

BAB II

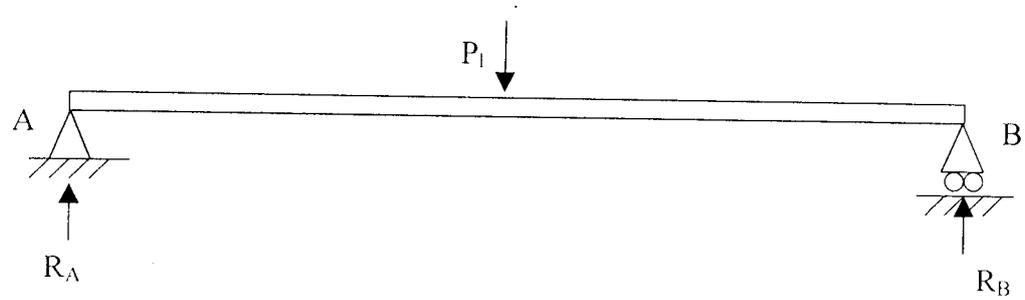
TINJAUAN PUSTAKA

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 P_1 yang bekerja pada balok AB, terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Balok sederhana

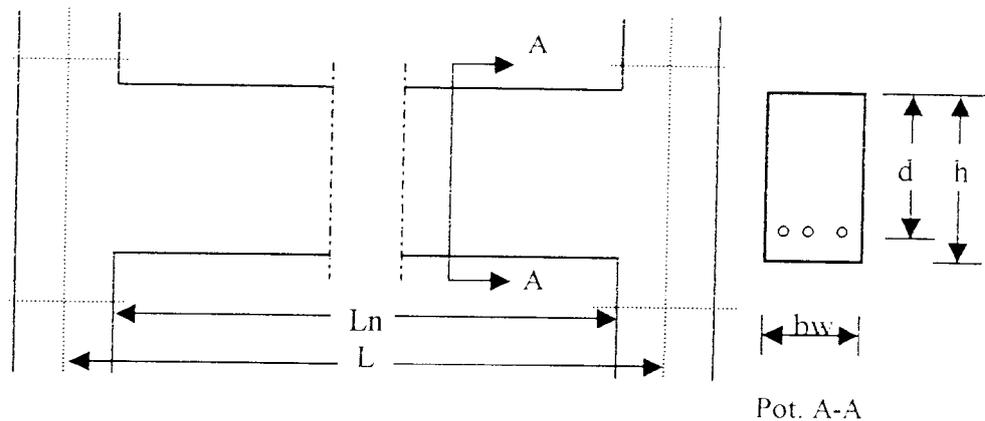
Berdasarkan perbandingan antara panjang bentangan dengan tinggi balok, maka balok beton bertulang dapat dibedakan menjadi 3 macam, yaitu :

1. Balok dengan perbandingan ukuran $l_n/d > 5$, disebut sebagai balok normal
2. Balok dengan perbandingan ukuran $2 \leq l_n/d \leq 5$, disebut sebagai balok tinggi
3. Balok dengan perbandingan ukuran $l_n/d < 2$, disebut sebagai balok sangat tinggi

dimana :

l_n = 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, $L_n/d < 5$ 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

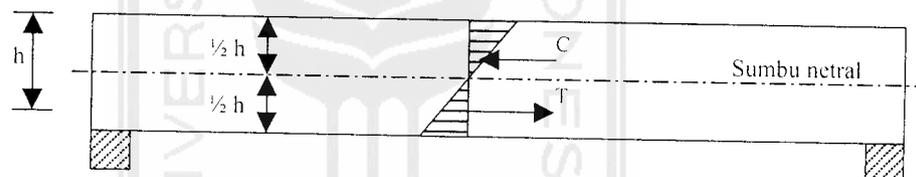
Contoh pemakaian balok jenis ini dapat ditemukan pada balok transfer yang dipakai di dalam gedung-gedung bertingkat banyak dalam hal ini adanya kolom yang terputus ditingkat bawah, dinding tangki persegi, balok berbentang pendek yang mengalami beban yang sangat berat serta dinding-dinding geser.

Handwritten signature: Hafid - Sidiq

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).

