TUGAS AKHIR

ANALISIS DAN DESAIN PENULANGAN LENTUR DAN GESER BALOK TINGGI

Analysis and Design of Shear and Flexural Reinforcements of Deep Beam

Disusun oleh :

M. RAFIUDDAROJAD
No. Mhs : 93 310 170
NIRM : 930051013114120167

HERNING ISWAHYUDI
No. Mhs. : 92 310 225
NIRM : 920051013114120225

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA

2003

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS DAN DISAIN PENULANGAN LENTUR DAN GESER BALOK TINGGI

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagai persyaratan memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil

DISUSUN OLEH :

Nama	:	M. RAFIUDDAROJAD
No. Mhs	:	93 310 170
NIRM	:	930051013114120167

Nama	:	HERNING ISWAHYUDI
No. Mhs	:	92 310 225
NIRM	:	920051013114120225

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Ir. H. M. Samsudin, MT

Tanggal : 3/11-'03

Dosen Pembimbing II

Ir. H. A. Kadir Aboe, MS

Tanggal : 03/10-03

"Kritik itu penting
karena merupakan kunci kesuksesan dan kemajuan
serta membuka prestasi dan derajat"
K. H. Abdullah Gymnatiar

"Ijazah yang sekedarnya
akan penuh makna
bila dibaliknya tersimpan akhlak yang mulia"
K. H. Abdullah Gymnatiar

Buat Ayah dan Ibuku yang tersayang di kampung,
"Restuemu adalah restu Allah".
Kakek Nenekku jang telah tiada,
" Intan jang terbenam dalam luempur,
cahayanya tak akan pernah hilang"
kan Ku ingat selalu.
Riza, Mila dan Agus yang selalu mengingatkanku.
Moomock makasih i" Nova"sinya, Tak terloepa tock Hengky,
Huda, Herning, Antok, Habib, Sugiharto, Bas dan lainnja yang
Ku tak bisa sebutkan satu- satu.

Kupersembahkan Tugas Akhir ini untuk
Bapak (Alm.) dan Ibu yang tercinta, terima kasih atas kasih sayangmu yang luar biasa, perhatian, doa dan kesabarannya.
Kakek nenekku yang telah tiada.
Mas Bowo, mba Hasti, mba Hersih dan seluruh anggota keluarga lainya
terima kasih atas doa dan dorongannya.
Habib, Anto, Rafi, Huda, Karud, Ridwan, Bu Fitri, Rid-one, Inte, Mila, Riza, Agus, Baz, Hengkoz, Ariep, Sugi, Affas, Andy lee, I-one, anak-anak teratai dan semua teman-temanku
terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya, maka Tugas Akhir ini dapat kami selesaikan. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya.

Tugas Akhir dengan judul "Analisis dan Disain Penulangan Lentur dan Geser Balok Tinggi", disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat pendadaran guna memperoleh derajat sarjana Strata 1 (S 1) Teknik Sipil, khususnya pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Banyak pihak yang dengan tulus membantu, baik moril maupun secara langsung terlibat, memberi saran ataupun kritik mulai dari ide hingga penulisan Tugas Akhir ini. Untuk itu semua pada kesempatan ini rasa hormat dan penghargaan serta ucapan terima kasih disampaikan khususnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3. Bapak Ir. H.M. Samsudin, MT, selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi bimbingan, saran dan pengarahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. H.A. Kadir Aboe, MS, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memeberi bimbingan, saran dan pengarahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Orang tua serta saudara tercinta yang selalu memberi dorongan, motivasi dan semangat dalam menyelesaikan studi kami di Universitas Islam Indonesia tercinta ini.
6. Semua rekan dan semua pihak yang telah membantu dalam studi kami di Universitas Islam Indonesia tercinta ini.

Akhir kata semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan keikhlasan mereka yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Juni 2003

Penyusun

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR NOTASI

ϕ	=	Faktor reduksi kekuatan
ρ	=	Rasio penulangan
ρb	=	Rasio penulangan keadaan seimbang
a	=	Tinggi balok tegangan beton tekan
As	=	Jumlah luas penampang tulangan baja tarik
Av	=	Luas penampang sengkang vertikal
Avh	=	Luas penampang tulangan geser memanjang
b	=	Lebar balok
d	=	Tinggi efektif balok
D	=	Beban mati
f c	=	Kuat tekan beton (Mpa)
fy	=	Tegangan luluh baja (Mpa)
L	=	Beban hidup
Ln	=	Panjang bentang balok bersih
Mn	=	Kuat momen nominal suatu penampang (Nm)
Mu	=	Momen terfaktor pada penampang (Nm)
s	=	Jarak sengkang
s_2	=	Jarak spasi vertikal tulangan geser memanjang
Vc	=	Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
Vn	=	Kuat geser nominal
Vs	=	Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser
Vu	=	Kuat geser terfaktor pada penampang
W	=	Beban angin

DAFTAR LAMPIRAN

INTISARI

Perencanaan struktur bangunan sekarang ini karena tuntutan kebutuhan artistik, sering dibutuhkan balok beton yang mempunyai tinggi jauh lebih besar daripada tinggi normal dalam hubungannya dengan panjang bentang. Sedangkan tebal dalam arah tegak lurus jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan bentang dan tingginya. Elemen struktur jenis ini dapat ditemukan pada balok transfer yang dipakai dalam gedung-gedung bertingkat banyak dalam hal adanya kolom terputus di tingkat bawah, dinding-dinding tangki persegi, lantai diafragma dan dinding geser.

Penulisan ini bertujuan untuk mengetahui perhitungan penulangan lentur dan geser balok tinggi beton bertulang tampang persegi dalam menahan beban vertikal.

Pedoman yang digunakan dalam menganalisa komponen struktur tinggi menggunakan ketentuan standar SK SNI T-15-1991-03, dimana untuk perencanaan lentur digunakan persamaan-persamaan balok biasa, sedangkan untuk perencanaan geser balok diberikan ketentuan khusus.

Dalam penulisan ini diberikan contoh kasus penggunaan balok tinggi pada struktur bangunan gedung pertemuan. Hasil analisa perhitungan menunjukkan komponen struktur balok tinggi mampu menahan beban yang sangat besar khususnya pada gesernya.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perencanaan suatu struktur bangunan sekarang ini sering dijumpai karena tuntutan artistik, balok beton mempunyai tinggi yang jauh lebih besar daripada tinggi normal dalam hubungannya dengan panjang bentang. Sedangkan tebal dalam arah tegak lurus jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan bentang dan tingginya.

Oleh SK SNI T-15-1991-03 komponen struktur lentur beton bertulang dengan jenis seperti ini disebut sebagai komponen struktur lentur tinggi dan dikenal juga dengan balok tinggi (*deep beams*). Balok tinggi (*deep beams*) adalah suatu elemen struktur yang mengalami beban seperti pada balok biasa, tetapi memiliki angka perbandingan panjang bentang terhadap tingginya ≤ 5, dan mempunyai bidang geser kurang lebih dua kali tingginya (George Winter-Arthur H. Nilson, 1991).

Contoh-contoh elemen struktur jenis seperti ini dapat ditemukan pada balok transfer yang dipakai didalam gedung-gedung bertingkat banyak dalam hal adanya kolom yang terputus ditingkat bawah, dinding-dinding tangki persegi, lantai diafragma dan dinding-dinding geser.

Perilaku dari balok tinggi sangat berbeda dari perilaku balok biasa yang mempunyai ukuran normal, dan memerlukan tinjauan khusus di dalam analisis, perencanaan dan detail tulangan. Karena perbandingan ukurannya kekuatan balok tinggi biasanya dikendalikan oleh geser. Kekuatan geser balok tinggi kelihatannya jauh lebih besar dari harga yang diramalkan oleh persamaan yang umum, karena terdapatnya kapasitas khusus untuk meredistribusikan gaya-gaya dalam sebelum terjadinya keruntuhan dan mengembangkan mekanisme penyaluran gaya yang sama sekali berbeda dari balok yang mempunyai perbandingan normal. Karena adanya perbedaan-perbedaan tersebut, maka diperlukan metode-metode perencanaan dan ketentuan-ketentuan pedoman yang khusus.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui perhitungan penulangan lentur dan geser balok tinggi beton bertulang tampang persegi dalam menahan beban vertikal.

1.3. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari Tugas Akhir ini adalah dapat memahami perhitungan penulangan lentur dan geser balok tinggi tampang persegi sehingga dapat dipakai sebagai acuan perencanaan balok tinggi.

1.4. Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan pada permasalahan yang akan dibahas, permasalahan dalam perencanaan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Balok tinggi yang ditinjau adalah balok tampang persegi
2. Beban-beban yang bekerja adalah beban vertikal
3. Desain penulangan balok tinggi ditinjau terhadap lentur dan geser saja
4. Perencanaan mengacu pada ketentuan yang ada pada SK SNI T-15-1991-03
5. Perletakkan diasumsikan setengah jepit

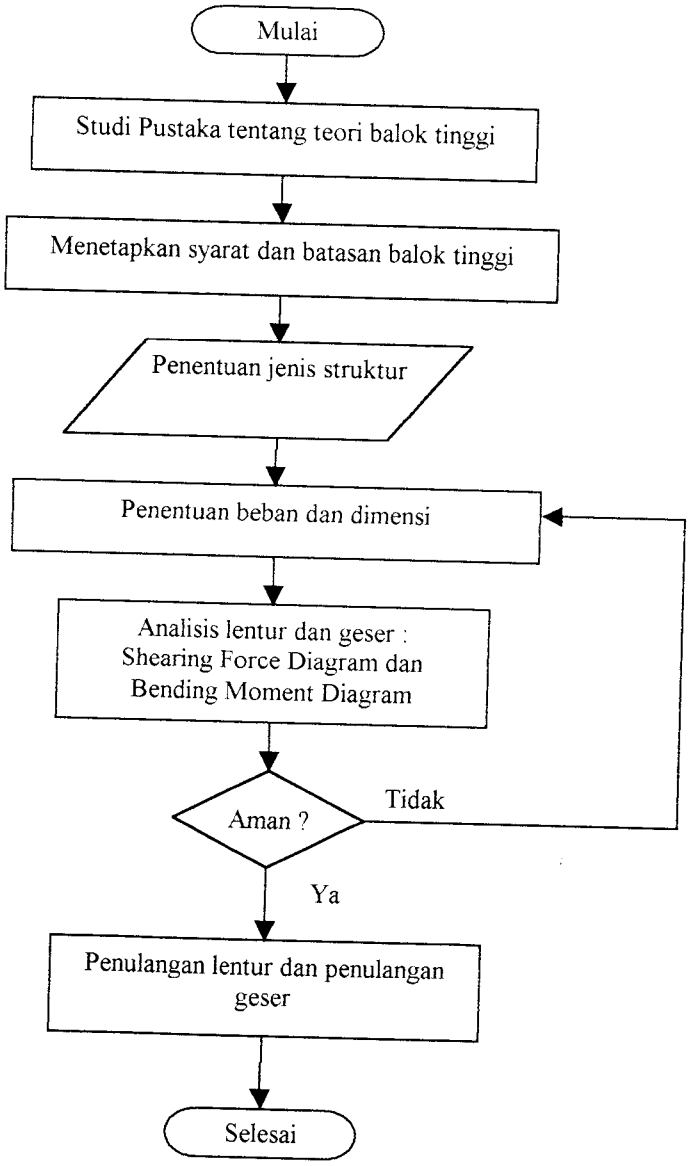
1.5. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah langkah-langkah melakukan penelitian. Pada Tugas Akhir ini, dilakukan penelitian terapan (*applied research*). Secara garis besar metodologi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan studi tentang teori-teori balok tinggi termasuk penggunaannya.
2. Menentukan syarat-syarat dan batasan balok tinggi.
3. Menentukan jenis penggunaan struktur yang akan dijadikan obyek bagi analisis balok tinggi.

