

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Konsep Dasar Struktur Beton Bertulang**

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat ( SK SNI T-15-1991-03,1991).

Salah satu kebaikan beton adalah termasuk bahan yang berkekuatan tinggi, bila dibuat dengan cara yang baik, kuat tekannya akan sama dengan batuan alami (Kardiyono,1996).

Beton bertulang adalah bahan yang banyak digunakan untuk sistem-sistem struktur . Beton dihasilkan dari interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya. Beton dibuat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah atau bahan semacam lainnya, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia semen sebagai bahan pengikat selama proses pengerasan beton berlangsung. Beton yang terbentuk ini mempunyai kekuatan tekan yang tinggi dan kekuatan tarik yang rendah, kuat tarik beton kira-kira 7-10% dari kekuatan tekannya. Oleh karena itu, penguatan tarik dan geser harus diberi tulangan pada daerah tarik penampang beton. Hal ini dilakukan agar beton dapat digunakan

untuk komponen struktur yang mampu menahan gaya tarik dan tekan secara bersamaan.

Komponen beton dan tulangan harus disusun komposisinya agar dimanfaatkan secara optimal, dan bekerja secara bersama-sama secara komposit. Jika berbagai unsur pembentuk beton dirancang dengan baik maka akan menjadi bahan yang kuat, tahan lama dan apabila dikombinasikan dengan baja tulangan akan menjadi elemen yang utama pada suatu sistem struktur.

## **2.2 Materi Pembentuk Beton**

Masing-masing komponen beton untuk beton bertulang terdiri dari partikel-partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen portland dan air. Pasta ini mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel agregat dan setelah beton segar dicor akan mengeras sebagai akibat dari reaksi-reaksi kimia eksotermis antara semen dan air, membentuk bahan struktur yang padat dan dapat tahan lama. Dengan demikian perlu dibicarakan fungsi dari masing-masing komponen tersebut sebelum mempelajari beton secara keseluruhan.

### **2.2.1 Semen**

Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Semen yang dimaksudkan untuk struktur beton bertulang adalah bahan jadi dan mengeras dengan adanya air yang dinamakan semen hidraulis (semen portland).

Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen, dan jika ditambah lagi dengan kerikil disebut dengan beton.

Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat.

Semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, bersama bahan tambahan yang biasa digunakan adalah gypsum (Kardiyono, 1996). Semen portland dibagi menjadi 5 jenis yaitu :

- a) Jenis I, untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus.
- b) Jenis II, semen untuk beton tahan sulfat dan mempunyai panas hidrasi sedang.
- c) Jenis III, pemakaiannya menuntut persyaratan kekuatan awal tinggi.
- d) Jenis IV, pemakaiannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.
- e) Jenis V, untuk beton yang sangat tahan terhadap sulfat.

### **2.2.2 Agregat**

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Karena agregat biasanya menempati sekitar 75% dari isi total beton, maka sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras, dengan demikian gradasi agregat harus diupayakan saling mengisi menjadi satu kesatuan massa yang utuh, homogen dan kompak, yaitu agregat kecil mengisi ruang kosong diantara agregat besar (Nawy, 1990).

Dalam praktik agregat secara umum digolongkan menjadi tiga yaitu :

1. batu untuk besar butiran lebih dari 40 mm,
2. kerikil untuk butiran antara 5 mm sampai 40 mm,
3. pasir untuk butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Sifat agregat bukan hanya mempengaruhi sifat beton, akan tetapi juga mempengaruhi ketahanan (*durability*). Untuk itu agregat harus mempunyai bentuk yang baik, bersih, kuat, keras dan gradasinya baik. Agregat juga harus mempunyai kestabilan kimiawi, dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca.

### 2.2.3 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya.

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya kira-kira 25% dari berat semennya, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras (Kardiyono,1996). Namun demikian air kelebihan dari yang diperlukan untuk proses hidrasi pada umumnya memang diperlukan pada pembuatan beton, agar adukan beton dapat dicampur dengan baik, di angkut dengan mudah, dan dapat dicetak tanpa rongga-rongga yang besar ( tidak keropos ).

Hal yang penting dalam pemilihan air antara lain kejernihannya dan air tidak mengandung bahan-bahan perusak (fosfat, minyak, asam alkali, bahan-bahan organik atau garam).

Secara umum air yang dapat dipakai untuk bahan pencampur beton ialah air yang bila dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih 90% kekuatan beton yang memakai air suling (PBI 1971).

#### **2.2.4 Bahan Campuran Tambahan**

Bahan campuran tambahan "*admixtures*" adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen yang ditambahkan dalam campuran sesaat atau selama pencampuran.

Fungsi bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat beton agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk tujuan lainnya.

### **2.3 Perancangan Campuran Beton**

#### **2.3.1 Tujuan perancangan campuran beton**

Tujuan dari perancangan campuran beton ialah untuk menentukan proporsi semen, agregat halus dan kasar serta air agar dipenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

1. kekuatan desak yang sesuai atau memenuhi syarat seperti yang ditentukan,
2. kelecakan (*workability*) yang cukup sehingga pengangkutan, penuangan, dan pemadatan beton dapat dilakukan dengan baik,
3. keawetan (*durability*) yang memadai dan pada umumnya keawetan beton banyak ditentukan oleh faktor air semen,
4. penyelesaian akhir (*finishing*) dari permukaan beton yang baik.