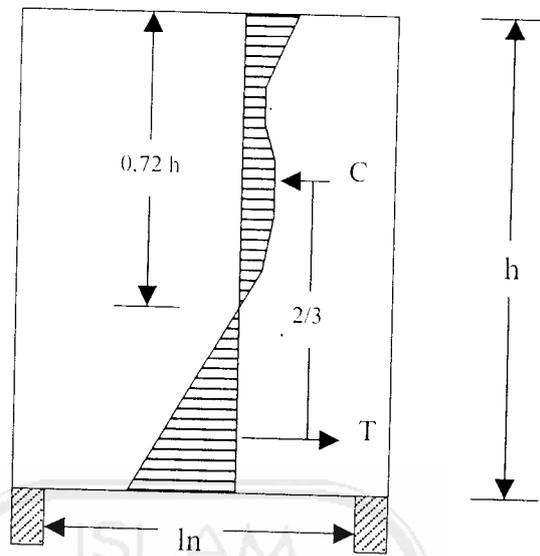
Gambar 2.3. mengilustrasikan kelinieran distribusi tegangan ditengah bentang sebelum terjadinya retak pada balok biasa.



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 ketidaklinieran regangan. Dapat dijelaskan juga bahwa besarnya tegangan tarik maksimum pada sisi bawah jauh melebihi besarnya tegangan tekan maksimum.

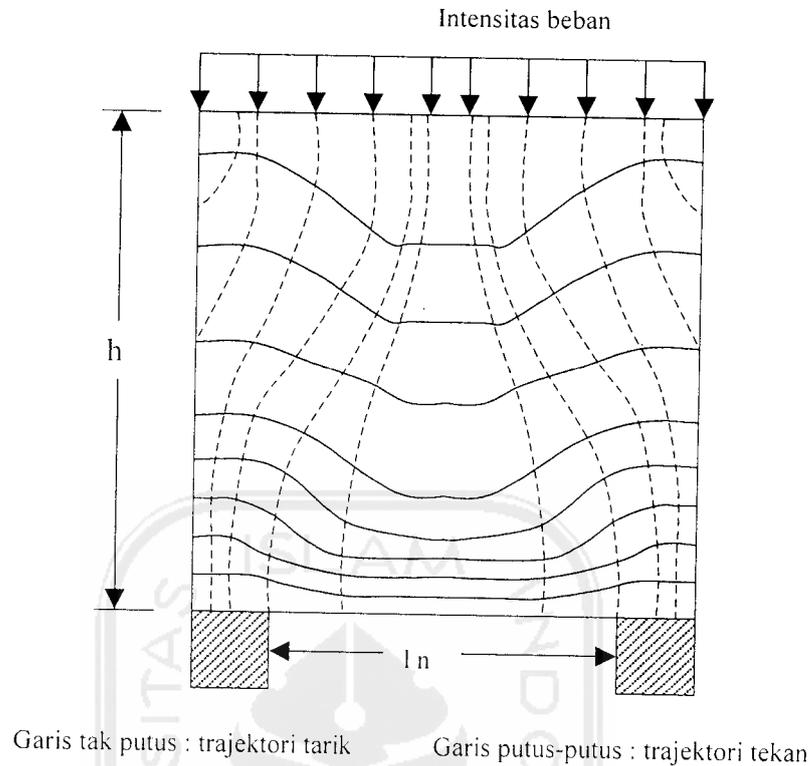
long (age) with E_m



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 balok tinggi kecil, sehingga tegangan tekan pada daerah perletakan mempengaruhi besar dan arah tegangan tarik utama yang menjadi curam dan harganya mengecil.



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 perletakkannya. 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

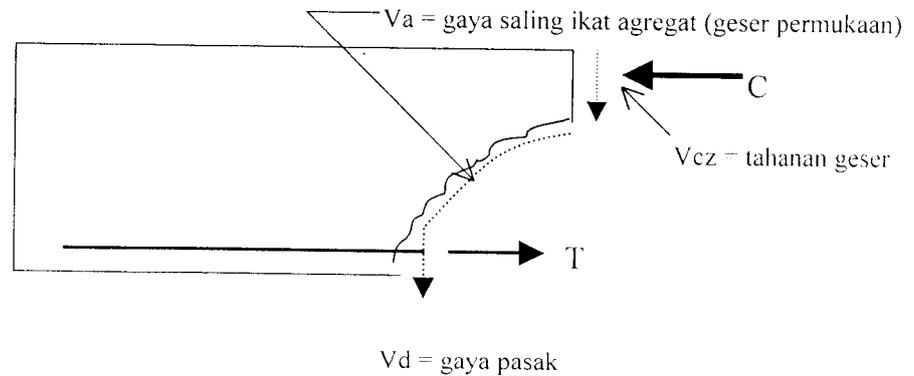
memperbaiki penyaluran gaya geser melalui ikatan agregat tetapi juga memberikan sumbangan bagi penyaluran gaya geser melalui aksi pasak.

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).

