ø12-60	Ø12-280	503.88	149.26	Ø10-50	Ø10-290	503.88	149.26	Ø10-60	Ø10-290
[2]			750	500.96	159.38	Ø12-70	Ø12-310	499.50	164.44	Ø10-60	Ø10-320	499.50	164.44	Ø10-70	Ø10-320
[3]			800	496.59	174.56	Ø12-80	Ø12-340	495.86	177.09	Ø10-70	Ø10-350	495.86	177.09	Ø10-80	Ø10-350
[4]			850	492.94	187.21	Ø12-90	Ø12-370	491.48	192.27	Ø10-80	Ø10-380	491.48	192.27	Ø10-90	Ø10-380
[5]			900	488.56	202.39	Ø12-110	Ø12-400	487.84	204.92	Ø10-90	Ø10-400	487.84	204.92	Ø10-100	Ø10-400
[6]	60	400	700	505.34	176.61	Ø12-70	Ø12-280	503.88	182.80	Ø10-60	Ø10-290	503.88	182.80	Ø10-60	Ø10-290
[7]			750	500.96	195.20	Ø12-80	Ø12-310	498.77	204.49	Ø10-70	Ø10-330	498.77	204.49	Ø10-80	Ø10-330
[8]			800	496.59	213.79	Ø12-90	Ø12-340	495.86	216.89	Ø10-80	Ø10-350	495.86	216.89	Ø10-90	Ø10-350
[9]			850	492.21	232.38	Ø12-110	Ø12-370	491.48	235.48	Ø10-90	Ø10-380	491.48	235.48	Ø10-100	Ø10-380
[10]			900	488.56	247.87	Ø12-130	Ø12-400	487.84	250.97	Ø10-110	Ø10-400	487.84	250.97	Ø10-120	Ø10-400
[11]	80	400	700	505.34	203.93	Ø12-70	Ø12-160	503.88	211.08	Ø10-60	Ø10-130	503.88	214.66	Ø10-70	Ø10-150
[12]			750	500.96	225.40	Ø12-90	Ø12-160	499.50	232.55	Ø10-80	Ø10-130	498.77	236.13	Ø10-90	Ø10-150
[13]			800	496.59	246.86	Ø12-110	Ø12-160	495.13	254.02	Ø10-90	Ø10-130	495.13	254.02	Ø10-110	Ø10-150
[14]			850	492.21	268.33	Ø12-130	Ø12-160	491.48	271.91	Ø10-110	Ø10-130	490.75	275.48	Ø10-130	Ø10-150
[15]			900	488.56	286.22	Ø12-160	Ø12-160	487.11	293.37	Ø10-130	Ø10-130	487.11	293.37	Ø10-150	Ø10-150

TABEL 6. b HASIL PERHITUNGAN DESAIN GESER PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 15 m

	fc' (MPa)	b (mm)	h (mm)	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa			
				Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm
[1]	40	450	700	505.34	162.22	Ø12-60	Ø12-290	503.15	170.76	Ø10-50	Ø10-300	502.42	173.61	Ø10-60	Ø10-300
[2]			750	500.23	182.15	Ø12-80	Ø12-320	498.77	187.84	Ø10-60	Ø10-330	498.04	190.69	Ø10-80	Ø10-330
[3]			800	496.59	196.38	Ø12-90	Ø12-340	495.13	202.07	Ø10-70	Ø10-350	494.4	204.92	Ø10-90	Ø10-360
[4]			850	462.94	210.61	Ø12-100	Ø12-370	492.21	213.45	Ø10-80	Ø10-360	490.75	219.15	Ø10-100	Ø10-380
[5]			900	488.56	227.68	Ø12-120	Ø12-440	487.83	230.53	Ø10-100	Ø10-360	486.38	236.22	Ø10-120	Ø10-410
[6]	60	450	700	505.34	498.68	Ø12-70	Ø12-280	503.15	209.14	Ø10-60	Ø10-300	502.42	212.63	Ø10-70	Ø10-300
[7]			750	500.96	219.6	Ø12-90	Ø12-310	499.5	226.57	Ø10-70	Ø10-320	498.04	233.54	Ø10-90	Ø10-330
[8]			800	496.59	240.51	Ø12-100	Ø12-340	495.86	244.0	Ø10-90	Ø10-350	494.4	250.97	Ø10-110	Ø10-360
[9]			850	492.21	261.43	Ø12-130	Ø12-350	491.48	264.91	Ø10-110	Ø10-360	490.02	271.88	Ø10-130	Ø10-390
[10]			900	488.56	278.85	Ø12-150	Ø12-400	487.83	282.34	Ø10-120	Ø10-360	486.38	289.31	Ø10-150	Ø10-410
[11]	80	450	700	504.61	233.45	Ø12-80	Ø12-150	503.88	237.47	Ø10-70	Ø10-120	502.42	245.52	Ø10-80	Ø10-130
[12]			750	500.23	257.6	Ø12-100	Ø12-150	499.5	261.62	Ø10-90	Ø10-120	498.04	269.67	Ø10-110	Ø10-130
[13]			800	495.86	281.74	Ø12-130	Ø12-150	495.13	285.77	Ø10-110	Ø10-120	494.4	289.79	Ø10-130	Ø10-130
[14]			850	492.21	301.87	Ø12-150	Ø12-150	491.48	305.89	Ø10-120	Ø10-120	490.02	313.94	Ø10-130	Ø10-130
[15]			900	488.56	321.98	Ø12-150	Ø12-150	487.11	330.04	Ø10-120	Ø10-120	486.38	334.07	Ø10-130	Ø10-130