Ada beberapa metode perancangan campuran beton yang dapat digunakan sebagai dasar perhitungan campuran beton agar beton yang dihasilkan memenuhi

syarat dalam perancangan. Metode- metode tersebut antara lain : metode Dreux, metode ACI, metode ROAD Note No. 4, metode DOE, dan cara coba- coba.

Dari beberapa metode perancangan beton tersebut, dipilih metode DOE yang akan digunakan dalam penelitian ini. Perancangan dengan cara DOE ini banyak dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia, dan dimuat dalam buku Standar SK. SNI> T- 15- 1990-03 dengan judul bukunya : “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal “.

### 2.3.2 Metode DOE ( Departement Of Environment )

Dalam perancangan dengan metode DOE ini digunakan tabel- tabel dan grafik- grafik. Langkah- langkah pokok cara ini adalah :

1. Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan (  $f'c$  ) pada umur tertentu, ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan strukturnya dan kondisi setempat.
2. Penetapan deviasi standar (  $s$  ), ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaannya makin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar ini berdasarkan pada hasil pengalaman praktik pelaksanaan pada waktu yang lalu, untuk pembuatan beton mutu yang sama dan menggunakan bahan dasar sama pula.
  - a. Jika pelaksana mempunyai catatan data hasil pembuatan beton serupa pada masa lalu, maka persyaratannya ( selain yang tersebut di atas ) jumlah data hasil uji minimum 30 buah. Jika data hasil uji kurang dari 30 buah maka dilakukan koreksi

terhadap nilai deviasi standar dengan suatu faktor pengali, seperti tampak pada

Tabel 2.1 berikut ini.

**Tabel 2.1 Faktor pengali deviasi standar**

Jumlah data	30	25	20	15	< 15
Faktor pengali	1,0	1,03	1,08	1,16	Tidak boleh

b. Jika pelaksana tidak mempunyai catatan/ pengalaman hasil pengujian beton pada masa lalu yang memenuhi persyaratan tersebut ( termasuk data hasil uji kurang dari 15 buah ), maka nilai margin langsung diambil sebesar 12 MPa.

3. Penghitungan nilai tambah ( “ margin “ ), (  $M$  ).

Jika nilai tambah ini sudah ditetapkan sebesar 12 MPa maka langsung ke langkah berikutnya.

Jika nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar  $s_d$  maka dilakukan dengan rumus berikut :

$$M = k \cdot s_d \quad (2.1)$$

dengan :

$M$  = nilai tambah, MPa

$k = 1,64$

$s_d$  = deviasi standar, MPa

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan, diperoleh dengan rumus :

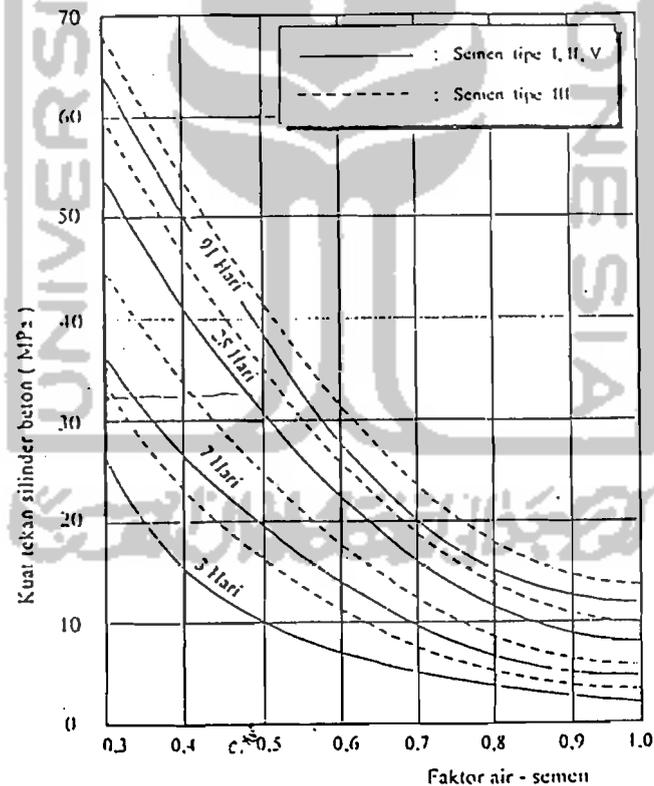
$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (2.2)$$

dengan :

$f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata, MPa

$f^c$  = kuat tekan yang disyaratkan, MPa  
 M = nilai tambah, MPa

5. Penentuan jenis semen Portland, disesuaikan dengan tujuan pemakaiannya.
6. Penetapan jenis agregat, apakah berupa agregat alami ataukah agregat batu pecah.
7. Penetapan faktor air semen ( f.a.s ) dengan salah satu dari dua cara berikut :
  - a. Berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai f.a.s dengan melihat Gambar 2.1.