4. Menganalisis diagram geser (SFD) dan diagram momen (BMD) yang terjadi karena beban-beban yang bekerja
5. Menganalisis dan merencanakan penulangan lentur dan geser

Diagram alir metodologi penelitian adalah seperti gambar 1.1. berikut:



Gambar 1.1. Diagram alir penelitian

BAB II

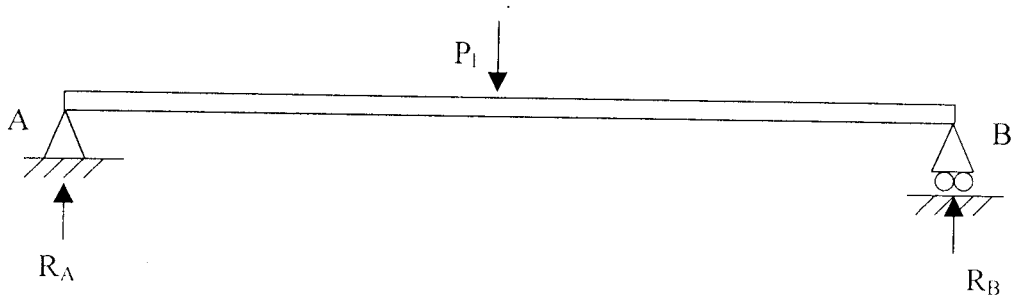
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Menurut SK SNI T-15-1991-03, beton bertulang adalah beton yang diberi tulangan dengan luasan dan jumlah yang tidak kurang dari nilai minimum yang diisyaratkan dengan atau tanpa prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Beton ditujukan untuk menahan tekan dan baja tulangan untuk menahan tarik, sedangkan kuat tarik beton diabaikan. Kekuatan geser dapat terdiri dari beton dan baja.

Balok (*beam*) adalah suatu elemen atau unsur struktur portal yang bekerja sebagai satu kesatuan dalam portal untuk menahan lentur, geser dan torsi. Berdasarkan pada arah bekerjanya beban-beban, maka balok berbeda dari batang yang mengalami tarik dan batang yang mengalami puntiran.

Pada batang yang mengalami tarik, maka bebannya diarahkan sepanjang sumbunya dan pada batang yang mengalami puntiran maka vektor momen putarnya mengarah sumbu batang. Sebaliknya beban-beban pada sebuah balok diarahkan tegak lurus, seperti di ilustrasikan oleh gaya PI yang bekerja pada balok AB, terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Balok sederhana

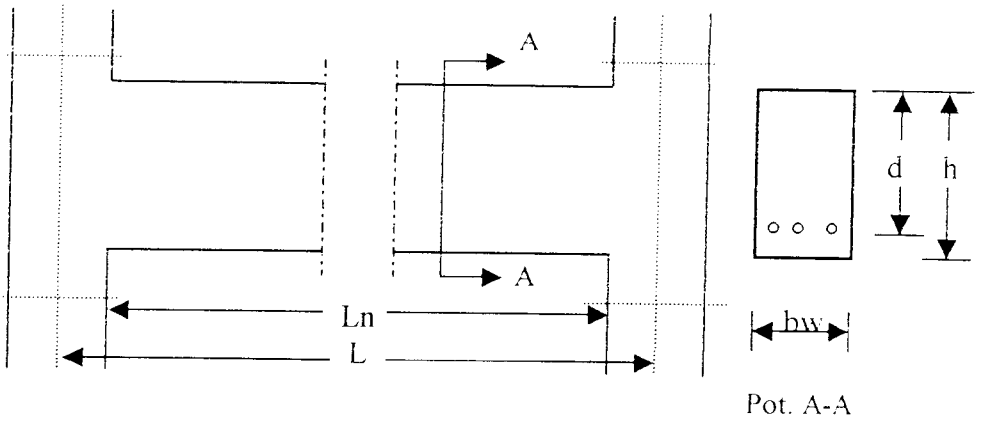
Berdasarkan perbandingan antara panjang bentangan dengan tinggi balok, maka balok beton bertulang dapat dibedakan menjadi 3 macam, yaitu :

1. Balok dengan perbandingan ukuran ln/d > 5, disebut sebagai balok normal
2. Balok dengan perbandingan ukuran 2 ≤ ln/d ≤ 5, disebut sebagai balok tinggi
3. Balok dengan perbandingan ukuran ln/d < 2, disebut sebagai balok sangat tinggi

dimana :

ln = Panjang bentang balok bersih

d = Tinggi efektif balok



Gambar 2.2. Bentang bersih balok dan tinggi efektif balok

2.2. Balok Tinggi (*Deep Beams*)

Balok tinggi (*deep beams*) adalah suatu elemen struktur yang mengalami beban seperti pada balok biasa, tetapi mempunyai angka perbandingan antara tinggi dengan lebarnya besar, dan mempunyai angka perbandingan antara bentang geser dengan tinggi efektif tidak melebihi 2 sampai 2,5, dimana bentang geser adalah bentang bersih balok untuk beban terdistribusi merata (Nawy, 1990).

Menurut SK SNI T-15-1991-03 Pasal 3.3.7, yang dinamakan balok tinggi atau struktur lentur tinggi, adalah suatu elemen struktur yang mengalami beban seperti pada balok biasa tetapi mempunyai perbandingan antara panjang bentangan dengan tinggi balok, ln/d < 5 dan mempunyai bidang geser kira-kira dua kali tingginya.

Perilaku balok tinggi sangat berbeda dengan balok biasa yang mempunyai ukuran normal. Hal ini memerlukan tinjauan khusus dalam analisis dan perencanaan balok tersebut. Kekuatan balok tinggi terutama terletak pada kekuatan gesernya. Kekuatan geser ini lebih besar dari yang diperkirakan persamaan umum, karena terdapat kapasitas khusus untuk mendistribusikan gaya-gaya dalam sebelum terjadi keruntuhan dan mengembangkan mekanisme penyaluran gaya yang sama sekali berbeda dengan balok biasa.

Adapun manfaat pemakaian dari balok tinggi (*deep beams*) antara lain:

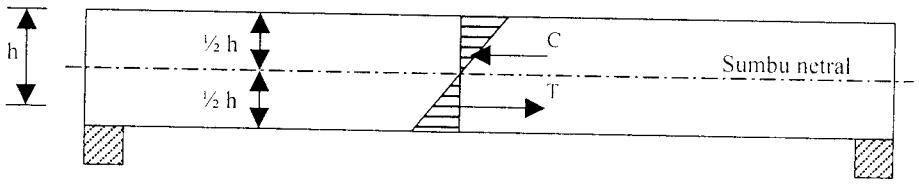
1. Lendutan yang terjadi akibat momen lentur dapat diabaikan
2. Jumlah kolom-kolom struktur dapat dikurangi dengan adanya balok tinggi sebagai balok transfer, sehingga dapat memberikan ruangan yang lebih luas baik karena fungsinya ataupun karena tuntutan arsitektur
3. Dengan ruangan yang lebih luas maka akan memberikan kemudahan dalam menata interior sehingga menambah nilai estetika
4. Untuk dipakai dalam struktur yang menahan gaya lateral yang besar

Contoh pemakaian balok jenis ini dapat ditemukan pada balok transfer yang dipakai di dalam gedung-gedung bertingkat banyak dalam hal ini adanya kolom yang terputus ditingkat bawah, dinding tangki persegi, balok berbentang pendek yang mengalami beban yang sangat berat serta dinding-dinding geser.

2.3. Perilaku Balok Tinggi

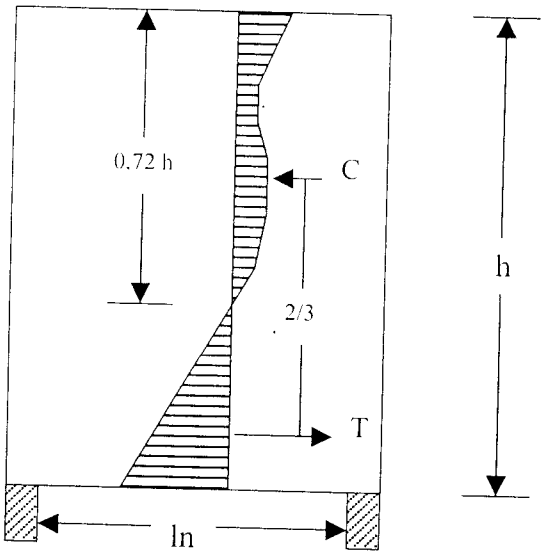
Tegangan-tegangan pada balok tinggi berbeda dengan tegangan balok normal. Karena geometrinya maka balok tinggi lebih berperilaku dua dimensi bukan satu dimensi. Sebagai akibatnya, bidang datar sebelum melentur tidak harus tetap datar setelah melentur. Distribusi tegangannya tidak lagi linier dan deformasi geser yang diabaikan pada balok biasa menjadi suatu yang cukup berarti dibandingkan dengan deformasi lentur murni (Nawy, 1990).

Gambar 2.3. mengilustrasikan kelinieran distribusi tegangan ditengah bentang sebelum terjadinya retak pada balok biasa.



Gambar 2.3. Distribusi elastis pada balok biasa

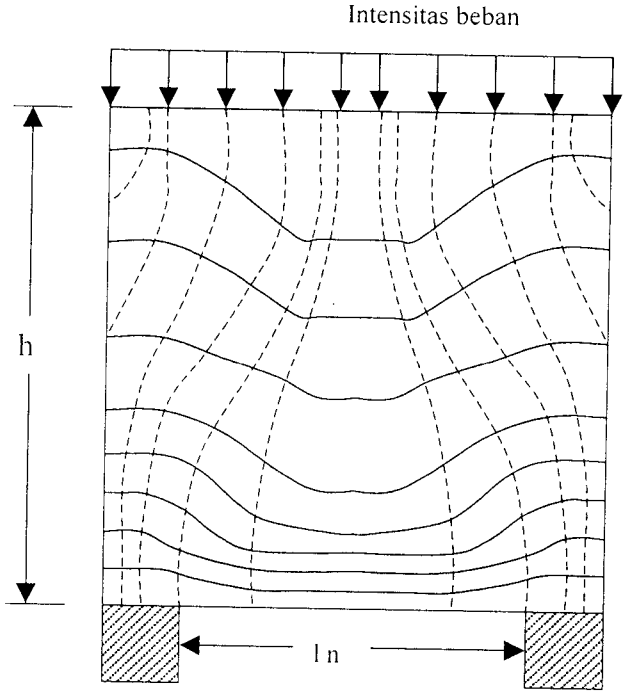
Adapun tegangan geser yang besar pada penampang balok tinggi menyebabkan balok tegangan menjadi non linier meskipun pada taraf elastis. seperti terlihat pada gambar 2.4. Dari gambar tersebut memperlihatkan ketidak linieran tegangan di tengah bentang sehubungan dengan ketidakliknieran regangan. Dapat dijelaskan juga bahwa besarnya tegangan tarik maksimum pada sisi bawah jauh melebihi besarnya tegangan tekan maksimum.



Gambar 2.4. Distribusi tegangan elastis pada balok tinggi

Arah tegangan utama balok tinggi, pada kebanyakan kasus bila terbentuk retak diagonal, maka retak tersebut akan membuat sudut yang lebih besar dari 45° dan bahkan kadang-kadang mendekati vertikal.

Gambar 2.5 memperlihatkan trajektori tegangan pada balok tinggi. Beton retak dalam arah tegak lurus trajektori tegangan utama dan apabila beban terus bertambah, retak ini akan melebar dan menjalar. Karena bentang geser untuk belok tinggi kecil, sehingga tegangan tekan pada daerah perletakkan mempengaruhi besar dan arah tegangan tarik utama yang menjadi curam dan harganya mengecil.



Garis tak putus : trajektori tarik Garis putus-putus : trajektori tekan

Gambar 2.5. Trajektori tegangan pada balok tinggi

Dalam banyak hal retak-retak ini hampir selalu vertikal dan mengikuti arah trajektori tegangan, yang pada keadaan runtuh karena geser, balok hampir tergeser lepas dari perletakannya. jadi untuk balok tinggi, selain penulangan geser vertikal di sepanjang bentang, diperlukan juga penulangan horisontal di seluruh tinggi balok. Sengkang vertikal walaupun penting digunakan tetapi kurang efektif bila dibandingkan dengan tulangan memanjang. Tulangan horisontal ini tidak hanya efektif karena mereka bekerja dalam arah tegak lurus terhadap retak diagonal, sehingga dapat

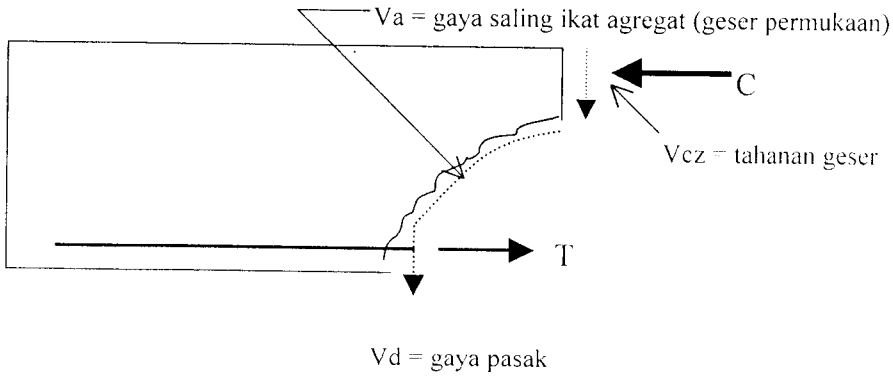
memperbaiki penyaluran gaya geser melalui ikatan agregat tetapi juga memberikan sumbangan bagi penyaluran gaya geser melalui aksi pasak.

