

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 BETON**

Pada umumnya penggunaan material beton ini banyak dijumpai pada bangunan gedung, jembatan, bendungan, maupun konstruksi yang lainnya. Beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) membentuk massa padat. Beton yang banyak digunakan saat ini adalah beton normal. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200 – 2500 kg/m<sup>3</sup> menggunakan agregat alam yang dipecah (SNI 03-2834-2002).

Kelebihan utama beton adalah memiliki kuat tekan yang tinggi tetapi kuat tarik yang dimilikinya rendah. Untuk mengatasi kelemahannya terhadap tarik maka beton dikombinasikan dengan baja tulangan, sehingga menjadi beton bertulang, yang mana baja tulangan berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton.

##### **3.1.1 Portland Cement**

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Semen merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik di sektor konstruksi sipil. Jika ditambah air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambah agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang jika digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras (*concrete*) (Mulyono, 2003)

Semen *portland* adalah semen hidrolik yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker sampai halus, yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolik. Bahan utama pembentuk semen portland adalah kapur, silika, alumina, magnesia, dan terkadang ditambahkan sedikit alkali. Oksida besi juga

ditambahkan untuk mengontrol komposisinya dan untuk mengatur waktu ikat semen ditambahkan *gypsum*. Bahan-bahan utama penyusun semen *portland* dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Bahan-bahan utama penyusun semen *portland*

Bahan Penyusun	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60 - 65
Silika (SiO <sub>2</sub> )	20 - 25
Oksida Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7 - 12
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7 - 12

Sumber : Mulyono (2003)

Ketika unsur-unsur penyusun semen *portland* tersebut ditambah air maka akan bereaksi membentuk senyawa-senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. Secara garis besar, ada 4 senyawa kimia utama yang menyusun semen *portland*, yaitu:

1. Trikalsium Silikat (3CaO. SiO<sub>2</sub>) yang disingkat menjadi C<sub>3</sub>S.
2. Dikalsium Silikat (2CaO. SiO<sub>2</sub>) yang disingkat menjadi C<sub>2</sub>S.
3. Trikalsium Aluminat (3CaO. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang disingkat menjadi C<sub>3</sub>A.
4. Tertrakalsium Aluminoferrit (4CaO. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang disingkat menjadi C<sub>4</sub>AF.

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat/mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S adalah 70% - 80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (Cokrodimuljo, 1992). Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakter dan jenis semen. Menurut SNI 03-2834-2002 membagi semen *portland* menjadi 5 jenis yaitu:

1. Tipe I

Semen *portland* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.

2. Tipe II  
Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III  
Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Tipe IV  
Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V  
Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

### 3.1.2 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan (Nawy, 1990).

Penambahan air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Air yang tidak memenuhi syarat mutu, kekuatan beton pada umur 7 hari atau 28 hari tidak boleh kurang dari 90% jika dibandingkan dengan kekuatan beton yang menggunakan air standar/suling. Menurut SNI 03-6861.1-2002 persyaratan air untuk campuran beton adalah:

1. harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual,
2. tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter,
3. tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton ( asam-asam, zat organik, dan lain-lain),
4. kandungan klorida (Cl) < 0.50 gram/liter, dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO<sub>3</sub>,
5. bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%, dan
6. khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat diatas air mengandung klorida lebih dari 0.05 gram/liter.

Untuk air yang digunakan sebagai perawatan beton, dapat digunakan air yang digunakan pada saat pengadukan. Namun air tersebut adalah air yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan agar permukaan beton tetap sedap dipandang.

### 3.1.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang merupakan bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat ini berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Volume agregat pada campuran beton adalah  $\pm 70\%$  volume beton, oleh karena itu agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, serta memberi pengaruh terhadap kekuatan pada beton. Sehingga kualitas dari agregat sangat berpengaruh terhadap mutu beton yang dihasilkan. Umumnya agregat dipisahkan menurut ukuran butirannya, yaitu:

1. ukuran butir > 40 mm, disebut batu,
2. ukuran butir 4.80 – 5.00 mm, disebut agregat kasar atau kerikil, dan
3. ukuran butir  $\leq 4.8$  mm, disebut agregat halus atau pasir.