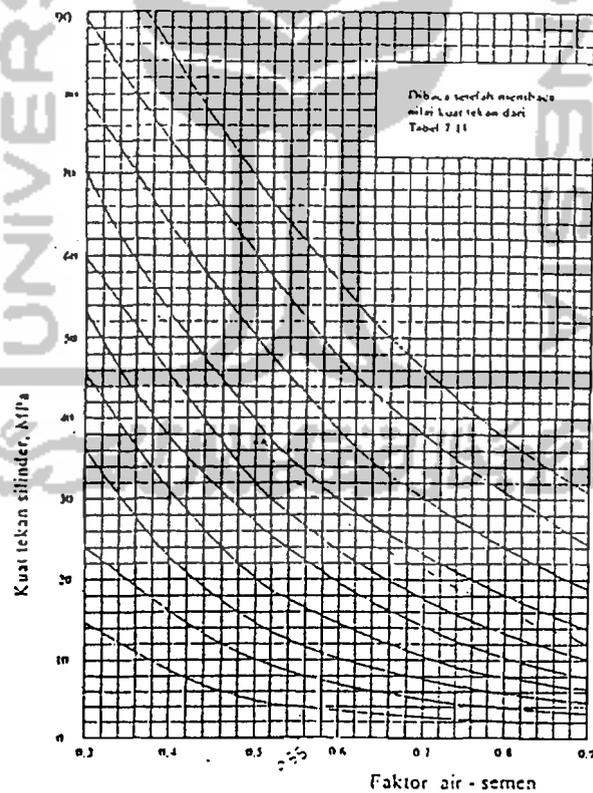


**Gambar 2.1 Hubungan f.a.s dan kuat tekan rata-rata silinder beton ( Kardiyono, 1996, : 7.39 )**

b. Berdasarkan jenis semen yang dipakai, jenis agregat kasar, dan kuat tekan rata-rata yang direncanakan pada umur tertentu, ditetapkan nilai f.a.s dengan Tabel 2.2 dan Gambar 2.2.

**Tabel 2.2 Perkiraan kuat tekan beton ( MPa ) dengan f.a.s 0,5 ( Kardiyono, 1996**

Teknologi beton )		Umur (hari)			
Jenis semen	Jenis agregat kasar	3	7	28	91
I, II, III	Alami	17	23	33	40
	Batu pecah	19	27	37	45
IV	Alami	21	28	38	44
	Batu pecah	25	33	44	48



**Gambar 2.2 Grafik mencari air semen (Kardiyono, 1996, : 7.40)**

8. Penetapan faktor air semen maksimum agar beton yang diperoleh tidak cepat rusak. Penetapan f.a.s maksimum dilakukan dengan Tabel 2.3. Jika nilai f.a.s maksimum lebih rendah daripada nilai f.a.s dari langkah (7), maka nilai f.a.s maksimum ini yang dipakai untuk perhitungan selanjutnya.

**Tabel 2.3 Persyaratan f.a.s maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus (Kardiyono, 1996)**

Jenis pembetonan	f.a.s maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. keadaan keliling non- korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif	0,52
Beton di luar ruang bangunan :	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti- ganti	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali tanah	tabel tersendiri
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar / payau/ laut	tabel tersendiri

9. Penetapan nilai slump.

Penetapan nilai slump dilakukan dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, pemadatan, maupun jenis strukturnya.

10. Penetapan agregat maksimum.

11. Penetapan jumlah air yang diperlukan per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan slump, lihat Tabel 2.4 .

**Tabel 2.4 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton ( liter ), ( Kardiyo, 1996 )**

Besarnya ukuran maks. Kerikil (mm)	Jenis batuan	slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Dari tabel di atas, apabila agregat halus dan agregat kasar yang dipakai dari jenis yang berbeda ( alami dan pecahan ), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus :

$$A = 0,67 A_h + 0,33 A_k \quad (2.3)$$

Dengan :  $A$  = jumlah air yang dibutuhkan, liter/m<sup>3</sup>,  
 $A_h$  = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus,  
 $A_k$  = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya.

12. Menghitung berat semen yang diperlukan, dihitung dengan membagi jumlah air dari langkah (11) dengan f.a.s yang diperoleh pada langkah ( 7 ) dan ( 8).

13. Kebutuhan semen minimum, ditetapkan dengan Tabel 2.5. Kebutuhan semen minimum ini ditetapkan untuk menghindari beton dari kerusakan akibat lingkungan khusus, misalnya lingkungan korosif, air payau, air laut.

**Tabel 2.5. Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus ( Kardiyono,1996 )**

Jenis Pembetonan	Semen Minimum (kg/m <sup>3</sup> beton)
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. Keadaan keliling non-korosif	275
b. Keadaan keliling korosif	325
Beton di luar ruang bangunan	
a. tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	375
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali tanah	Tabel tersendiri
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/ payau/ laut	Tabel tersendiri

14. Penyesuaian kebutuhan semen. Apabila kebutuhan semen yang diperoleh dari langkah (12) ternyata lebih sedikit daripada kebutuhan semen minimum pada

langkah ( 13 ) maka kebutuhan semen harus di pakai yang minimum ( yang nilainya lebih besar ).

#### 15. Penyesuaian jumlah air atau faktor air semen.

Jika jumlah semen ada perubahan akibat langkah (14) maka nilai fas berubah.

Dalam hal ini dapat dilakukan dua cara berikut :

- a. Faktor air semen di hitung kembali dengan cara membagi jumlah air dengan jumlah semen minimum.
- b. Jumlah air disesuaikan dengan mengalikan jumlah semen minimum dengan faktor air semen.

Cara pertama akan menurunkan f.a.s, sedangkan cara ke dua akan menaikkan jumlah air yang diperlukan.

- #### 16. Penentuan daerah gradasi agregat halus didasarkan atas grafik gradasi yang diberikan pada Tabel 2.6 Dengan tabel tersebut agregat halus dapat dimasukkan menjadi salah satu dari 4 daerah.