Selain itu, besarnya angka perbandingan tinggi dan panjang bentang dari balok, menyebabkan bertambahnya tahanan terhadap beban geser luar akibat aksi pelengkung tekan yang cukup tinggi. Dengan demikian dapat diharapkan bahwa gaya geser tahanan nominal V_c untuk balok tinggi akan jauh lebih besar daripada V_c untuk balok biasa.

Geser pada balok tinggi merupakan tinjauan yang utama dalam desainnya. besar dan jarak penulangan geser vertikal dan horisontal sangat berbeda dengan yang dipakai pada balok biasa, begitu pula persamaan-persamaan yang digunakan didalam desainnya (Nawy, 1990).

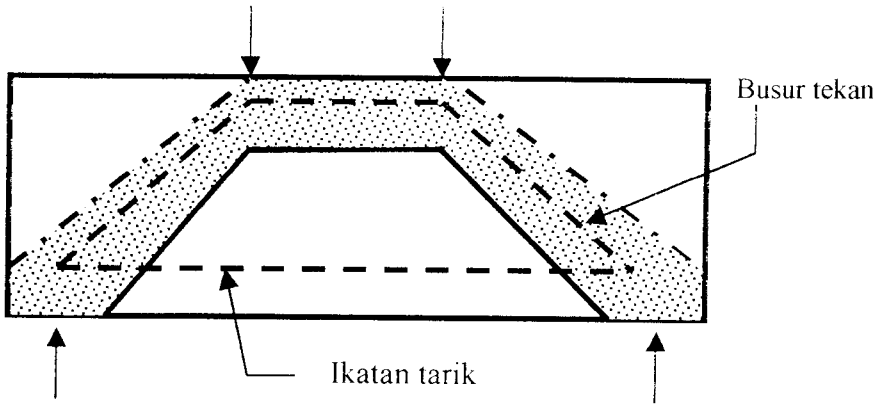
Mekanisme transfer geser di dalam unsur-unsur beton tulang terjadi melalui suatu 3 mekanisme (Kong dan Evans, 1987) sebagai berikut, seperti dalam gambar 2.6 :

1. Perlawanan geser dari beton yang belum retak, Vcz.
2. Gaya ikat (Va) antar agregat dalam arah tangensial sepanjang suatu retak, yang serupa dengan gaya gesek akibat saling ikat yang tidak teratur dari agregat sepanjang permukaan kasar dari beton pada masing-masing pihak retak.
3. Aksi pasak atau dowel action (Vd), sebagai perlawanan dari penulangan longitudinal terhadap gaya transfersal.



Gambar 2.6. Transfer geser di dalam beton bertulang

Kekuatan geser dari balok tinggi dua atau tiga kali lebih besar dari harga yang diperkirakan menggunakan persamaan-persamaan pada balok biasa. Hal ini menyebabkan tegangan geser mempunyai pengaruh yang sangat besar pada balok tinggi. setelah terjadinya retak miring, balok tinggi cenderung berperilaku seperti pelengkung, dimana beban disalurkan secara langsung ke perletakan melalui aksi busur tekan, yaitu beban ditahan oleh susunan gaya tekan membentuk busur pelengkung yang diikat gaya tarik sepanjang tulangan memanjang seperti ditunjukkan pada gambar 2.7. Setelah terjadi retak miring, balok masih mampu memikul beban yang lebih besar, dengan demikian cenderung menunjukkan masih mempunyai cadangan kapasitas yang cukup tinggi. Oleh karena itu, apabila diperlukan pemasanagn penulangan geser, dipasang tulangan yang terdiri dari batang-batang tulangan horisontal dan vertikal (Dipohusodo, 1996).



Gambar 2.7. Efek pelengkung pada balok tinggi

Pada beberapa test dapat diketahui bahwa mode atau pola keruntuhan sangat kuat tergantung pada a/d,dimana: a = jarak dari tumpuan ke beban terpusat, d = tinggi efektif. (Kong dan Evans, 1987), yaitu :

1. Runtuh lentur dimana : a/d > 6

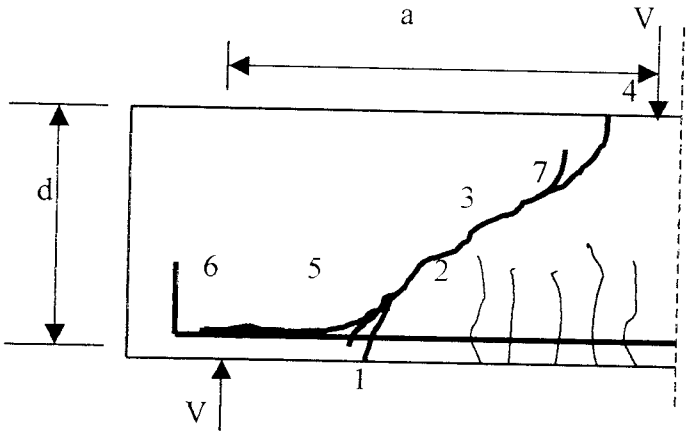
   Balok yang memiliki perbandingan a/d seperti ini biasanya runtuh pada lentur.

2. Runtuh tarik geser dimana : 6 > a/d > 2,5

   Balok yang memiliki perbandingan a/d lebih kecil daripada 6 condong runtuh di geser. retak diagonal atau miring (1-2-3) dengan penambahan lebih lanjut pada V atau beban, maka kerusakan biasa terjadi dalam 1 dari 2 mode. jika perbandingan a/d relatif tinggi, retak miring akan menjalar cepat ke e, menghasilkan keruntuhan oleh terpisahnya balok menjadi 2 bagian. Mode keruntuhan ini sering disebut keruntuhan tarik diagonal. Jika perbandingan a/d relatif rendah, retak miring condong berhenti

disuatu tempat pada 7. Sejumlah retak yang tak beraturan mungkin mengembang pada beton sekitar penulangan tarik longitudinal. Jika V meningkat lebih jauh, retak miring melebar dan menyebar sepanjang tingkat penulangan tarik (gambar retak 5-6). Gaya geser yang meningkat mendesak turun baja longitudinal dan menyebabkan kerusakan pada ikatan antara beton dan baja, biasanya menimbulkan pemisahan pada beton sepanjang 5-6.

Pola retak keruntuhan tarik geser dimana : 6 > a/d > 2,5



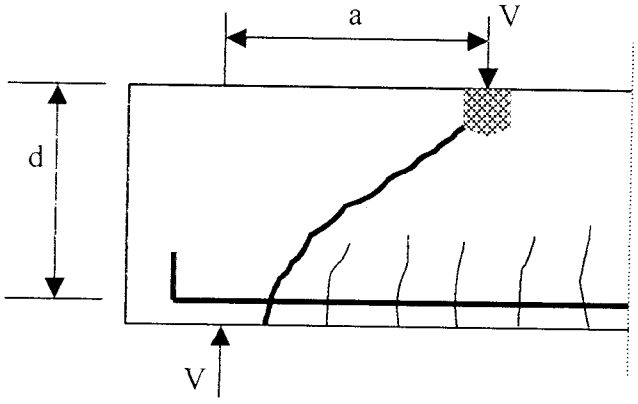
Gambar 2.8. Keruntuhan tarik geser

Jika penulangan longitudinal tidak dikaitkan di ujung, kerusakan dari ikatan dan pemisahan beton akan menybabkan runtuh tiba-tiba. jika kait tersedia, balok akan berkelakuan seperti lengkungan 2 engsel sampai peningkatan gaya di penulangan longitudinal merusak beton yang melingkupi kait, kemudian runtuh terjadi. Mode keruntuhan ini sering disebut kerusakan atau keruntuhan tarik geser atau ikat geser.

3. Runtuh tekan geser dimana : 2,5>a/d>1

   Untuk a/d lebih rendah dari 2,5 tapi lebih besar dari 1, retak miring sering terjadi bebas dan tidak seperti perkembangan dari retak lentur (seperti gambar 2.9). Balok biasanya tetap stabil setelah retak. Penambahan lebih lanjut pada gaya V akan menyebabkan retak miring yang masuk ke dalam daerah tekan beton pada titik pembebanan, sampai pada akhirnya kerusakan yang menghancurkan pada beton terjadi di sana, kadang bersifat meledak atau eksplosif (bagian yang diarsir). Mode keruntuhan ini biasa disebut keruntuhan tekan geser.

Pola retak keruntuhan tekan geser dimana : 2,5 > a/d > 1



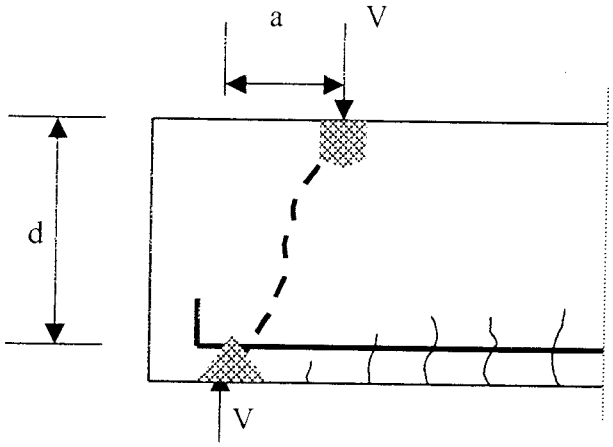
Gambar 2.9. Keruntuhan tekan geser

4. Runtuh tekan dimana : a/d < 1

   Perilaku balok dengan perbandingan a/d rendah seperti balok tinggi. Retak miring membentuk kurang lebih sepanjang garis pertemuan beban dan titik dukungan (seperti gambar 2.10). Retak tersebut terbentuk terutama dari hasil aksi pemisahan dari gaya tekan yang dipancarkan langsung dari

titik pembebanan ke tumpuan. jika gaya V bertambah, retak miring akan menyebar secara serempak ke arah beban dan titik dukungan, ketika retak telah masuk dengan cukup dalamnya ke daerah beton pada titik beban, atau lebih sering pada titik dukungan, kerusakan hancur pada beton terjadi.

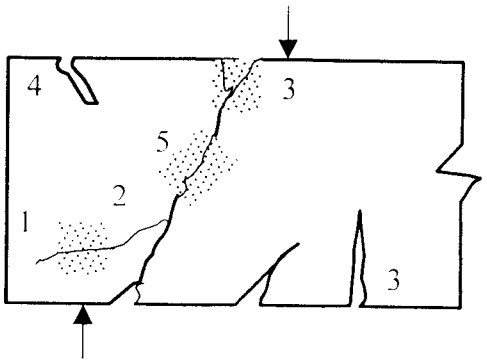
Pola retak keruntuhan tekan dimana : a/d < 1



Gambar 2.10. Keruntuhan tekan

Pola keruntuhan yang mungkin terjadi untuk sistem pelengkung seperti gambar 2.11, yaitu :

1. Keruntuhan angker, yaitu terlepasnya tulangan tarik dari perletakan.
2. Kehancuran di daerah perletakan.
3. Keruntuhan lentur (*flexural failure*) yang timbul akibat hancurnya beton dibagian atas dari pelengkung atau akibat melelehnya tulangan tarik.
4. Keruntuhan dari rib pelengkung akibat eksentrisitas dari tekanan di dalam pelengkung, yang mengakibatkan retak tarik di atas perletakan.