Berdasarkan ukuran butir-butirnya, agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat yang memiliki butiran yang besar (lebih besar dari 4,8 mm) disebut agregat kasar dan agregat yang memiliki butiran

kecil (lebih kecil dari 4,8 mm) disebut agregat halus. Agregat yang digunakan sebagai bahan pengisi beton harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, kuat, keras, ulet, dan gradasinya baik.

### **1. Agregat Halus**

Agregat halus yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai maupun dari tanah galian, atau pasir yang dihasilkan dari proses pemecahan batu. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butiran lebih kecil dari 4,8 mm. Agregat yang memiliki butiran lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, jika lebih kecil dari 0,075 mm disebut *silt*, dan jika lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay*. Dalam penggunaannya agregat halus harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras,
- b. bersifat kekal, yaitu tidak mudah hancur atau pecah oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan,
- c. agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering),
- d. tidak boleh menggunakan pasir laut (kecuali petunjuk staf ahli), karena kandungan garam dari pasir laut dapat merusak beton atau baja tulangan, dan
- e. gradasi agregat halus harus memenuhi syarat seperti Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Batas gradasi agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
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

Sumber : Mulyono (2003)

Keterangan:

- Daerah Gradasi I : pasir kasar  
 Daerah Gradasi II : pasir agak kasar  
 Daerah Gradasi III : pasir agak halus  
 Daerah Gradasi IV : pasir halus

## 2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa kerikil hasil desintergrasi alam dari batuan atau dapat berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan ukuran butiran lebih dari 4,8 mm. Kerikil dapat pula diganti dengan batu pecah (*split*). Kerikil atau batu pecah dengan ukuran lebih dari 40 mm tidak baik digunakan untuk campuran beton. Syarat-syarat kerikil yang digunakan untuk campuran beton adalah sebagai berikut:

- bersifat padat, keras, dan tidak berpori,
- tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%,
- tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak, seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali, dan
- pada keadaan terpaksa dapat digunakan agregat berbentuk bulat atau pipih.

Menurut *British Standard*, gradasi agregat kasar yang baik sebaiknya masuk dalam batas gradasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.3 Batas gradasi agregat kasar menurut *British Standard* (BS)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maks		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
12,5	-	-	90 – 100
10	10 – 35	25 – 55	40 – 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10

Sumber : Mulyono, 2003

### 3.2 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KUAT TEKAN BETON

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan yang berhubungan dengan mutu dan keawetan yang tinggi sesuai dengan yang diinginkan dan direncanakan. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dan diperhatikan yang dapat mempengaruhi kuat tekan beton adalah:

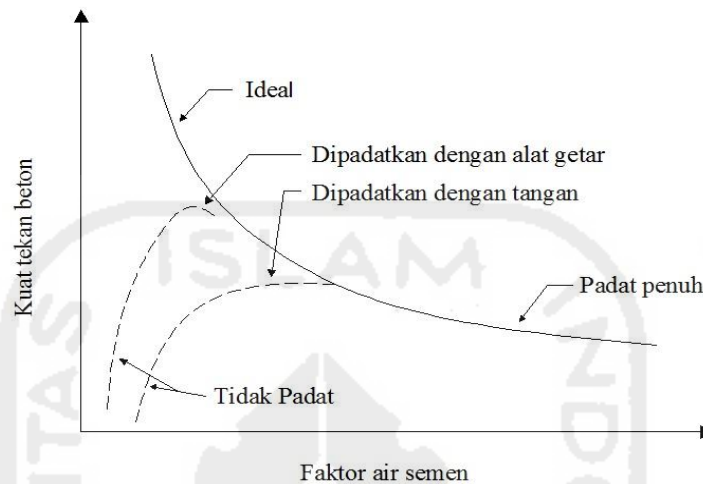
1. faktor air semen,
2. umur beton,
3. jumlah dan jenis semen,
4. sifat agregat, dan
5. kelecakan (*workability*).