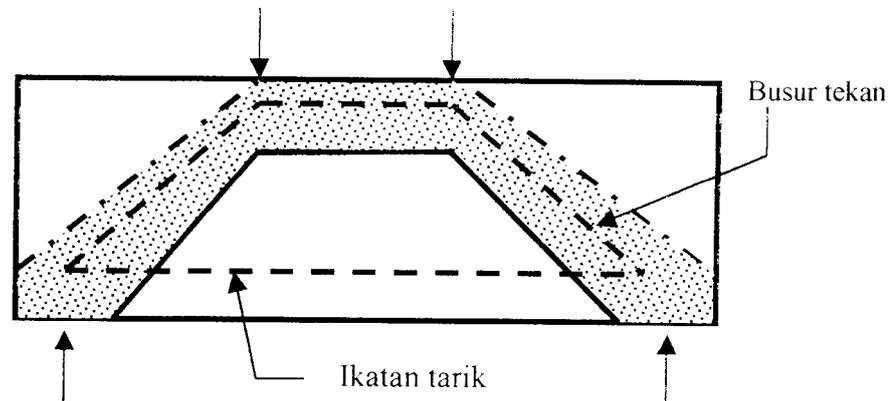
Mekanisme transfer geser di dalam unsur-unsur beton tulang terjadi melalui suatu 3 mekanisme (Kong dan Evans, 1987) sebagai berikut, seperti dalam gambar 2.6 :

1. Perlawanan geser dari beton yang belum retak, V_{cz} .
2. Gaya ikat (V_a) 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 (V_d), 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 pemasangan 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 : $a/d > 6$

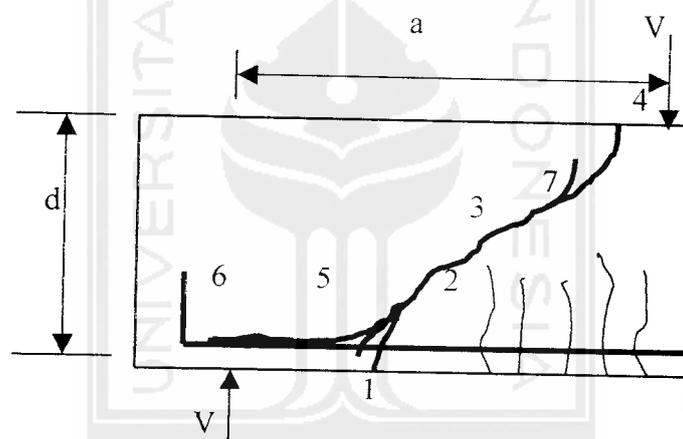
Balok yang memiliki perbandingan a/d seperti ini biasanya runtuh pada lentur.

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 : $6 > a/d > 2,5$



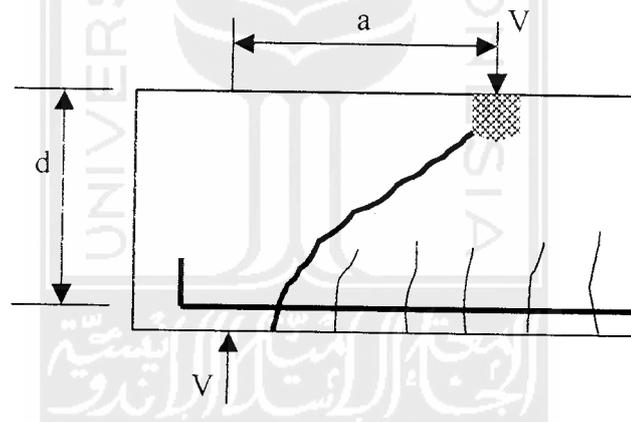
Gambar 2.8. Keruntuhan tarik geser

Jika penulangan longitudinal tidak dikaitkan di ujung, kerusakan dari ikatan dan pemisahan beton akan menyebabkan 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 : $2,5 > a/d > 1$



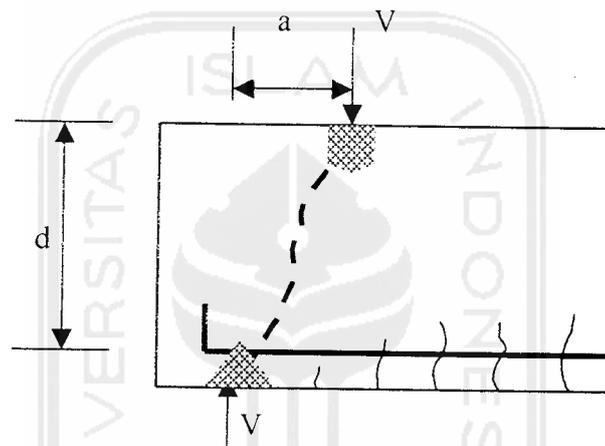
Gambar 2.9. Keruntuhan tekan geser

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.