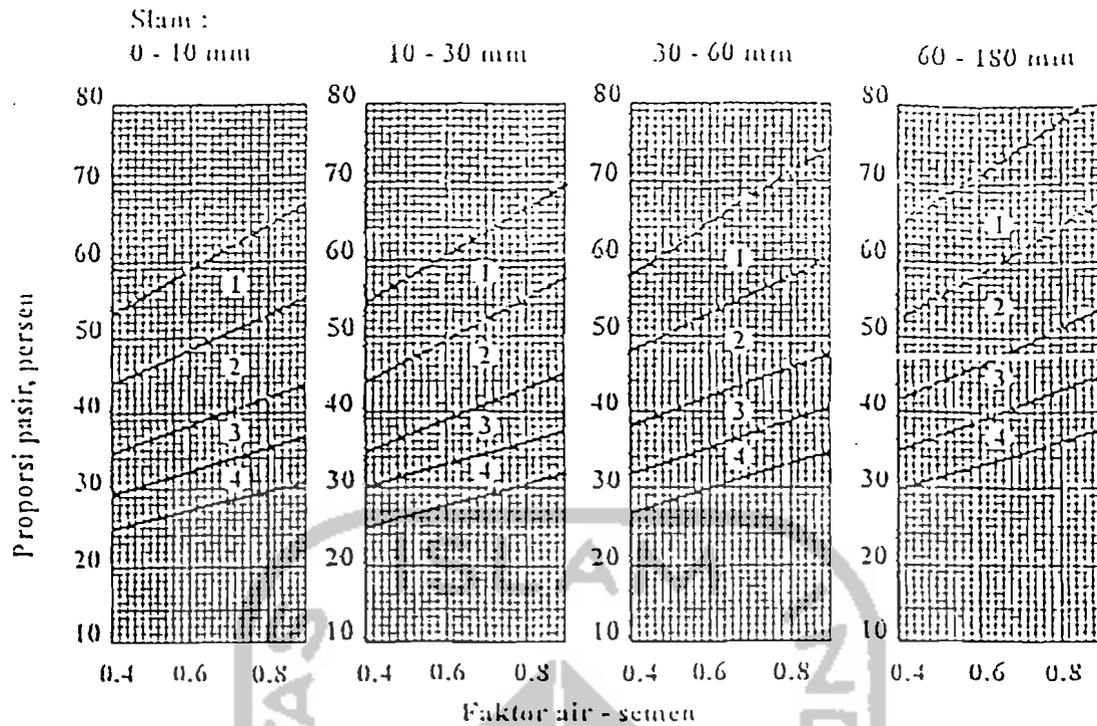
**Tabel 2.6 Batas gradasi pasir ( Kardiyo,1996 )**

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	1	2	3	4
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100

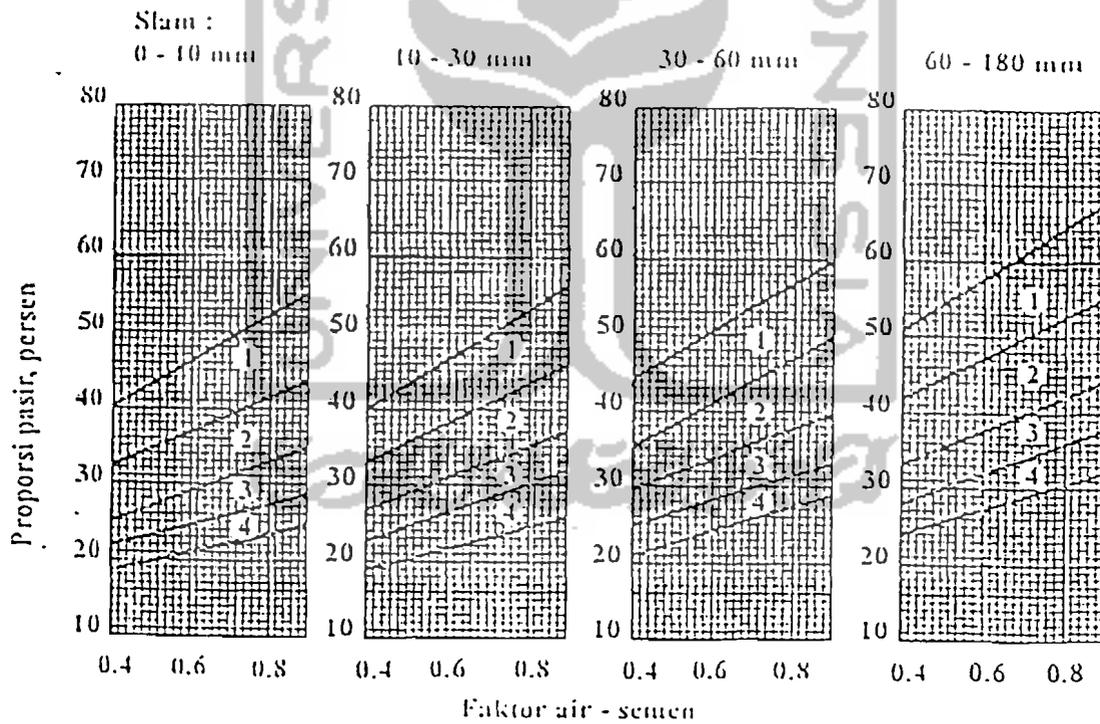
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Tabel 2.6 lanjutan...