#### 3.2.1 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen (FAS) adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton. Faktor air semen adalah berat air dibagi dengan berat semen. Faktor air semen yang rendah menyebabkan air yang berada di antara bagian-bagian semen sedikit dan jarak antara butiran-butiran semen menjadi pendek.

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai fas, maka pengerjaannya semakin mudah (*workability*) akan tetapi mutu beton yang dihasilkan akan semakin rendah yang akan berpengaruh terhadap kekuatannya. Sebaliknya dengan nilai fas yang rendah maka campuran beton akan sulit dikerjakan dan akan menyebabkan mutu beton menjadi turun. Sehingga jumlah air dan semen dalam campuran adukan beton harus diperhitungkan dengan baik, agar adukan tidak terlalu encer ataupun

terlalu kental. Hubungan antara nilai fas dan kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Hubungan antara kuat tekan beton dan faktor air semen  
(Sumber: Tjokrodinuljo, 1996)

### 3.2.2 Umur Beton

Kekuatan tekan beton dan umur beton berbanding lurus, apabila umur beton bertambah maka kekuatan dari beton tersebut akan bertambah juga. Kekuatan beton akan naik secara cepat sampai umur beton mencapai 28 hari, setelah mencapai umur 28 hari maka kekuatan beton akan tetap bertambah tetapi kenaikannya akan kecil. Menurut PBI-1971, hubungan antara umur beton dan kekuatan tekan beton dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hubungan antara umur beton dan kuat tekan beton

Umur Beton (hari)	Kuat Tekan Beton (%)
3	40
7	65
14	88
21	95
28	100
90	120
365	135

Sumber : Asroni (2010)



### 3.2.3 Jumlah dan Jenis Semen

Jika jumlah semen yang digunakan dalam adukan beton terlalu sedikit atau terlalu banyak maka akan diperoleh kuat tekan beton yang rendah. Karena pada jumlah semen yang sedikit, jumlah air yang digunakan akan sedikit pula, sehingga adukan beton menjadi sulit akibatnya kuat tekan beton menjadi rendah. Sedangkan jumlah semen yang digunakan terlalu banyak maka air yang digunakanpun ikut banyak, sehingga beton mengandung banyak pori dan akibatnya kuat tekan betonpun menjadi rendah. Jenis semen juga mempengaruhi kuat tekan beton, dari lima jenis semen yang ada memberikan pengaruh tersendiri terhadap kuat tekan beton.

### 3.2.4 Sifat Agregat

Jika menginginkan beton dengan kuat tekan yang tinggi, maka diperlukan agregat yang baik dan kuat, dimana agregat tersebut tidak boleh lebih lemah dari pastaya. Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran butir maksimalnya.

### 3.2.5 Keleccakan (*workability*)

Pada saat pengecoran diperlukan tingkat keleccakan tertentu, sehingga beton tidak terlalu lembek atau terlalu liat atau kental. Apabila terlalu lembek (fas besar) beton mudah dicor, tetapi mutunya rendah. Jika terlalu kental, maka beton suah dicor dan membentuk rongga setelah beton mengeras. Meskipun kuat tekan beton lebih tinggi, diperlukan suatu metoda untuk menentukan keleccakan yang tepat. Salah satu cara untuk mengetahui nilai keleccakan pada campuran beton adalah dengan melakukan uji *slump* pengujian ini menggunakan kerucut Abrams. Tahapan dalam pengujian *slump* ini adalah sebagai berikut.

1. Menuangkan adukan beton segar kedalam kerucut abrams, dimana setiap sepertiganya ditumbuk sebanyak 25 kali agar menjadi padat.
2. Selesai lapisan terakhir dipadatkan, diratakan, dan tunggu 60 detik, sambil menyingkirkan adukan beton yang tumpah di sekitar kerucut, lalu angkat kerucut abramsnya lurus keatas.