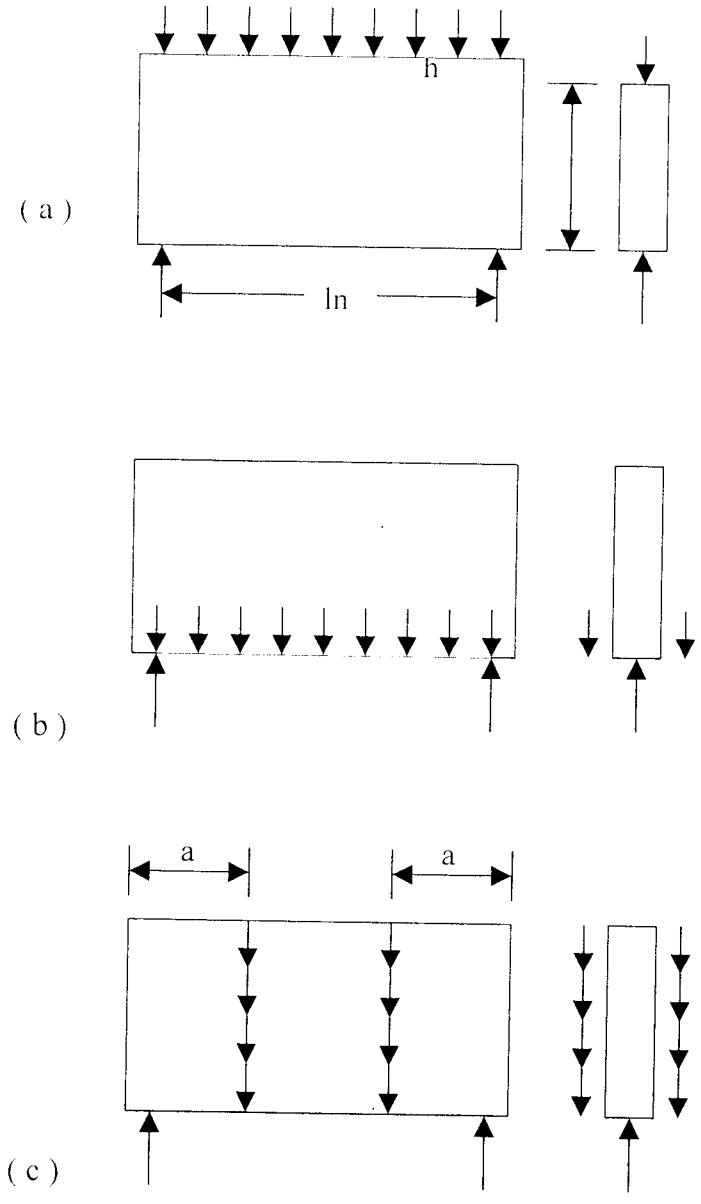


1. Keruntuhan penjangkaran
2. Keruntuhan perletakkan
3. Keruntuhan lentur
4 & 5. Keruntuhan busur

Gambar 2.11. Pola keruntuhan pada balok tinggi

2.4. Penempatan Beban Pada Balok

Balok tinggi biasanya dibebani sepanjang sisi atasnya terlihat pada gambar 2.12 (a), dengan beban-beban yang bekerja di sepanjang tepi tekan. Namun demikian pada beberapa kasus tertentu seperti pada sisi dinding tangki penyimpanan beban-beban dapat dipikul sepanjang tepi tarik atau sisi bawahnya seperti yang terlinat pada gambar 2.112 (b). Beban-beban juga dapat bekerja secara terbagi merata sepanjang tinggi balok seperti yang terlihat pada gambar 2.12 (c), melalui batang-batang tinggi lainnya yang membentuk rangka dan membuat sudut tegak lurus dengan balok utama. reaksi-reaksinya juga dapat didistribusikan sepanjang ketinggiannya.



Gambar 2.12. Penempatan beban pada balok

BAB III

ANALISA BALOK TINGGI

3.1. Pembebanan

Pada perencanaan komponen struktur beton bertulang, harus diperhatikan beban-beban yang bekerja pada suatu konstruksi, sehingga didapatkan suatu perencanaan yang kuat dan aman. Beban-beban yang bekerja pada suatu struktur dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

1. **Beban Mati (D)**

   Beban mati merupakan beban gaya berat pada suatu posisi tertentu yang bekerja terus menerus menuju arah bumi pada saat struktur telah berfungsi. Berat struktur dianggap sebagai beban mati, demikian pula segala yang menempel pada struktur tersebut seperti pipa-pipa, saluran listrik, saluran AC, penutup lantai, penutup atap, plafond, yakni segala yang tetap berada pada struktur selama masa bangunan.

2. **Beban Hidup (L)**

   Beban hidup adalah beban-beban gravitasi yang bekerja pada saat struktur yang telah berfungsi, namun bervariasi dalam besar dan lokasinya. Contohnya adalah beban orang, beban air hujan pada atap, furniture, perkakas yang dapat bergerak, kendaraan dan barang-barang

yang dapat disimpan. Secara praktis beberapa beban hidup bersifat permanen, sedangkan yang lainnya sering berpindah-pindah. Beban hidup tipikal suatu struktur didasarkan pada fungsi guna bangunan tersebut.

Meskipun beban angin (W) termasuk suatu beban hidup, tetapi beban tersebut dikategorikan terpisah pada waktu mencantumkan faktor keamanannya.

Menurut SK SNI T-15-1991-03 Bab III, pasal 3.2.2, hal 13, supaya struktur dan komponen struktur memenuhi syarat yang telah ditentukan dan laik terhadap bermacam-macam kombinasi beban sebagai berikut :

1. Kuat perlu U yang menahan beban mati (D) dan beban hidup (L) paling tidak harus sama dengan :

   $$U = 1{,}2\ (D) + 1{,}6\ (L)$$

2. Kuat perlu U yang menahan angin (W) harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi antar beban angin (W), beban mati (D), beban hidup (L), harus diperhitungkan sebesar :

   $$U = 0{,}75\ [\ 1{,}2\ (D) + 1{,}6\ (D) + 1{,}6\ (W)\ ]$$

   Dimana kombinasi beban diperhitungkan beban hidup (L) yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya yaitu sebesar :

   $$U = 0{,}9\ (D) + 1{,}3\ (W)$$

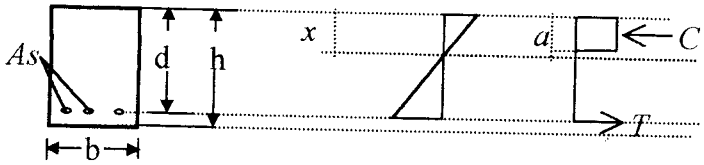
Dengan catatan bahwa setiap kombinasi beban mati (D), beban (L), beban angin (W), akan diperoleh kekuatan tidak kurang dari :

$$U = 1{,}2\,(D) + 1{,}6\,(L)$$

3.2. Perencanaan Lentur

Tulangan lentur utama akan direncanakan memakai persamaan-persamaan balok biasa. Yang penting disini adalah analisis kekuatan untuk menentukan kapasitas beban batas. Teori-teori yang ternyata dapat dibenarkan berdasarkan hasil percobaan, menunjukkan bahwa kekuatan lentur dapat diramalkan dengan ketelitian yang cukup baik dengan memakai metode-metode yang digunakan pada balok-balok yang memiliki perbandingan ukuran normal. Blok tegangan persegi ekivalen dan parameter-parameter yang berhubungan dapat dipakai tanpa adanya perubahan. Dengan demikian tinggi blok tegangan a dapat diperoleh dengan persamaan :

$$a = \frac{Asfy}{0{,}85f'cb} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$



Gambar 3.1 Tampang Regangan dan Tegangan Balok Persegi

dimana : a = Tinggi blok tegangan beton tekan

As = Jumlah luas penampang tulangan baja tarik

fy = Tegangan luluh baja (Mpa)

f'c = Kuat tekan beton (Mpa)

b = Lebar balok

kekuatan lentur nominal Mn dari persamaan :

$$Mn = Mu/\phi \quad \text{.....} \quad (2)$$

$$Mn = As\ fy\ (d - a/2) \quad \text{.....} \quad (3)$$

Dimana :

Mn = Kuat momen nominal suatu penampang (Nm)

Mu = Momen terfaktor pada penampang

d = Tinggi efektif balok

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

Harga perbandingan tulangan seimbang :

$$\rho b = \frac{0{,}85 f'c}{fy}\ \beta 1 \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \quad \text{.....} \quad (4.a)$$

dimana $\beta 1$ adalah konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton. Menurut standart SK SNI T-15-1991-03 menetapkan :

1. Jika $f'c \leq 30$ Mpa $\rightarrow$ $\beta 1 = 0{,}85$ .. ..(4.b)
2. Jika $f'c > 30$ Mpa $\rightarrow$ $\beta 1 = 0{,}85 - 0{,}008\ (f'c - 30) \geq 0{,}65$ ..... (4.c)

Pedoman menentukan bahwa :

$$\rho min < \rho < \rho maks \quad \text{.....} \quad (5.a)$$

$$\rho min = \frac{1{,}4}{fy} \quad \text{.....} \quad (5.b)$$

$$\rho maks = 0{,}75\ \rho b \quad \text{.....} \quad (5.c)$$

$$\rho = \frac{As}{bd} \quad \text{.....} \quad (5.d)$$

untuk menentukan ρ dapat digunakan tabel pada SKSNI T-15-1991-03 dengan menghitung besarnya Mu/bd^2, dimana : ρ = rasio penulangan dan ρb = rasio penulangan keadaan seimbang (balance)

3.3. Perencanaan Geser

Pada balok dimana perbandingan antara bentangan dengan tinggi balok ln/d < 5, maka terdapat aturan-aturan khusus yang mengatur masalah perhitungan gaya gesernya. Pada balok tinggi prinsip-prinsip hitungan tradisional dari analisis tekanan tidak lagi memadai untuk menentukan kekuatan balok tinggi.

Oleh karena itu, menurut SK SNI T-15-1991-03, untuk balok dimana ln/d kurang dari 5 dan dibebani pada bagian atas dari permukaan tekannya, harus diberikan ketentuan-ketentuan khusus bagi geser yang bekerja padanya. Apabila beban-beban bekerja pada sisi atau bagian bawah batang, maka ditetapkan ketentuan-ketentuan perencanaan seperti yang berlaku pada balok-balok biasa.

Dasar perencanaan adalah :

$$Vu \leq \phi Vn \quad \text{.....} \quad (6)$$

Dimana untuk geser ϕ = 0,60 dan besarnya Vn dapat dihitung dengan rumus :

$$Vn = Vc + Vs \quad \text{.....} \quad (7)$$

Dimana :

Vu = Kuat geser terfaktor pada penampang

Vn = Kuat geser nominal

Vc = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

Vs = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

Peraturan SK SNI T-15-1991-03 BAB III, pasal 3,4,6, hal. 45, menyebutkan bahwa gaya geser rencana Vu harus memenuhi kondisi :

$$Vn \leq \left(2 \; x \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \right) b_w d \text{ untuk ln/d} < 2{,}0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

$$\text{atau } Vn \leq \frac{1}{18}\left\{ \left(10 + \frac{ln}{d} \right) \sqrt{f'_c} \right\} b_w d \text{ untuk } 2 \leq \text{ln/d} \leq 5 \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

dimana :

f'_c = Kuat tekan beton yang diisyaratkan (Mpa)

ln = Bentang bersih yang diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)

b_w = Lebar badan balok (mm)

d = Jarak dari serat tekan terluar terhadap tulangan tarik longitudinal (mm)

Jika tidak memenuhi keadaaan ini, penampang harus diperbesar.

Oleh karena penulangan geser yang dibutuhkan pada penampang kritis harus dipakai untuk seluruh bentang, maka geser terfaktor Vu ditentukan cukup pada satu tempat saja. Penampang kritis dapat didefinisikan sebagai lokasi dengan suatu jarak dari tumpuan.

Untuk pembebanan terbagi rata penampang kritis bagi geser harus diambil pada suatu jarak 0,15 1n dari permukaan perletakan dan 0,5a bila dibebani dengan beban terpusat, tetapi untuk kedua keadaan tersebut besar jarak ini tidak boleh melampaui d dihitung dari permukaan perletakan.