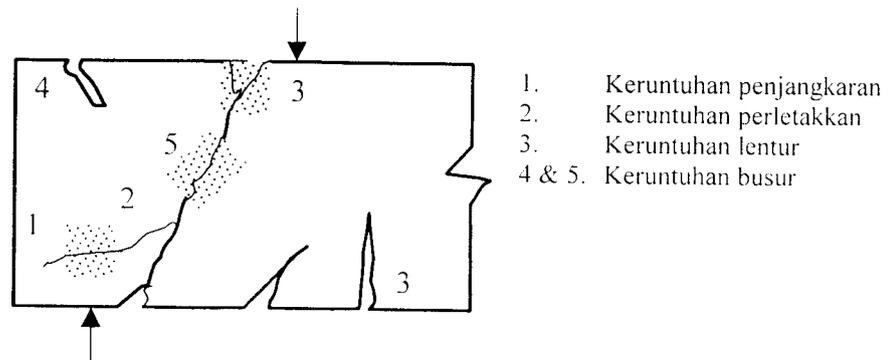
Pola retak keruntuhan tekan dimana : $a/d < 1$



Gambar 2.10. Keruntuhan tekan

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

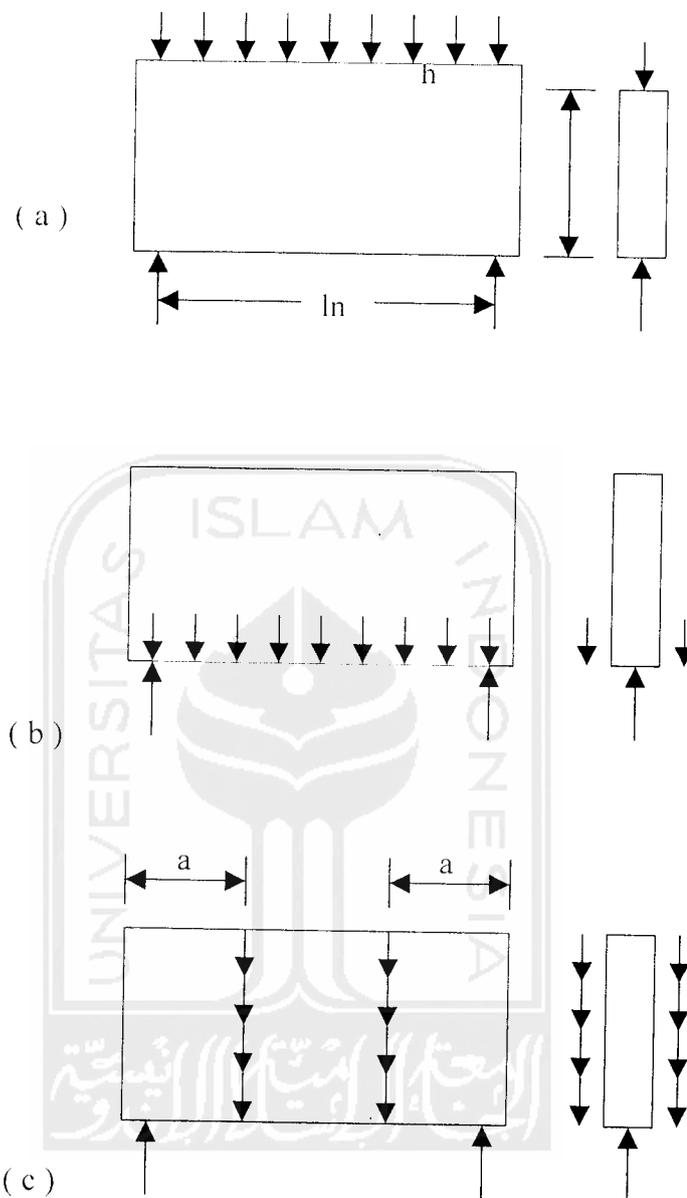
1. Keruntuhan angker, yaitu terlepasnya tulangan tarik dari perletakan.
2. Kehancuran di daerah perletakan.
3. Keruntuhan lentur (*flexural failure*) yang timbul akibat hancurnya beton dibagian atas dari pelengkung atau akibat melelehnya tulangan tarik.
4. Keruntuhan dari rib pelengkung akibat eksentrisitas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



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 terlihat 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