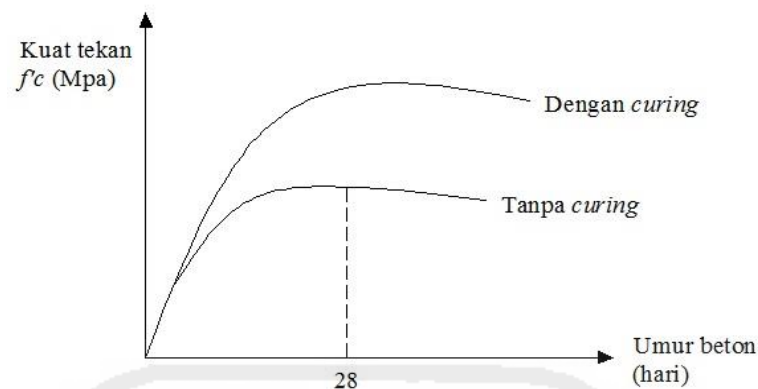
3. Lalu ukur nilai keruntuhan dari adukan beton segar yang tadi dimasukkan kedalam kerucut abrams. Nilai *slump* adalah selisih tinggi antara kerucut abrams dengan permukaan atas adukan beton setelah kerucut ditarik, seperti yang tampak pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengukuran nilai *slump*  
(Sumber : Asroni, 2010)

### 3.3 PERAWATAN BETON (*CURING*)

Perawatan beton dilakukan setelah beton mengeras. Perawatan ini dilakukan agar beton tetap dalam keadaan lembab dan proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika proses hidrasi mengalami gangguan, maka beton mengalami keretakan dikarenakan beton kehilangan air yang begitu cepat. Selain itu perawatan beton juga dapat menjadikan beton lebih tahan cuaca, dan lebih kedap air. Perawatan beton minimal dilakukan selama 7 hari, dikarenakan pada saat umur beton 7 hari beton sudah mencapai kekuatan sebesar 65%. Perbedaan kuat tekan beton yang dirawat dengan tanpa perawatan, dapat dilihat pada grafik Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Hubungan antara kuat tekan beton dengan perawatan

Perawatan beton dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu:

1. Di laboratorium
  - a. Beton segar diletakan di dalam ruangan yang lembab.
  - b. Menaruh beton di atas genangan air.
  - c. Merendam beton di dalam air
2. Di lapangan atau proyek
  - a. Menyelimuti permukaan beton dengan air.
  - b. Menggenangi permukaan beton dengan air.
  - c. Menyirami permukaan beton secara rutin.

### 3.4 METODE PERANCANGAN CAMPURAN BETON (*MIX DESIGN*)

Metode perencanaan campuran beton ada beberapa macam, antara lain:

1. Metode DOE (*Department of Environment*),
2. SNI 03-2834-2000,
3. Metode ACI (*American Concrete Institue*),
4. Metode *British Standard*, dan
5. Metode *Dreux*.

Pada penelitian yang dilakukan digunakan perancangan campuran beton dengan metode SNI 03-2834-2000. Metode ini adalah metode yang paling sering digunakan di perancangan beton di Indonesia.

Langkah-langkah perancangan campuran beton normal dengan metode SNI 03-2834-2000 diuraikan sebagai berikut ini.

1. Menentukan kuat tekan beton yang digunakan pada umur 28 hari.
2. Menghitung deviasi standar menurut ketentuan menggunakan Tabel 3.5.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

dengan:

- $s$  : deviasi standar  
 $x_i$  : kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji  
 $\bar{x}$  : kuat tekan beton rata-rata menurut rumus  
 $n$  : jumlah data

Tabel 3.5 Faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30 benda uji

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Lihat catatan dibawah
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00
Bila data uji lapangan tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan $f'_{cr}$ harus diambil tidak kurang dari ( $f'_{cr} + 12$ Mpa)	

Sumber : Tabel 1 SNI 03-2834-2000

3. Menghitung nilai tambah margin (M)

$$M = 1.64 \cdot s \quad (3.2)$$

dengan:

M : nilai tambah atau margin

1.64 : merupakan tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

s : deviasi standar

4. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan  $f'_{cr}$

$$f'_{cr} = f'c + M \quad (3.3)$$

dengan:

$f'_{cr}$  : kuat tekan rata-rata beton

$f'c$  : kuat tekan rencana

M : margin

5. Menetapkan jenis semen yang digunakan
6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan atau dipecahkan.
  - a. Agregat halus menggunakan Tabel 3.6