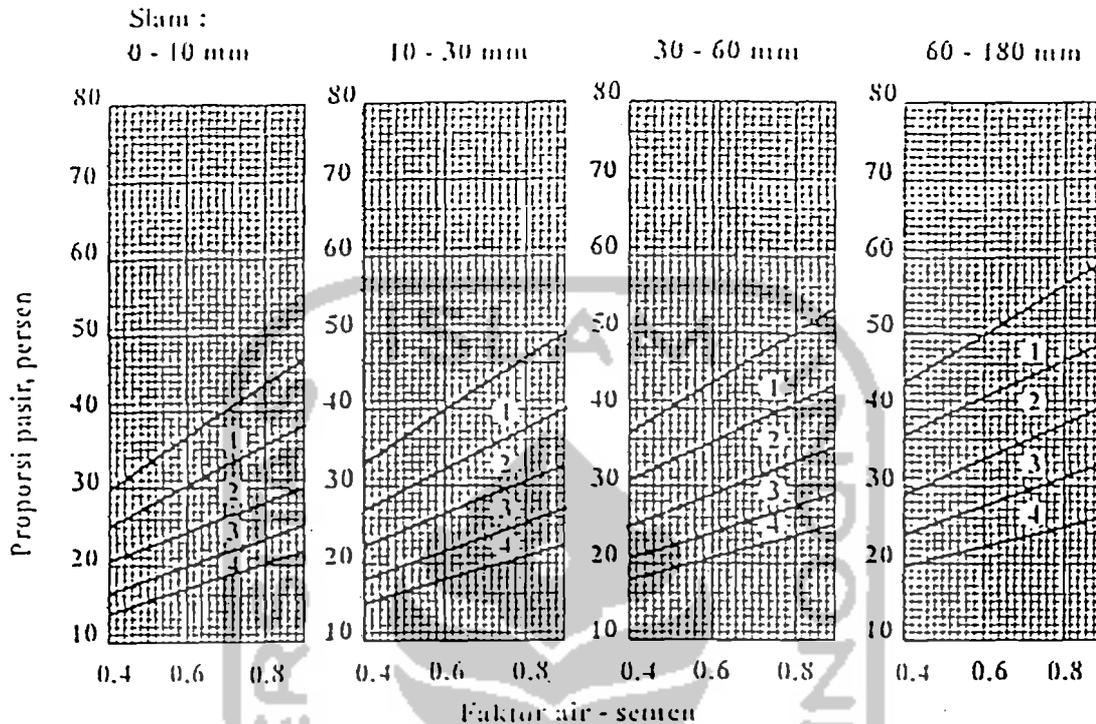
17. perbandingan agregat halus dan kasar. Nilai banding antara berat agregat halus diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Penetapan dilakukan dengan memperhatikan besar butir maksimum agregat kasar, nilai slump, f.a.s, dan daerah gradasi agregat halus. Berdasarkan data tersebut dan grafik pada Gambar 2.3a atau Gambar 2.3b atau Gambar 2.3c dapat diperoleh presentase berat agregat halus terhadap berat agregat campuran.



**Gambar 2.3a Grafik presentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 10 mm ( Kardiyo,1996, : 7.41 )**



**Gambar 2.3b Grafik persentase agregat halus terhadap keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 20 mm ( Kardiyo,1996, : 7.42 )**



**Gambar 2.3c Grafik persentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 40 mm (Kardiyono, 1996, : 7.43 )**

18. Berat jenis agregat campuran, dihitung dengan rumus :

$$Bj \text{ campuran} = \frac{P}{100} \times bj. \text{ag. hls} + \frac{K}{100} \times bj. \text{ag. kas} \quad (2.5)$$

dengan :

$bj \text{ ag. hls}$  = berat jenis agregat halus,

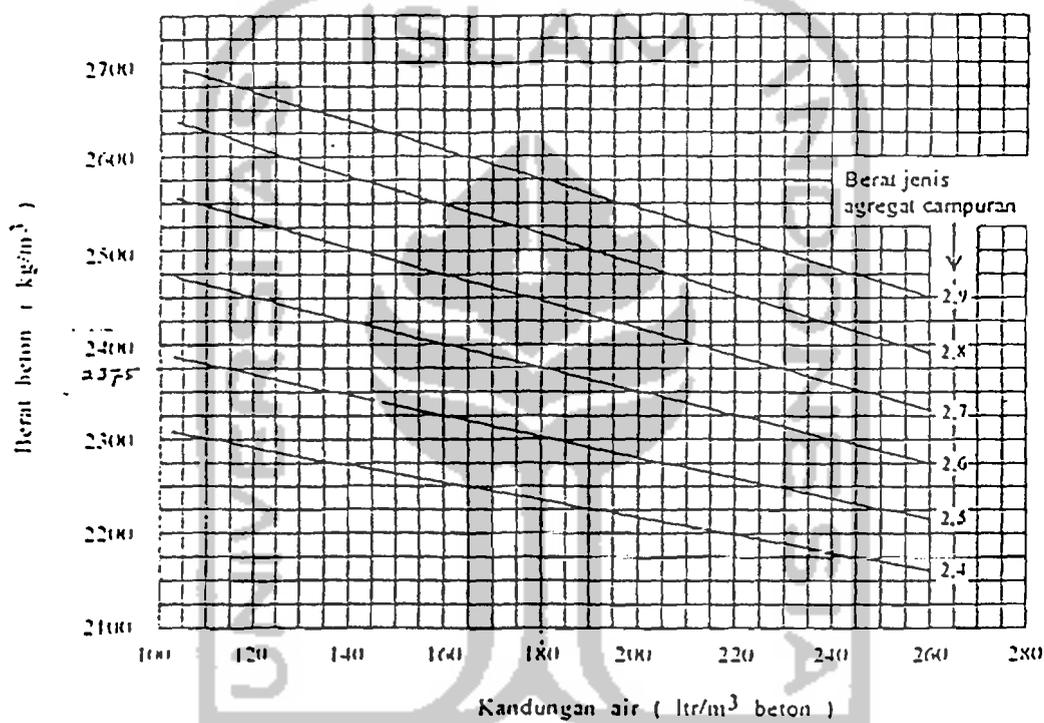
$bj \text{ ag. kas}$  = berat jenis agregat kasar,