Karena adanya penambahan kekuatan geser pada balok tinggi akibat adanya aksi busur, maka ketentuan SK SNI T-15-1991-03 mengijinkan sumbangan kekuatan geser yang diberikan oleh beton dapat dihitung dengan rumus :

$$Vc = \left(3{,}5 - 2{,}5\frac{Mu}{Vud}\right)\frac{1}{7}\left(\sqrt{f'c} + 120\,\rho\,\frac{Vud}{Mu}\right)bwd \leq \frac{1}{2}\sqrt{f'c}\;bwd$$

Dimana $1{,}0 < \left(3{,}5 - 2{,}5\frac{Mu}{Vud}\right) \leq 2{,}5.$ Faktor ini merupakan pengali dari persamaan dasar Vc dari balok biasa untuk memperhitungkan besarnya kapasitas tahanan balok tinggi.

dimana :

Mu = Momen terfaktor

ρ = Rasio luas tulangan tarik dengan luas efektif penampang beton

a = Jarak antara beban terpusat dan muka dari tumpuan (mm)

Apabila gaya geser rencana Vu melampaui ϕVc, maka perlu dipakai penulangan geser untuk memikul kelebihan gaya geser tersebut, agar memenuhi persamaan (6) dan (7), dimana kuat geser Vs dapat dihitung dengan :

$$Vs = \left(\frac{Av}{s} \left(\frac{1 + ln/d}{12} \right) + \frac{Avh}{s_2} \left(\frac{11 - ln/d}{12} \right) \right) fy\, d \quad \text{.....} (11)$$

dimana :

Av = Luas penampang sengkang vertikal

Avh = Luas penampang tulangan geser memanjang

s = Jarak sengkang

s_2 = Jarak spasi vertikal tulangan geser memanjang

fy = Kuat leleh yang diisyaratkan dari tulangan non pratekan (MPa)

$$\left.\begin{array}{l} s \text{ maksimum} \leq d/5 \text{ atau } 500 \text{ mm} \\ s_2 \text{ maksimum} \leq d/3 \text{ atau } 500 \text{ mm} \end{array}\right\} \text{ Dipilih yang terkecil} \quad \text{.....} (12)$$

A minimum = 0,0015bws ..... (13)

Avh minimum = $0{,}0025bws_2$ ..... (14)

Penulangan geser yang diperlukan pada penampang kritis harus diberikan di seluruh balok tinggi.

Dengan mengkombinasikan persamaan-persamaan (6), (7) dan (11) untuk besar tulangan geser yang dibutuhkan pada balok tinggi akan didapat persamaan :

$$\frac{Av}{s}\left(\frac{1 + ln/d}{12}\right) + \frac{Avh}{s_2}\left(\frac{11 - ln/d\phi}{12}\right) = \frac{Vu - \phi\, Vc}{\phi fy\, d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

Untuk tujuan perencanaan, perlu dicatat bahwa koefisien-koefisien yang terdapat pada persamaan (15) merupakan faktor-faktor bobot untuk menyatakan keefektifan relatif dari tulangan badan vertikal dan horisontal. Harga faktor-faktor ini sebagai suatu fungsi dari parameter ln/d. Dapat dilihat bahwa untuk balok-balok yang sangat tinggi dengan harga ln/d relatif kecil tulangan horisontal Avh menjadi sangat efektif dan penambahan tulangan vertikal Av hanya akan memberikan sedikit saja bagi pertambahan kekuatan. Dengan bertambahnya harga perbandingan ln/d = 5 (batas dari balok tinggi menurut definisi yang ditentukan oleh pedoman) tulangan vertikal dan horisontal sama-sama akan berfungsi secara efektif.

BAB IV

PERHITUNGAN PERENCANAAN

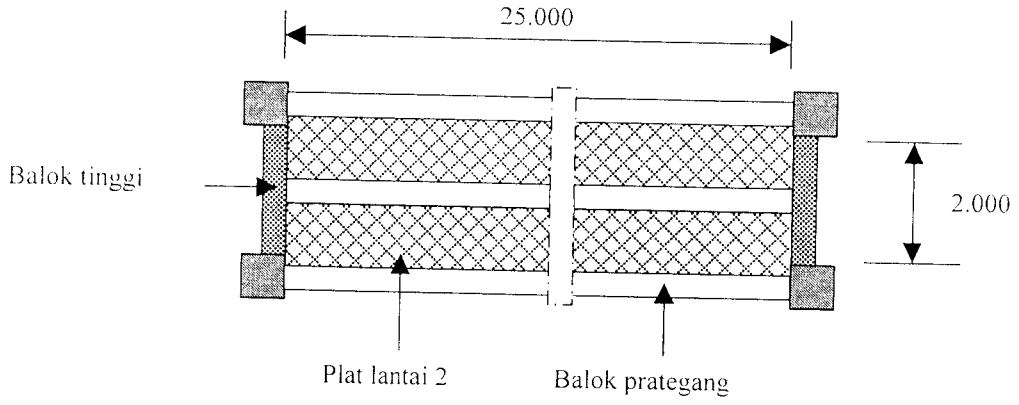
4.1. Umum

Untuk memperjelas uraian yang telah diungkapkan pada bab-bab sebelumnya, pada bagian ini akan diberikan suatu aplikasi perencanaan balok tinggi. Analisis yang akan dilakukan meliputi perhitungan dimensi balok serta penulangan balok.

4.2. Perencanaan Elemen Balok

Bangunan direncanakan untuk gedung pertemuan. Gedung pertemuan ini memerlukan lebar bentang 25 m sesuai dengan lebar gedung dan tidak diinginkan adanya kolom ditengah-tengah ruangan. Akibatnya diperlukan sebuah balok prategang dengan panjang minimal 25 m. Untuk mendukung balok prategang tersebut digunakan kolom yang berada di tepi gedung. Balok prategang yang digunakan menurut perencanaan harus dipasang pada setiap jarak 1000 mm sehingga ada sebagian balok prategang yang terletak tidak pada kolom, karena jarak kolom yang direncanakan adalah setiap bentang 2500 mm. Oleh karena itu, diperlukan sebuah balok yang mampu menahan

atau sebagai tumpuan dari balok prategang tersebut. Gambaran perencanaan balok dan kolom gedung tersebut adalah seperti gambar 4.1. berikut :



Gambar 4.1. Tampak bawah struktur pembebanan plat lantai

1. **Dimensi Balok Tinggi**

Karena direncanakan untuk gedung pertemuan, maka diinginkan gedung tersebut mempunyai bentang cukup panjang dan tidak diinginkan terdapat kolom di tengah ruangan. Panjang bentang gedung pertemuan ini direncanakan sebesar 25 m sesuai dengan lebar gedung pertemuan. Berdasarkan ketentuan tersebut, maka untuk balok utama digunakan balok prategang. Beberapa balok prategang ditumpu oleh kolom-kolom tepi, tetapi ada beberapa balok yang berada diantara kolom-kolom tepi. Untuk balok prategang tersebut, balok prategang ditumpu oleh balok tepi. Uraian tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 4.1 di atas. Karena menumpu beban balok

prategang yang cukup besar, maka balok tepi direncanakan sebagai balok tinggi.

Dimensi kolom direncanakan 500 x 500 mm^2.

Jarak bersih (ln) antar kolom direncanakan sepanjang 2000 mm

Balok tinggi : ln/d < 5

ln/5 < d

2000/5 < d → d > 400 mm

Tinggi efektif balok (d) diasumsikan sebesar 0,9 tinggi balok (H),

d = 0,9 H, maka tinggi balok (H) = d/0,9

H = 400/0,9 = 444,44 mm → dipakai tinggi balok 450 mm

Karena tinggi balok (H) = 450 mm maka tinggi efektif balok (d) = 0,9 H,

d = 0,9 x 450 = 405 mm

Di asumsikan lebar balok (bw) = ½ x tinggi balok = 1/2 x 450 = 225 mm

Maka diperoleh dimensi balok tepi = 225 x 450 mm^2.

2. Tebal Pelat Lantai Gedung Pertemuan

Dari peraturan beton diperoleh ketentuan :

Pelat mendukung satu arah seperti gambar disamping, mempunyai syarat tebal minimum pelat untuk mutu baja (fy) = 240 Mpa adalah : L/27 (satu per dua tujuh bentang balok).

Jarak antar balok prategang :

Dari as kolom ke as kolom = 2000 + (2x1/2x500) =2500 mm

Dari 2 kolom terdapat 3 balok prategang, maka jarak antar balok prategang adalah :

Y = {2500 – (400 + 2 x ½ x 400)} x 1/2 = 850 mm.

h = L/27 x {0,4 + (fy/700)}

= 850/27 x {0,4 + (240/700)}

= 4,3175 mm ⟶ maka digunakan tebal pelat lantai (h) = 120 mm

3. **Beban Pelat Lantai Gedung Pertemuan**

a. Beban mati akibat berat sendiri pelat

Berat sendiri : 0,12 x 23 = 2,76

Spesi (t:1 cm) : 0,01 x 1,1 = 0,011

Penutup lantai (t:2,5 cm) :0.025 x 1,1= 0,0275

q_D = 2,7985 kN/m^2

dibulatkan : q_D = 2,8 kN/m^2

b. Beban hidup sebagai gedung pertemuan

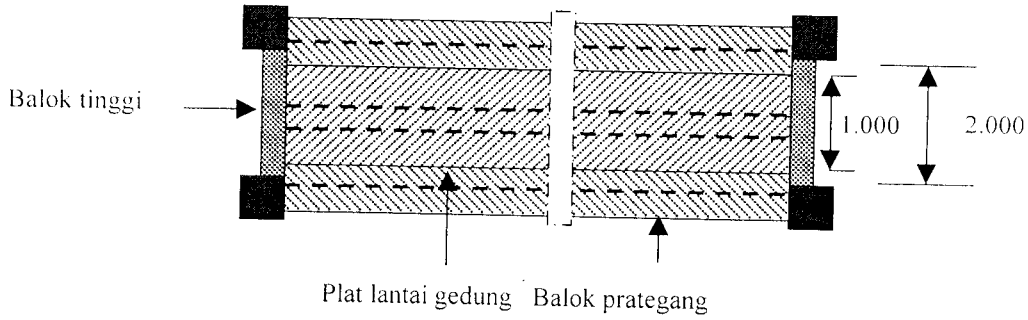
q_L = 4 kN/m2

c. Beban ultimit

q_U = 1,2 q_D + 1,6 q_L

= 9,76 kN/m^2

4. **Pembebanan balok**



Gambar 4.2. Distribusi beban plat lantai

Balok prategang yang digunakan direncanakan mempunyai dimensi 350 x 1250 mm^2 dan panjang 25,6 m. Berat balok beton prategang tersebut adalah 21,20 ton (berdasarkan data penampang balok pracetak produksi Buntu untuk panjang 25,6 m "Pracetak buntu Type II"). Berat balok prategang per m' adalah : 21,20/25,6 = 0,8281 ton/m = 8,281 kN/m

Beban balok prategang panjang 25,6 m :

Berat sendiri : = 8,281

Q eq : (1/2 x 1,0 x 2) x 9,76 = 9,76

q balok prategang = 18,041 kN/m

Sebagai beban titik bagi balok 2 m (P)

P = ½ x (18,041 x 25,6) = 230,9248 kN

Beban balok tepi (panjang 2,5 m) :

Berat sendiri : 0,225 x 0,45 x 23 = 2,329 kN/m

5. Hitungan Gaya Geser

Reaksi pada tumpuan (R_A dan R_B)

R_A = R_B

= (½ x q balok x L) + (½ x P)

= (½ x 2,329 x 2,5) + (½ x 230,9248)

= 118,374 kN

Jarak penampang kritis

Berdasarkan teori di SK SNI T-15-1991-03 bahwa untuk pembebanan terbagi rata penampang kritis bagi geser harus diambil pada suatu jarak 0,25 ln dari permukaan perletakkan.

Z = 0,25 ln

= 0,25 x 2 = 0,5 m

Menghitung gaya geser rencana (Vu)

Vu = R_A – { q balok x (0,25 ln) }

= 118,374 – (2,329 x 0,5)

= 117,2095 kN

Menghitung kuat geser nominal (Vn)

ϕ Vn $= \phi$ x 1/18 x [10 + ln/d] $\sqrt{f'c}$ x bw x d

= 0,6 x 1/18 x [10 + 4,938] $\sqrt{25}$ x 225 x 405

= 226870,9 N

ϕ Vn = 226,8709 kN > Vu

6. **Hitungan Momen**

a. Mu $= R_A$ x (0,25 ln) – { ½ x q balok x $(0,25\ ln)^2$ }

= (118,374 x 0,5) – (½ x 2,329 x $0,5^2$)

= 58,896 kNm

b. Momen maksimum akibat beban terbagi rata pada balok tepi

Mtump = 1/16 x q balok x L^2 = 1/16 x 2,329 x $2,5^2$ = 0,9098 kNm

Mlap = 1/14 x q balok x L^2 = 1/14 x 2,329 x $2,5^2$ = 1,0397 kNm

c. Momen maksimum akibat beban terpusat (berdasarkan PBI'71 hal 117) Mo = ¼ x P x L = ¼ x 230,9248 x 2,5 = 144,328 kNm.