Tabel 3.6 Batas gradasi agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
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

Keterangan:

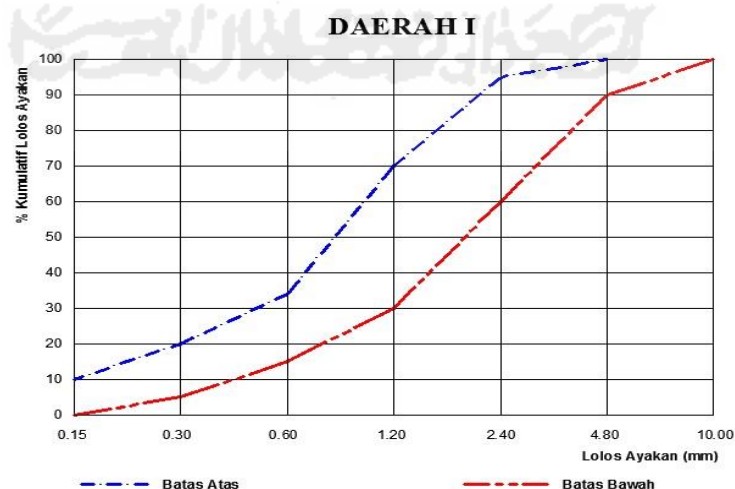
Daerah I : pasir kasar

Daerah II : pasir agak kasar

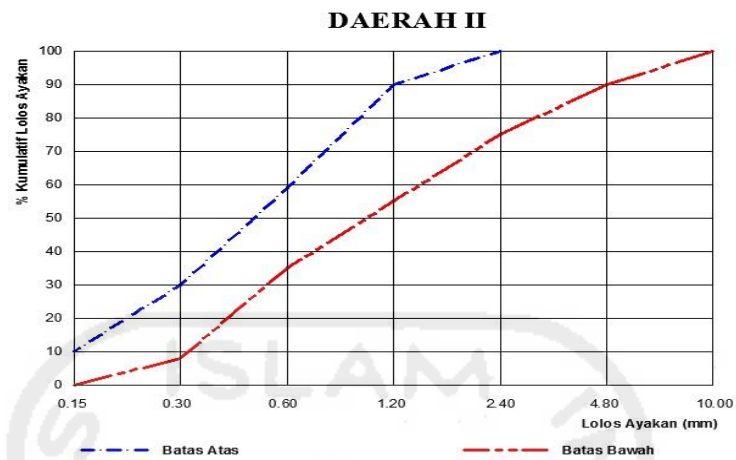
Daerah III : pasir agak halus

Daerah IV : pasir halus

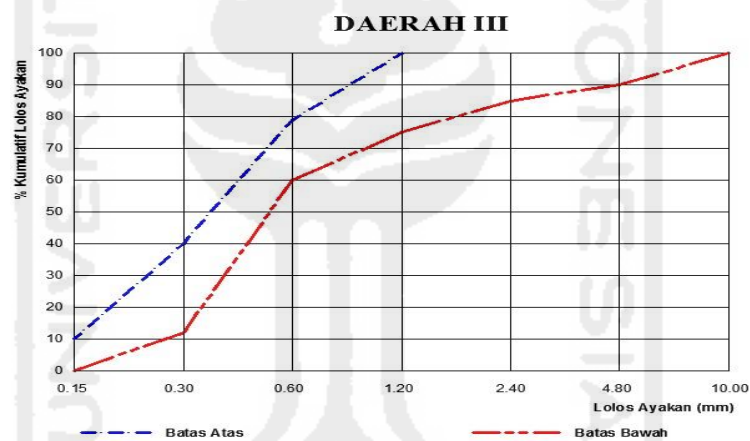
Tabel 3.6 tersebut dapat dijadikan grafik daerah gradasi pasir. Hasil pemeriksaan modulus halus butir agregat halus dapat dimasukkan ke dalam grafik daerah gradasi sehingga dapat ditentukan pasir yang telah diperiksa masuk pada daerah gradasi sehingga dapat ditentukan pasir yang telah diperiksa masuk pada daerah gradasi tertentu. Gradasi pasir dapat menunjukkan jenis pasir yang digunakan. Grafik gradasi daerah pasir yang berasal dari Tabel 3.6 dapat dilihat pada gambar 3.4 – Gambar 3.7 berikut ini.