$P$  = presentase agregat halus terhadap agregat campuran,

$K$  = presentase agregat kasar terhadap agregat campuran.

19. Penentuan berat jenis beton dengan Gambar 2.4.

20. Menghitung kebutuhan agregat campuran dengan cara mengurangi berat beton per-meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen.
21. Menghitung berat agregat halus yang diperlukan.
22. Menghitung berat agregat kasar yang diperlukan.



**Gambar 2.4** Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton ( Kardiyono, 1996, : 7.44)

#### 2.4 Balok Tinggi ( *Deep Beams* )

Balok tinggi adalah balok dimana harga perbandingan antara panjang bentang dan tinggi efektif balok kurang dari 5 (  $L_n/d < 5$  ) dan mempunyai angka perbandingan bentang geser dengan tinggi efektif tidak melebihi 2 sampai 2,5 ,

dimana bentang geser adalah bentang bersih balok untuk beban terdistribusi merata ( Edward G. Nawy )

Menurut SK SNI T-15 1991-03 Pasal 3.3.7 , yang dinamakan struktur lentur tinggi atau balok tinggi, yaitu suatu elemen struktur yang mengalami beban seperti balok biasa tetapi mempunyai perbandingan  $L_n/d < 5$  dan mempunyai bidang geser kira-kira 2 kali tingginya.

Perilaku balok tinggi sangat berbeda dengan balok biasa yang mempunyai ukuran normal. Hal ini memerlukan pertimbangan 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.

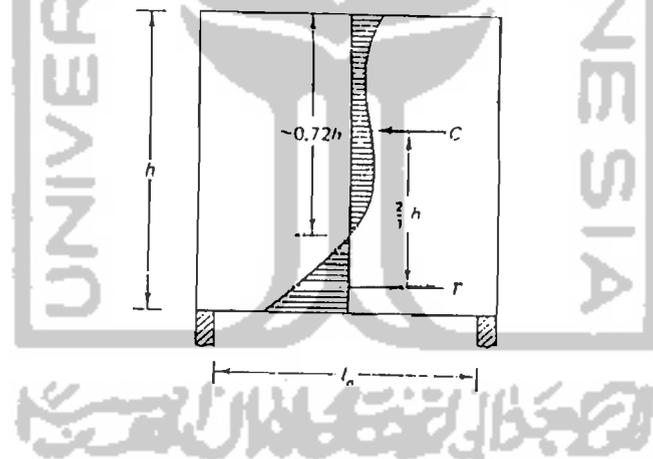
Contoh pemakaian balok tinggi yaitu pada balok transfer yang dipakai didalam gedung-gedung bertingkat banyak dalam hal adanya kolom yang terputus ditingkat bawah, dinding-dinding tangki persegi, balok berbentang pendek yang mengalami beban yang sangat berat dan dinding geser.

## **2.5 Perilaku Balok Tinggi**

Tegangan yang terjadi 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 regangannya tidak lagi linier dan deformasi geser yang diabaikan pada balok biasa menjadi suatu yang cukup berarti dibandingkan dengan deformasi lentur.

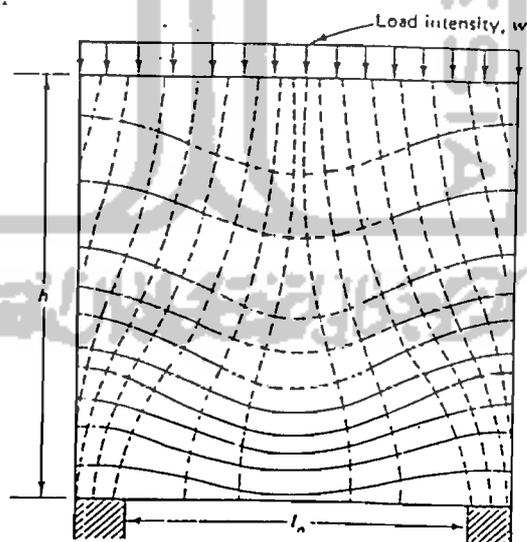
Adanya tegangan geser yang besar pada penampang balok tinggi menyebabkan blok tegangan menjadi non linier meskipun pada taraf elastis, seperti terlihat pada Gambar 2.5. Dari gambar tersebut memperlihatkan ketidaklinieran tegangan ditengah bentang sehubungan dengan ketidaklinieran regangan. Dapat dijelaskan juga, bahwa besarnya tegangan tarik maksimum pada sisi bawah jauh melebihi besarnya tegangan tekan maksimum.