Mlap = 4/5 Mo = 4/5 x 144,328 = 115,4624 kNm

Mtump = ½ Mo = ½ x 144,328 = 72,164 kNm

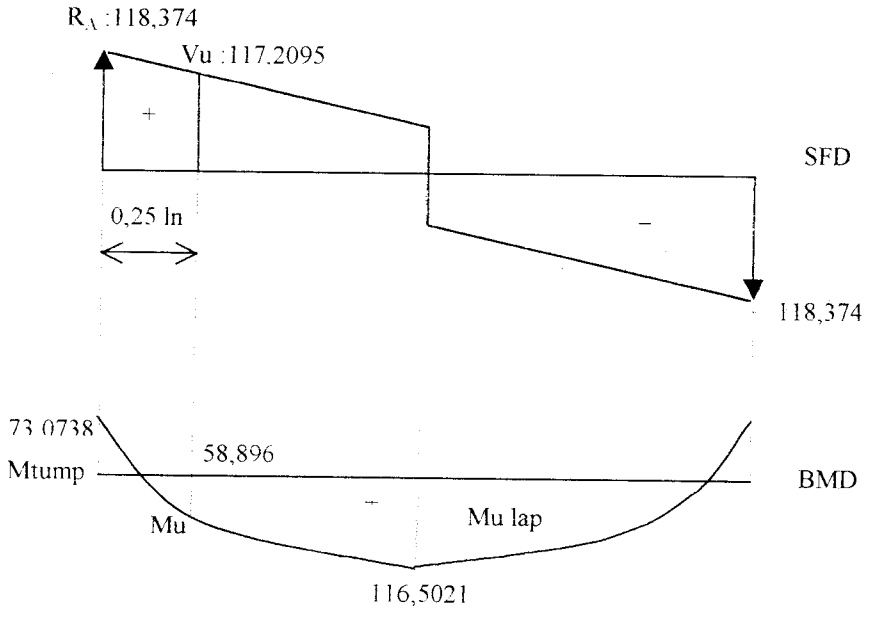
Maka momen maksimum yang terjadi di tepi bentang adalah :

Mtump = 0,9098 + 72,164 = 73,0738 kNm

Maka momen maksimum yang terjadi di tengah bentang adalah :

Mlap = 1,0397 + 115,4624 = 116,5021 kNm

Gambar bidang geser (*Shearing Force Diagram* = SFD) dan gambar bidang momen (*Bending Moment Diagram* = BMD) ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3. SFD dan BMD

7. **<u>Hitungan tulangan lentur balok</u>**

Kebutuhan tulangan pokok balok dihitung berdasarkan momen terbesar yang terjadi pada balok tersebut. Tulangan lapangan dihitung sebagai berikut:

$$\frac{Mlap}{bd^2} = \frac{116,5021}{(0,225 \times 0,405^2)} = 3156,8$$

Berdasarkan buku "grafik dan tabel perhitungan beton bertulang" karangan W.C. Vis dan Gideon Kusuma Jilid 4 halaman 46 diperoleh angka $\rho = 0.0183$

$$\rho b = \frac{0.85\ f'c}{fy}\ 0.85 \left(\frac{600}{600 + fy} \right) = 0.0368$$

$$\rho min = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

$\rho max = 0.75\ \rho b = 0.75 \times 0.0368 = 0,0276$

$\rho < \rho max$, maka untuk menghitung kebutuhan tulangan utama balok digunakan rumus:

$As = \rho \times b \times d = 0,0183 \times 225 \times 405 = 1667,875\ mm^2$

Dipilih digunakan tulangan deform fy : 320 Mpa dengan diameter 22 mm, maka luas 1 tulangan = 380,13 mm^2. Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{1667.875}{380.13} = 4,39 \text{ buah} \sim 5 \text{ buah}$$

Maka untuk tulangan lapangan balok tinggi digunakan 5 D 22.

Tulangan tumpuan dihitung sebagai berikut:

$$\frac{Mtump}{bd^2} = \frac{73,0738}{(0.225 \times 0.405^2)} = 1980,02$$

Berdasarkan buku "grafik dan tabel perhitungan beton bertulang" karangan W.C. Vis dan Gideon Kusuma Jilid 4 halaman 46 diperoleh angka $\rho = 0{,}0109$

$$\rho b = \frac{0{,}85\ f'c}{fy}\ 0{,}85 \left(\frac{600}{600 + fy} \right) = 0{,}0368$$

$$\rho min = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{320} = 0{,}0044$$

$\rho max = 0{,}75\ \rho b = 0{,}75 \times 0{,}0368 = 0{,}0276$

$\rho < \rho max$, maka untuk menghitung kebutuhan tulangan utama balok digunakan rumus:

$As = \rho \times b \times d = 0{,}0109 \times 225 \times 405 = 993{,}2625\ mm^2$

Dipilih digunakan tulangan deform fy : 320 Mpa dengan diameter 22 mm, maka luas 1 tulangan = 380,13 mm^2. Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{993{,}2625}{380{,}13} = 2{,}6 \text{ buah} \sim 3 \text{ buah}$$

Maka untuk tulangan tumpuan balok tepi tinggi digunakan 3 D 22

8. <u>Hitungan tulangan geser balok</u>

Menghitung faktor pengali balok tinggi :

$$3{,}5 - 2{,}5 = 3{,}5 - 2{,}5 \frac{Mu}{Vu \cdot d} = 3{,}5 - 2{,}5 \frac{58{,}896}{117{,}2095 \times 0{,}405} = 0{,}4$$

Besar faktor pengali balok tinggi tersebut minimal adalah 1,0 maka digunakan nilai minimal : 1,0

Menghitung Vc :

$$Vc = [3{,}5 - 2{,}5 \frac{Mu}{Vu \cdot d}][1/7(\sqrt{f'c} + 120\,\rho \frac{Vu \cdot d}{Mu})]\ bw \times d$$

$$= [3{,}5 - 2{,}5 \frac{58{,}896}{117{,}2095 \times 0{,}405}][1/7(\sqrt{25} + 120 \times 0{,}0234 \frac{117{,}2095 \times 0{,}405}{58{,}896})] \times 0{,}225 \times 0{,}405$$

$= 94{,}552$ kN

Bandingkan dengan nilai Vc yang diperoleh dari :

$$Vc = [\sqrt{f'c} / 2] \times bw \times d$$

$$= [\sqrt{25} / 2] \times 0{,}225 \times 0{,}405$$

$= 227{,}813$ kN

Maka dipakai nilai Vc = 94,552 kN

Bila : $Vu / \phi > Vc$ maka perlu tulangan geser

$Vu / \phi \leq Vc$ maka tidak perlu tulangan geser

Vu / ϕ = 117,2095 / 0,6 = 195,349 kN > Vc = 94,552 kN, maka perlu tulangan geser.

Menghitung kuat geser nominal yang disumbangan oleh tulangan (Vs)

$$Vs = \left(\frac{Av}{s} \left(\frac{1 + ln/d}{12} \right) + \frac{Avh}{s_2} \left(\frac{11 - ln/d}{12} \right) \right) fy\, d$$

$s \leq d/5$ atau maksimum 0,05 m

$s_2 \leq d/3$ atau maksimum 0,05 m

Av = 0,0015 x bw x s

Avh = 0,0025 x bw x s_2

Perhitungan :

s = 0,405m/5 = 0,0081 m

s_2 = 0,405m/3 = 0,135 m, maka digunakan s_2 = 0,05 m

Av = 0,0015 x 0,25 x 0,0081 = 3,0375 x 10^{-6} m^2 = 3,0375 mm^2

Avh = 0,0025 x 0,25 x 0,05 = 3,125 x 10^{-5} m^2 = 31,25 mm^2

$$Vs = \left\{ \frac{Av}{s} \left(\frac{1 + ln/d}{12} \right) + \frac{Avh}{s_2} \left(\frac{11 - ln/d}{12} \right) \right\} fy \times d$$

$$= \left\{ \frac{3,0375}{0,0081} \left(\frac{1 + 4,94}{12} \right) + \frac{31,25}{0,05} \left(\frac{11 - 4,94}{12} \right) \right\} 240 \times 0.405$$

= 487215 N

= 487,215 kN

Kebutuhan tulangan geser arah vertikal (Av) = 3,0375 mm^2

Bila digunakan tulangan polos dengan fy 240 MPa diameter 10 mm, maka luas satu tulangan adalah 78,54 mm^2, sehingga kebutuhan tulangan = 3,0375 / 78,54 = 0,04 batang. Karena kebutuhan tulangan vertikal yang sangat kecil, maka digunakan tulangan vertikal dengan jarak antar tulangan maksimum. Berdasarkan buku "Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang, Jilid 1, halaman 108, karangan Gideon dan W.C.Vis diperoleh dasar bahwa untuk jarak maksimum sengkang tulangan dipolos adalah 250 mm sehingga untuk tulangan geser arah vertikal digunakan ϕ 10 – 250. Luas tulangan terpasang adalah:

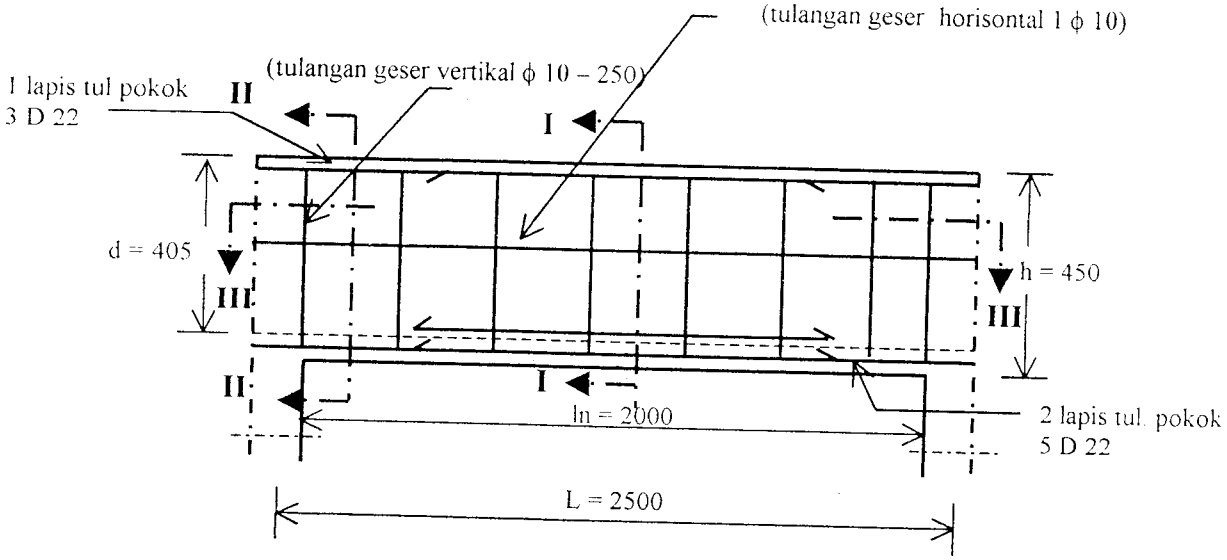
Panjang balok = 2000 mm

Jarak tulangan = 250 mm

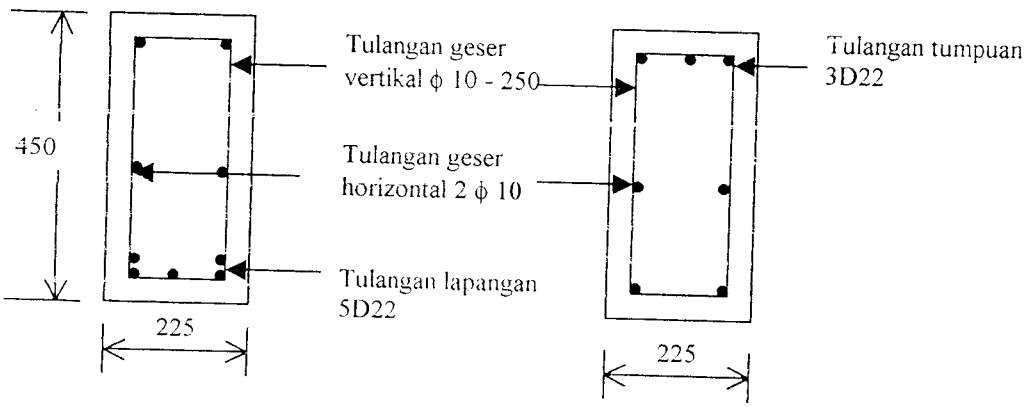
Maka jumlah tulangan adalah = (2000/250)+1 = 9 batang