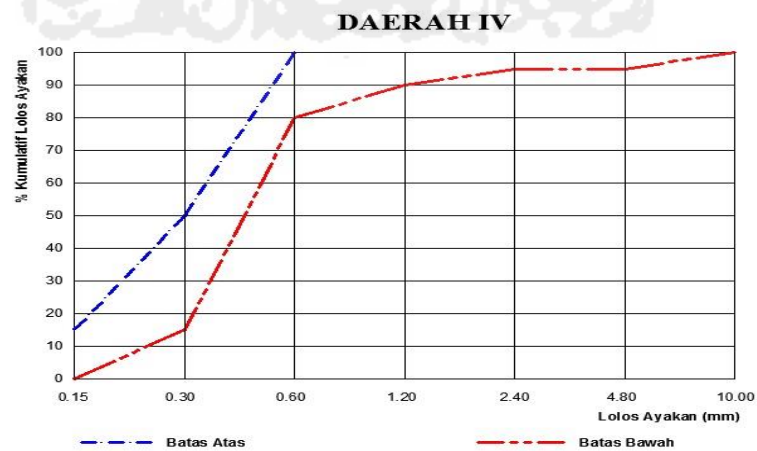
Gambar 3.4 Grafik gradasi daerah I



Gambar 3.5 Grafik gradasi daerah II



Gambar 3.6 Grafik gradasi daerah III

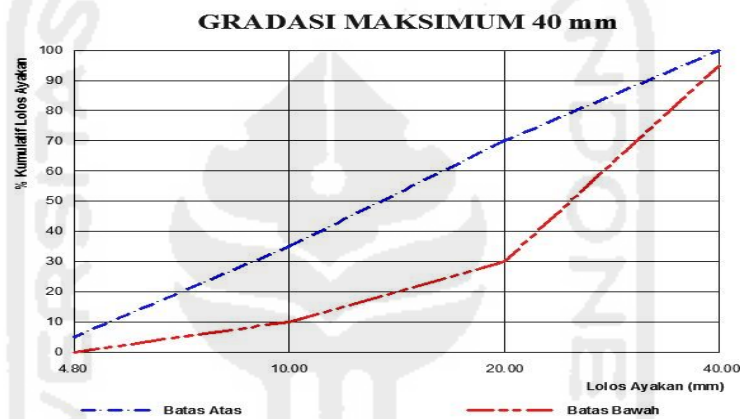


Gambar 3.7 Grafik gradasi daerah IV

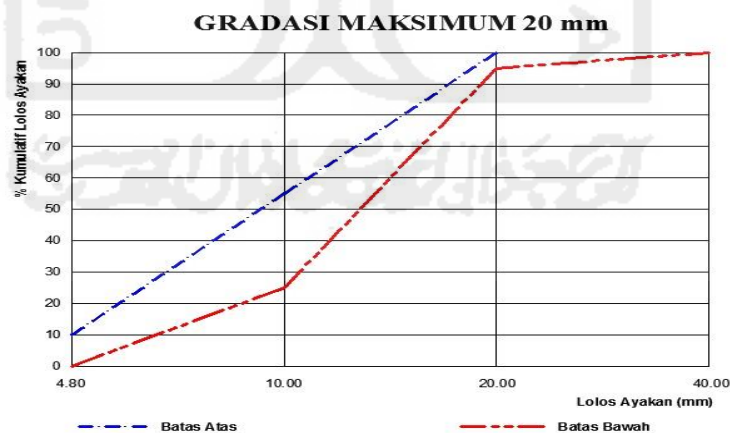
b. Agregat kasar menggunakan Tabel 3.7

Tabel 3.7 Batas gradasi agregat kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maks		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
10	10 – 35	25 – 55	40 – 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10