**Gambar 2.5 Distribusi tegangan elastis pada balok tinggi ( Nawy, 1990, : 174 )**

Arah tegangan utama dalam balok tinggi, pada kebanyakan kasus bila terbentuk retak diagonal, maka retak tersebut akan membuat sudut yang lebih besar dari  $45^\circ$  dan bahkan kadang-kadang mendekati vertikal. Gambar 2.6 memperlihatkan trajektori tegangan pada balok tinggi. Dari gambar, dapat diperhatikan kecuraman

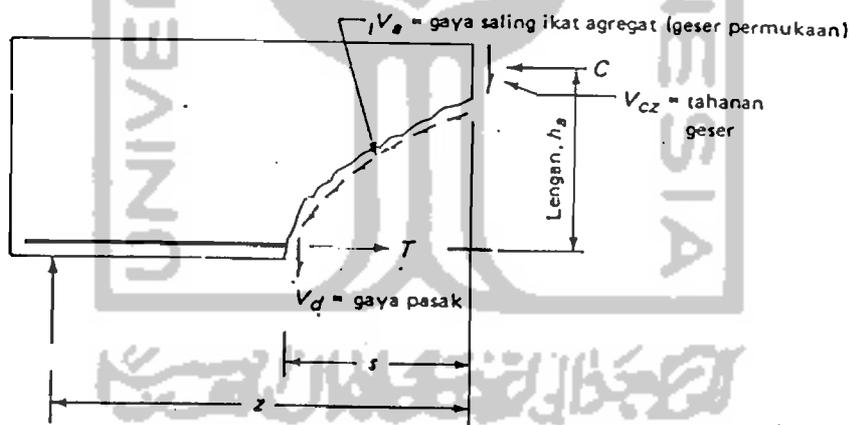
dan pemusatan trajektori tegangan tarik utama pada tengah bentang dan pemusatan trajektori tegangan tekan pada perletakan untuk kedua kasus pembebanan balok, di atas dan di bawah. Beton retak dalam arah tegak lurus trajektori tegangan utama dan apabila beban terus bertambah, retak ini akan melebar dan menjalar. Karena bentang geser untuk balok tinggi kecil ( $a/d < 1$ ), sehingga tegangan tekan pada daerah perletakan mempengaruhi besar dan arah tegangan tarik utama yang menjadi curam dan harganya mengecil. Akibat dari hal tersebut, 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 teradap retak diagonal, sehingga dapat memperbaiki penyaluran gaya geser melalui ikatan agregat tetapi juga memberikan sumbangan bagi penyaluran gaya geser melalui aksi pasak.



**Gambar 2.6** Trajektori tegangan pada balok tinggi ( Nawy, 1990, : 174 )

Transfer geser di dalam unsur-unsur beton bertulang terjadi melalui suatu kombinasi beberapa mekanisme sebagai berikut, seperti dalam Gambar 2.7 :

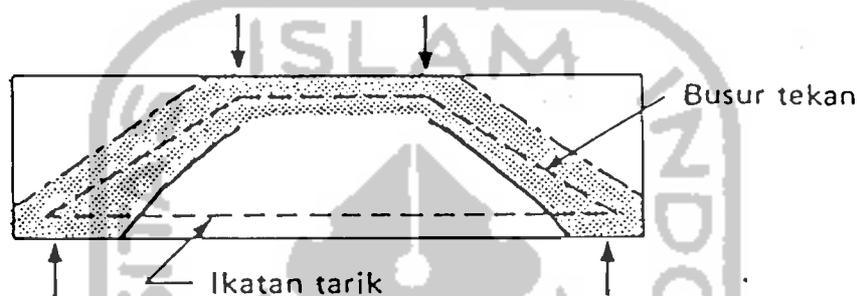
- 1) Perlawanan geser dari beton yang belum retak,  $V_{cz}$ .
- 2) Gaya ikat ( *interlock* ) antar agregat dalam arah tangensial sepanjang suatu retak, yang serupa dengan gaya gesek akibat saling ikat yang tidak teratur dari agregat sepanjang permukaan kasar dari beton pada masing-masing pihak retak.
- 3) Aksi pasak ( *dowel action* ),  $V_d$ , sebagai perlawanan dari penulangan longitudinal terhadap gaya transfersal.
- 4) Aksi pelengkung ( *arch action* ).



**Gambar 2.7** Tranfer geser di dalam beton bertulang ( Wang, Salmon, 1986, :125 )

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

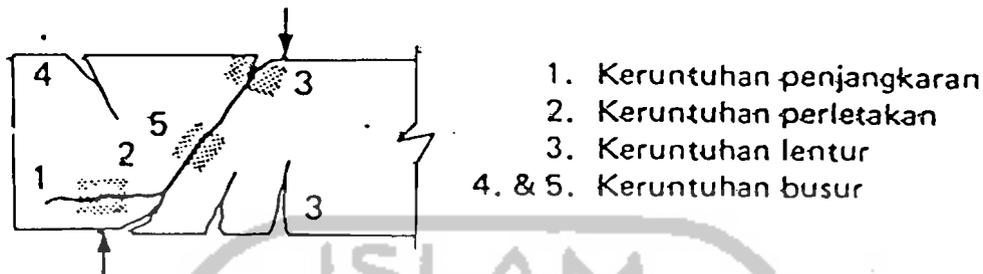
tinggi. Setelah terjadinya retak miring, balok tinggi cenderung berperilaku seperti pelengkung, dimana beban disalurkan secara langsung ke perletakan melalui aksi busur tekan, yaitu beban dipikul oleh tekan yang merambat sekitar daerah yang dihentikan di dalam Gambar 2.8 dan oleh tarik di dalam tulangan memanjang.