TABEL 6.c HASIL PERHITUNGAN DESAIN GESER PADA BALOK PANJANG BENTANGAN 15 m

	fc' (MPa)	b (mm)	h (mm)	fy = 300 MPa				fy = 350 MPa				fy = 400 MPa			
				Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm	Vud (kN)	0.6Vc (kN)	tul geser penampang kritis Ø - mm	tul geser daerah min. Ø - mm
[1]	40	500	700	503.88	186.57	Ø12-70	Ø12-290	503.15	189.74	Ø10-60	Ø10-300	502.42	192.9	Ø10-70	Ø10-300
[2]			750	499.5	205.55	Ø12-90	Ø12-320	498.77	208.71	Ø10-70	Ø10-320	498.04	211.87	Ø10-80	Ø10-330
[3]			800	495.85	221.36	Ø12-100	Ø12-350	495.13	224.52	Ø10-80	Ø10-320	493.4	227.68	Ø10-100	Ø10-360
[4]			850	491.48	240.33	Ø12-120	Ø12-380	490.75	243.5	Ø10-100	Ø10-320	490.75	243.5	Ø10-110	Ø10-370
[5]			900	487.83	256.14	Ø12-140	Ø12-400	487.11	259.31	Ø10-110	Ø10-320	486.38	262.47	Ø10-130	Ø10-370
[6]	60	500	700	503.88	228.51	Ø12-80	Ø12-290	503.15	232.38	Ø10-70	Ø10-300	502.42	236.25	Ø10-80	Ø10-300
[7]			750	499.5	251.74	Ø12-100	Ø12-320	498.77	255.62	Ø10-80	Ø10-320	498.04	259.49	Ø10-100	Ø10-330
[8]			800	495.13	274.98	Ø12-130	Ø12-350	494.4	278.85	Ø10-110	Ø10-320	494.4	278.85	Ø10-120	Ø10-360
[9]			850	492.48	294.35	Ø12-150	Ø12-380	490.75	298.22	Ø10-130	Ø10-320	490.02	302.09	Ø10-150	Ø10-370
[10]			900	487.11	317.58	Ø12-190	Ø12-400	487.11	317.58	Ø10-150	Ø10-320	486.38	321.46	Ø10-180	Ø10-370
[11]	80	500	700	503.88	263.86	Ø12-100	Ø12-130	503.15	268.33	Ø10-80	Ø10-100	502.42	272.8	Ø10-100	Ø10-120
[12]			750	499.5	290.69	Ø12-120	Ø12-130	498.77	295.16	Ø10-100	Ø10-100	498.04	299.63	Ø10-120	Ø10-120
[13]			800	495.13	317.52	Ø12-130	Ø12-130	494.4	321.99	Ø10-100	Ø10-100	493.67	326.47	Ø10-120	Ø10-120
[14]			850	491.48	339.88	Ø12-130	Ø12-130	490.75	344.35	Ø10-100	Ø10-100	490.02	348.83	Ø10-120	Ø10-120
[15]			900	487.11	366.72	Ø12-130	Ø12-130	486.38	371.19	Ø10-100	Ø10-100	486.38	371.19	Ø10-120	Ø10-120



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	LENNY WINNASNY S.	92 810 294		STRUKTUR
2.	DWI PUJI UTAMI	92 810 178		STRUKTUR

Dosen Pembimbing I : : IR. H. MOCH. TEGUR, MSCE
Dosen Pembimbing II : : IR. SUHARYATNO, DS

1

2

Yogyakarta,

29 Desember 1997

An.

Ketua Jurusan Teknik Sipil.

81

IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE





UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi

JUDUL TUGAS AKHIR :

.....

.....

Dosen Pembimbing I :

Dosen Pembimbing II :

1

2

Yogyakarta,
D e k a n,