Gambar 3.8 Grafik gradasi maksimum 40 mm



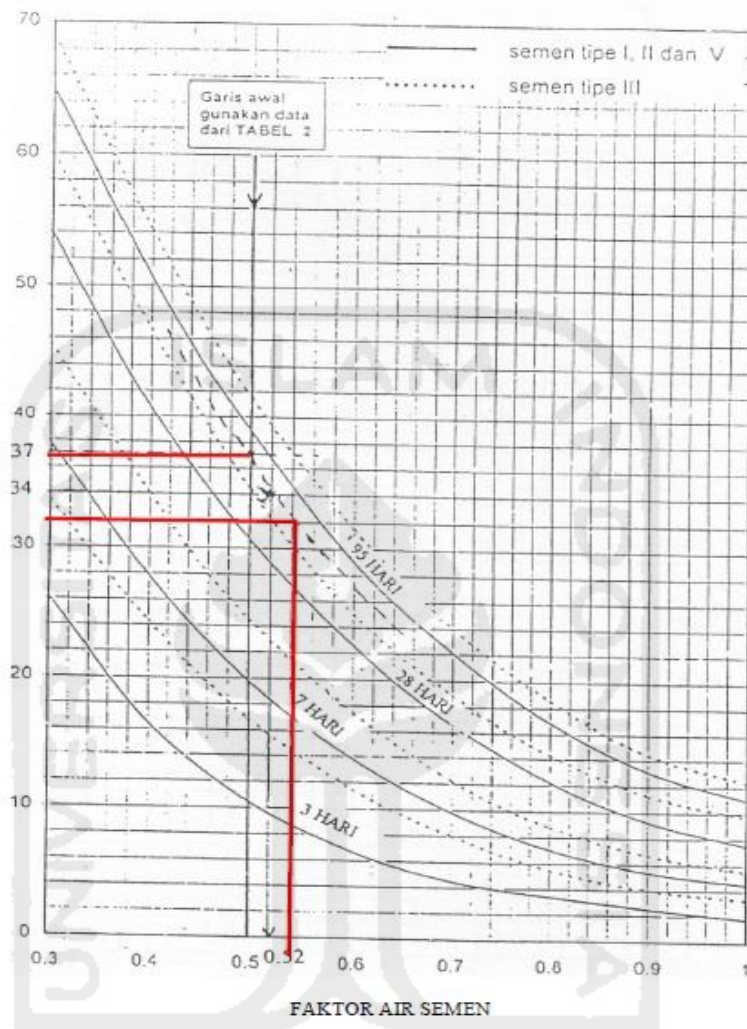
Gambar 3.9 Grafik gradasi maksimum 20 mm

7. Menetapkan faktor air semen (fas)

Ada dua cara menetapkan nilai fas, yaitu:

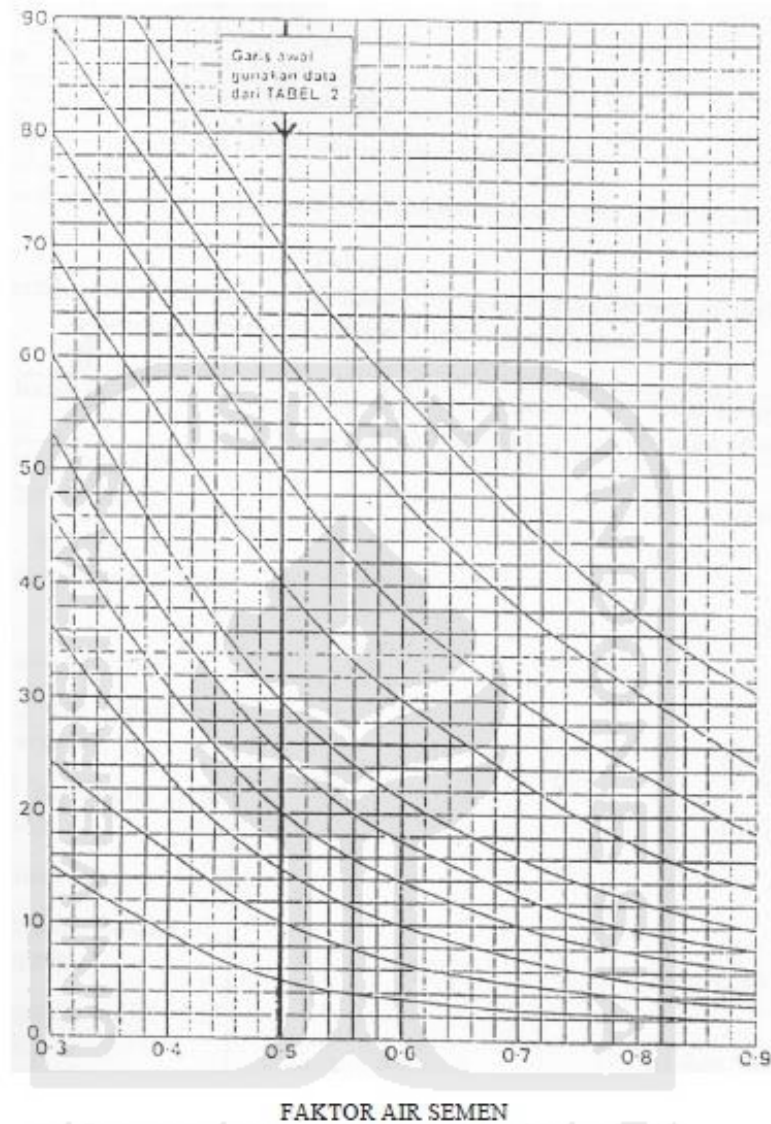
a. Menggunakan grafik pada Gambar 3.10, apabila benda uji silinder.