Kebutuhan tulangan geser arah horisontal (Avh) = 31,25 mm^2

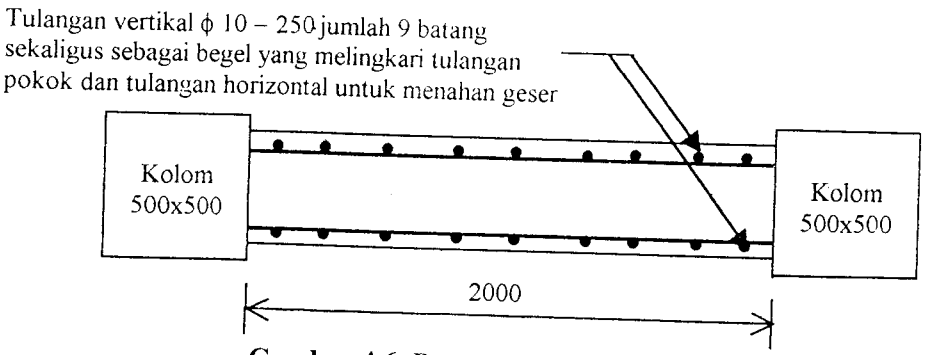
Bila digunakan tulangan polos dengan fy 240 MPa diameter 10 mm, maka luas satu tulangan adalah 78,54 mm^2, sehingga kebutuhan tulangan = 31,25 / 78,54 = 0,4 batang ~ dipakai 2 batang. Jadi tulangan geser arah horizontal digunakan 2 ϕ 10.



Gambar 4.4. Penulangan balok tinggi



Gambar 4.5. Potongan I – I dan Potongan II - II



Gambar 4.6. Potongan III - III

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Umum

Hasil analisis yang dilakukan pada bab sebelumnya diperoleh ketentuan sebagai berikut :

Jarak antar kolom (L) = 2,50 m

Jarak bersih antar kolom (ln) = 2,00 m

Dimensi kolom = 0,5 x 0,5 m^2

Tinggi balok (h) = 0,45 m

Tinggi efektif balok (d) = 0,405 m

Lebar balok (bw) = 0,225 m

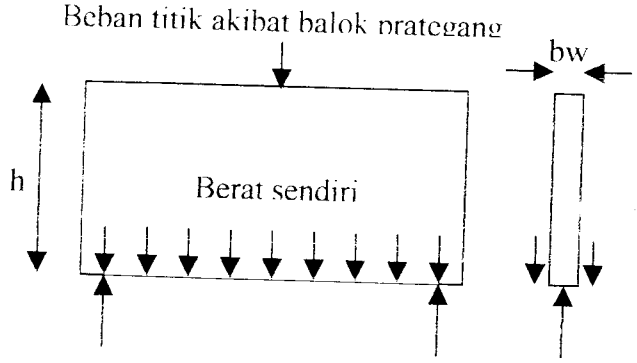
Dengan hasil seperti di atas balok yang digunakan memenuhi ketentuan sebagai balok tinggi bila ln/d < 5.

Cek : ln/d = 2,0 / 0,405 = 4,94 (< 5) ok

Balok yang dipilih dapat dikategorikan sebagai balok tinggi.

Balok tinggi dapat dibebani pada sepanjang sisi atasnya, sepanjang tepi tarik atau sisi bawahnya atau dapat juga beban terbagi merata sepanjang tinggi balok (tinjauan pustaka sub bab 2.4 halaman 19). Pada kasus ini balok

tinggi yang dianalisis dipergunakan sebagai tumpuan balok prategang . Model pembebanan adalah seperti tergambar pada gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1. Pembebanan balok tinggi sebagai tumpuan balok prategang

Pada kasus ini balok prategang menumpu secara bebas pada balok tinggi, artinya antara balok prategang dan balok tinggi tidak dicor monolit. Pelat lantai yang ada hanya ditumpu oleh balok prategang, sehingga balok tinggi yang direncanakan tidak dibebani oleh pelat lantai. Beban yang bekerja pada balok tinggi adalah beban mati yang ditimbulkan oleh berat sendiri balok tinggi dan beban titik yang disebabkan oleh balok prategang.

Menurut pedoman ACI, untuk balok-balok dimana ln/d kurang dari 5 dan dibebani pada bagian atas dari permukaan tekannya, harus diberikan ketentuan-ketentuan khusus bagi geser yang bekerja padanya, sedangkan apabila beban-beban bekerja pada sisi atau bagian bawah batang, maka dapat diterapkan ketentuan-ketentuan perencanaan seperti yang berlaku pada balok-balok biasa

5.2. Perencanaan Lentur

Perencanaan lentur dimaksudkan untuk merencanakan tulangan utama balok tinggi yang mengacu pada momen yang terjadi pada balok tinggi. Pada tumpuan terjadi momen tumpuan sebesar 73,0738 kNm, kemudian pada penampang kritis terjadi momen (Mu) sebesar 58,896 kNm dan pada tengah bentang terjadi momen lapangan sebesar 116,5021 kNm. Untuk perhitungan kebutuhan tulangan lapangan dipakai momen lapangan dan untuk perhitungan kebutuhan tulangan tumpuan dipakai momen tumpuan. Dari hasil perhitungan kebutuhan tulangan berdasarkan momen yang terjadi diperlukan tulangan seluas 1667,875 mm^2 untuk tulangan lapangan dan kebutuhan tersebut dilayani oleh tulangan deform diameter 22 mm sebanyak 5 buah (A tersedia = 1900,65 mm^2) lalu untuk tulangan tumpuan diperlukan tulangan seluas 993,2625 mm^2 dan kebutuhan tersebut dilayani oleh tulangan deform diameter 22 mm sebanyak 3 buah (A tersedia = 1140,39 mm^2).

5.3. Perencanaan Geser

Geser pada balok tinggi merupakan tinjauan utama dalam disainnya. Aksi pelengkung tekan menyebabkan bertambahnya tahanan terhadap beban geser luar. Pada SK SNI T-15-1991-03 mengijinkan sumbangan kekuatan geser yang diberikan oleh beton (Vc), yaitu faktor pengali dari persamaan dasar kekuatan geser yang diberikan oleh beton (Vc) antara 1 sampai dengan 2,5, untuk memperhitungkan besarnya kapasitas tahanan balok tinggi..

Pada balok tinggi dimana panjang bentangnya dibanding dengan tingginya (Ln/d < 5) menyebabkan geser yang terjadi lebih dominan daripada lenturnya bila dibandingkan dengan balok biasa, karena itu pada perencanaan balok tinggi ditentukan oleh gesernya.

Untuk perencanaan penulangan geser, pertama-tama dihitung kemampuan balok tinggi dengan dimensi yang direncanakan untuk menahan gaya geser yang terjadi. Dari hasil analisis diperoleh hasil bahwa dengan dimensi yang direncanakan dan dengan mutu beton yang ditetapkan yaitu sebesar 25 Mpa balok tinggi ini mampu menahan gaya geser (Vn) sebesar 226,8709 kN dan kemampuan balok menahan gaya geser tanpa tulangan geser (Vc) adalah sebesar 94,552 kN.

Berdasarkan perhitungan beban ultimit diperoleh gaya geser pada tumpuan adalah sebesar 118,374 kN dan pada penampang kritis yaitu penampang pada jarak 0,25 ln atau 0,5 m dari muka tumpuan terjadi gaya geser sebesar 117,2095 kN. Ternyata gaya geser yang terjadi lebih besar daripada kemampuan balok dalam menahan gaya geser, sehingga untuk penulangan geser balok tinggi didasarkan pada perhitungan kebutuhan tulangan geser arah vertikal (Av) dan tulangan geser arah horisontal (Avh). Dari hasil perhitungan dengan menggunakan rumus yang ada pada bab landasan teori diperoleh hasil, kebutuhan tulangan geser arah vertikal adalah

sebesar 3,0375 mm^2 dan kebutuhan tulangan geser arah horisontal (Avh) adalah sebesar 31,25 mm^2 . Dipilih untuk menggunakan tulang polos diameter 10 mm sebagai tulangan geser. Untuk tulangan geser arah vertikal karena luas tulangan perlu sangat kecil, maka jarak antar tulangan mengacu pada ketentuan jarak tulangan sengkang maksimum untuk tulangan polos yaitu sebesar 250 mm sehingga tulangan geser arah vertical dilayani oleh 9 batang tulangan diameter 10 mm yang dipasang pada setiap jarak 250 mm. Sementara untuk tulangan geser horisontal kebutuhan luas tulangan dapat dilayani oleh 2 batang tulangan polos diameter 10 mm.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan perhitungan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Balok tinggi dengan dimensi tinggi balok (h) 0.45m, lebar balok (bw) 0.225m, tinggi efektif balok (d) 0.405m , jarak bentang bersih antar kolom (Ln) 2.0m,mutu beton (f'c) 25 Mpa, mutu baja tulangan deform (fy) 320 Mpa, mutu baja tulangan polos (fy) 240 Mpa, dengan penulangan lentur 5 batang tulangan lapangan dan 3 batang untuk tulangan tumpuan dengan menggunakan baja tulangan deform diameter 22mm, untuk tulangan geser arah vertikal diperlukan 9 batang tulangan polos diameter 10mm dengan jarak 250mm, untuk tulangan geser arah horisontal diperlukan 2 batang tulangan polos diameter 10,mampu menahan beban titik di tengah bentang sebesar 230.9248 kN.
2. Dalam perencanaan balok tinggi, desain terhadap geser lebih menentukan.
3. Pada balok tinggi tulangan horizontal sangat penting untuk menambah kekuatan geser yaitu memperbaiki penyaluran gaya geser melalui ikatan agregat tetapi juga memberikan sumbangan bagi penyaluran gaya geser melalui aksi pasak, dimana analisis kuat geser nominal yang

disumbangkan oleh tulangan geser balok tinggi berbeda dengan kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser pada balok biasa.

6.2. Saran

1. Perlu dicoba contoh untuk kasus balok tinggi pada kasus kolom terputus pada gedung bertingkat banyak.
2. Perlu dianalisis contoh kasus lain dimana balok tinggi mengalami torsi
3. Perlu dilakukan analisis dengan mutu baja dan mutu beton yang berbeda.
4. Perlu dilakukan perbandingan pada balok tinggi dengan ukuran yang berbeda- beda.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum. 1991. *SK SNI T-15-1991-03 Tata Cara Perhitungan*

Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Yayasan LPMB, Bandung

Dipohosodo, Istimawan, 1996. *Struktur Beton Bertulang*. PT.Gramedia. Jakarta

Winter, G.,Nilson,A.H., 1993, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, PT.Pradnya

Paramita, Jakarta.