Gambar 2.8 Aksi busur ( Wang, Salmon, 1986, : 128)

Pola keruntuhan yang mungkin terjadi untuk sistem pelengkung seperti Gambar 2.9, 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 di bagian 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 2.9** Pola keruntuhan pada balok tinggi ( Wang, Salmon, 1986, : 128 )

### 2.6 Perencanaan Penulangan Geser Pada Balok Tinggi

Di dalam perencanaan balok tinggi diinginkan pemanfaatan dari kekuatan geser yang melebihi geser pada saat terbentuknya retak miring, maka penulangan geser harus dibuat lebih rapat dibandingkan dengan balok biasa untuk mengendalikan dan mencegah pelebaran retak. Untuk jenis balok ini, retak miring biasanya terbentuk pada arah yang membuat sudut lebih kecil dari  $45^\circ$  dengan arah vertikal dan bahkan sering kali hampir vertikal. Oleh karena itu, penulangan geser yang apabila disyaratkan, harus terdiri dari batang horisontal dan vertikal.

Perencanaan geser untuk komponen komponen struktur terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser, sedangkan kelebihanannya atau kekuatan geser diatas kemampuan beton untuk menahannya dilimpahkan kepada tulangan geser. Pada SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.1

dinyatakan perencanaan komponen struktur lentur tinggi terhadap geser harus didasarkan pada persamaan :

$$V_u \leq \Phi V_n \quad (2.6)$$

dengan  $V_n = V_c + V_s$  (2.7)

sehingga  $V_u \leq \Phi (V_c + V_s)$  (2.8)

dengan:  $V_n$  = kuat geser nominal

$V_c$  = kuat geser beton,

$V_s$  = sumbangan dari penulangan geser horisontal dan vertikal,

$\Phi$  = faktor reduksi untuk geser 0,60.

Kekuatan  $V_c$  dari beton, SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.8 memperkenankan penggunaan dari metode yang disederhanakan, dengan  $V_c$  yang sama dari balok biasa, yaitu :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b w d \quad (2.9)$$

Akan tetapi didalam prosedur yang lebih terperinci dihitung dengan persamaan :

$$V_c = \left[ 3,5 - 2,5 \frac{M_u}{V_u d} \right] \frac{1}{7} \left[ \sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right] b w d \quad (2.10)$$

dengan :  $M_u$  = momen berfaktor yang terjadi bersamaan dengan  
 $V_u$  pada penampang kritis,  
 $d$  = tinggi efektif,  
 $b w$  = lebar balok,  
 $\rho_w$  = rasio tulangan.

Batas atas dari  $V_c$  adalah

$$V_c \leq \frac{1}{2} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d \quad (2.11)$$

Batas atas pengali adalah

$$\left(3,5 - 2,5 \frac{Mu}{Vu \cdot d}\right) \leq 2,5 \quad (2.12)$$

Bila kuat geser berfaktor  $V_u$  melebihi kuat geser  $\Phi V_c$ , maka harus dipasang tulangan geser untuk memenuhi persamaan 2.8, dimana kuat geser  $V_s$  dihitung dengan persamaan :

$$V_s = \left[ \frac{A_v}{s} \left( \frac{1 + Ln/d}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_2} \left( \frac{11 - Ln/d}{12} \right) \right] f_y \cdot d \quad (2.13)$$

dengan:  $Ln$  = bentang bersih,  
 $A_v$  = luas sengkang vertikal,  
 $A_{vh}$  = luas tulangan geser memanjang,  
 $s$  = spasi sengkang vertikal,  
 $s_2$  = spasi vertikal dari tulangan geser memanjang.

Jumlah minimum dari penulangan geser  $A_v$  dan  $A_{vh}$ , yaitu :

$$A_{v \min} = 0,0015bw \cdot s \quad (2.14)$$

$$s \leq \frac{d}{5} \leq 500mm$$

$$A_{vh \min} = 0,0025 bw \cdot s_2 \quad (2.15)$$

$$s_2 \leq \frac{d}{3} \leq 500mm$$

dengan:  $b_w$  = lebar badan.

Jumlah tulangan minimum dari penulangan geser vertikal dan horisontal disyaratkan untuk seluruh batang bila  $V_u > 0,5 \Phi V_c$ . Pembatasan dari tegangan geser maksimum  $V_u$  yang diijinkan yaitu :

$$V_{nmaks} \leq \frac{2}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \text{ untuk } L_n/d \leq 2 \quad (2.16)$$

$$V_{nmaks} \leq \frac{1}{18} \left( 10 + \frac{L_n}{d} \right) \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \text{ untuk } 2 < \frac{L_n}{d} < 5 \quad (2.17)$$

sedangkan penampang kritis harus dipakai untuk seluruh bentang yang diukur dari muka tumpuan diambil sejarak

$$z = 0,15 L_n \leq d \text{ untuk beban merata,}$$

dan  $z = 0,50 a \leq d$  untuk beban terpusat.

dengan  $a$  = bentang geser.