Nawy, Edward. G, 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, PT.Eresco, Bandung

Park. R., Paulay. T., 1975, *Rainforced Concrete Structures*, Jhon Wiley & Sons, USA Schodek. Daniel. L, 1995 Struktur. PT. Eresco. Bandung

Vis, W.C., 1993, *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Erlangga, Jakarta

Kong & Evans, 1997. *Rainforced And Prestessed Concrete*, 3rd edition. Chapman & Hall, London

Sinha, S.N., 1990, *Rainforced Concrete Design*, 1st edition, Tata McGraw Hill, New Delhi

Departemen Pekerjaan Umum. 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*, Yayasan LPMB, Bandung

[illegible]

[illegible]/05/03 — [illegible]

[illegible]

1/6-03 — [illegible]
+ [illegible]

2/07-03 — kasus dirubah [illegible]
dipertahankan [illegible]

26/07-03 — [illegible] dilapor [illegible]
ke [illegible]

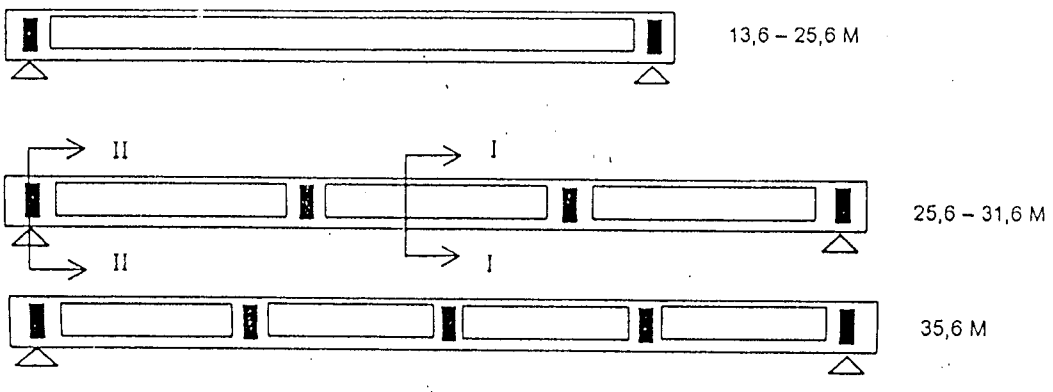
→ [illegible]
– [illegible]

→ Ace, [illegible]

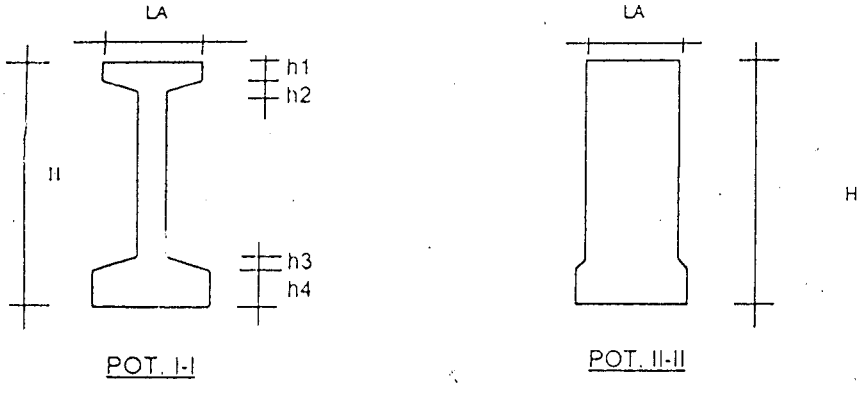
PRACETAK BUNTU

BALOK I PRACETAK PRATEKAN (POST TENSION)

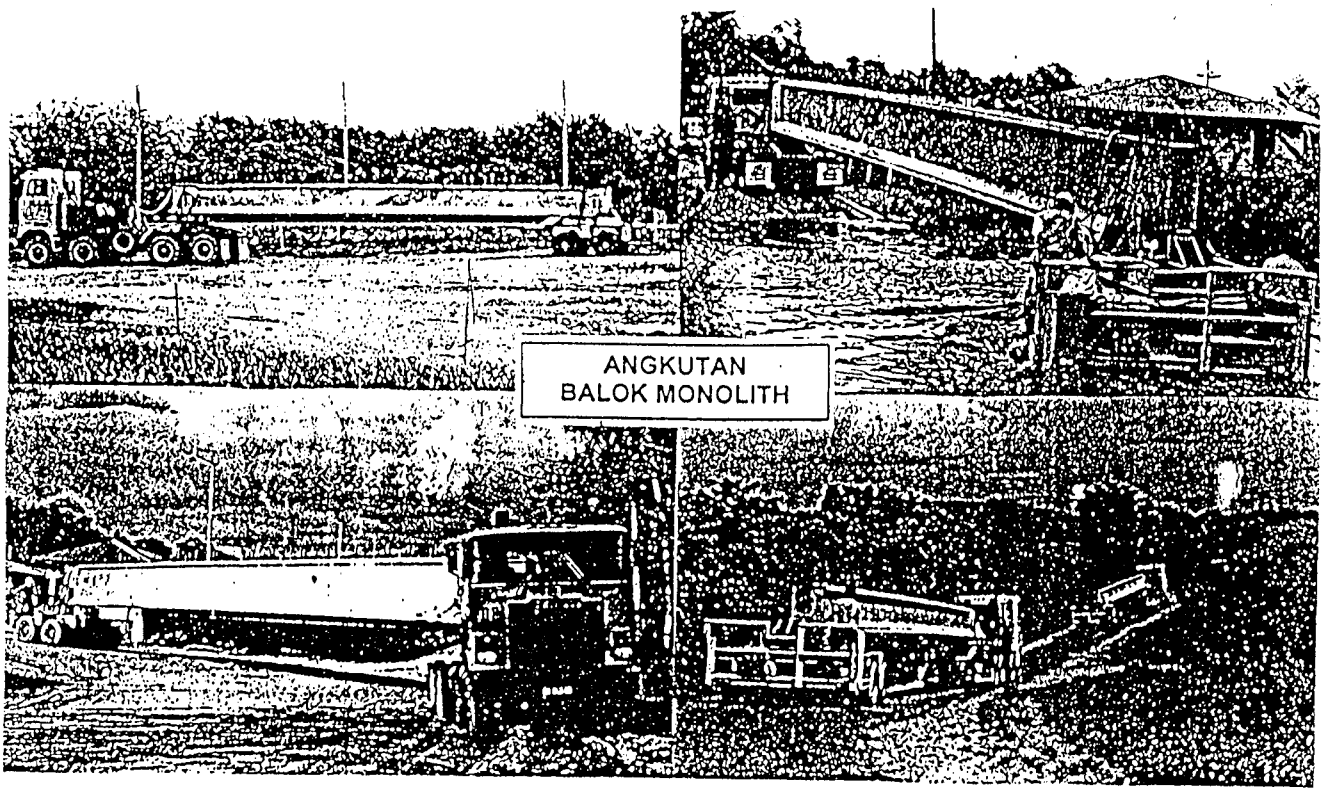
POTONGAN MELINTANG

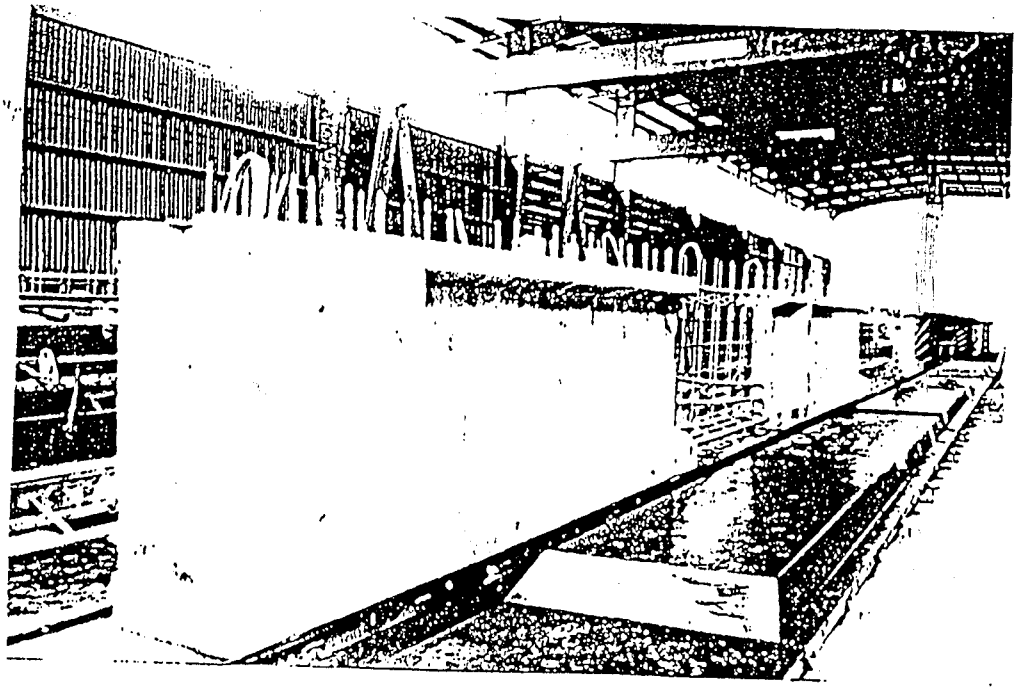


PENAMPANG BALOK



Type	Panjang (m)	H (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	h3 (mm)	h4 (mm)	t (mm)	LA (mm)	LB (mm)	Berat (Ton)	Volume (M3)	Jumlah Tendon/ Strand
I	13,60	900	75	75	100	125	170	350	650	8,80	3,52	2/12
	16,60	900	75	75	100	125	170	350	650	10,80	4,33	3/18
	19,60	900	75	75	100	125	170	350	650	12,50	4,99	3/21
II	22,60	1250	75	75	100	125	170	350	650	18,80	7,51	3/21
	25,60	1250	75	75	100	125	170	350	650	21,20	8,46	4/28
III	25,60	1600	125	75	100	225	180	550	650	34,25	13,70	4/28
	28,60	1600	125	75	100	225	180	550	650	37,85	15,44	5/35
	31,60	1600	125	75	100	225	180	550	650	41,05	16,42	6/42
IIIa	35,60	1700	225	75	100	225	180	550	650	56,25	22,50	7/47





PRODUKSI BALOK SEGMENTAL

5.1.c MUTU BETON f '$_c$ 25 ø = 0,8

M_u/bd^2	f_y = 240 MPa		f_y = 400 MPa		c/d	z/d
	ρ	a_u	ρ	a_u		
100	0,0005	0,191	0,0003	0,319	0,007	0,997
200	0,0010	0,191	0,0006	0,318	0,014	0,994
300	0,0016	0,190	0,0009	0,317	0,021	0,991
400	0,0021	0,190	0,0013	0,316	0,028	0,988
500	0,0026	0,189	0,0016	0,315	0,035	0,985
600	0,0032	0,189	0,0019	0,314	0,042	0,982
700	0,0037	0,188	0,0022	0,313	0,049	0,979
800	0,0043	0,187	0,0026	0,312	0,057	0,976
900	0,0048	0,187	0,0029	0,311	0,064	0,973
1000	0,0054	0,186	0,0032	0,310	0,071	0,970
1100	0,0059	0,186	0,0036	0,309	0,079	0,967
1200	0,0065	0,185	0,0039	0,308	0,086	0,963
1300	0,0071	0,184	0,0042	0,307	0,094	0,960
1400	0,0076	0,184	0,0046	0,306	0,101	0,957
1500	0,0082	0,183	0,0049	0,305	0,109	0,954
1600	0,0088	0,182	0,0053	0,304	0,116	0,950
1700	0,0093	0,182	0,0056	0,303	0,124	0,947
1800	0,0099	0,181	0,0060	0,302	0,132	0,944
1900	0,0105	0,181	0,0063	0,301	0,140	0,941
2000	0,0111	0,180	0,0067	0,300	0,148	0,937
2200	0,0123	0,179	0,0074	0,298	0,164	0,930
2400	0,0135	0,177	0,0081	0,296	0,180	0,924
2600	0,0148	0,176	0,0089	0,293	0,196	0,917
2800	0,0160	0,175	0,0096	0,291	0,213	0,909
3000	0,0173	0,173	0,0104	0,289	0,230	0,902
3200	0,0186	0,172	0,0112	0,286	0,247	0,895
3400	0,0200	0,170	0,0120	0,284	0,265	0,887
3600	0,0213	0,169	0,0128	0,281	0,283	0,880
3800	0,0227	0,167	0,0136	0,279	0,302	0,872
4000	0,0241	0,166	0,0145	0,276	0,320	0,864
4200	0,0256	0,164	0,0153	0,274	0,340	0,856
4400	0,0270	0,163	0,0162	0,271	0,359	0,847
4600	0,0286	0,161	0,0171	0,268	0,380	0,839
4800	0,0301	0,159	0,0181	0,266	0,400	0,830
5000	0,0317	0,158	0,0190	0,263	0,422	0,821
5200	0,0334	0,156	0,0200	0,260	0,443	0,812
5400	0,0351	0,154	0,0210	0,257	0,466	0,802
5600	0,0368	0,152			0,489	0,792
5800	0,0386	0,150			0,513	0,782
6000	0,0405	0,148			0,538	0,771