Gambar 3.10 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)  
(Sumber : Grafik 1 SNI 03-2834-2000)

b. Menggunakan grafik pada Gambar 3.11, apabila benda uji kubus.



Gambar 3.11 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk kubus 150 mm x 150 mm x 150 mm)  
(Sumber : Grafik 2 SNI 03-2834-2000)

8. Nilai fas ditentukan menggunakan tabel persyaratan fas maksimum untuk berbagai macam pembetonan dan lingkungan khusus. Tabel yang digunakan adalah Tabel 3.8, Tabel 3.9, Tabel 3.10.

Tabel 3.8 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m <sup>3</sup> beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan: a. keadaan keliling non-korosif b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	275 325	0,60 0,52
Beton di luar ruangan bangunan: a. tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung b. terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325 275	0,60 0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah: a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55 Lihat Tabel 3.9
Beton yang kontinu berhubungan a. air tawar b. air laut		Lihat Tabel 3.10

Sumber : Tabel 4 SNI 03-2834-2000

Tabel 3.9 Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Kadar Gangguan Sulfat	Konsentrasi Sulfat Sebagai SO <sub>3</sub>			Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum Ukuran Nominal Agregat Maksimum			fas
	Dalam Tanah		Sulfat (SO <sub>3</sub> ) Dalam Air Tanah (g/l)		40 mm	20 mm	10 mm	
	Total SO <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> Dalam Campuran Air : Tanah = 2:1 (g/l)						
1	< 0,2	< 1,0	< 0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15% - 40%)	80	300	350	0,50
2	0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozolan (15% - 40%)	290	330	350	0,50
				Tipe I Pozolan (15% - 40%) atau Semen Portland Pozolan	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe V	250	290	340	0,55
3	0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe I Pozolan (15% - 40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0,45
5	> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau Tipe V dan lapisan pelindung	330	370	420	0,45

Sumber : Tabel 5 SNI 03-2834-2000

Tabel 3.10 Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan Yang Berhubungan Dengan	fas Maksimum	Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum ( $\text{kg/m}^3$ )	
				Ukuran Maksimum Agregat (mm)	
				40	20
Bertulang atau Prategang	Air tawar	0,50	Tipe V	280	300
	Air payau	0,45	Tipe I + Pozolan (15% - 40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380
	Air laut	0,45	Tipe II atau V	330	370

Sumber : Tabel 6 SNI 03-2834-2000

9. Menetapkan nilai *slump* menggunakan Tabel 3.11

Tabel 3.11 Penetapan nilai *slump*

Pemakaian Beton	Nilai <i>Slump</i> (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat, pondasi, dan pondasi telapak	125	50
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur di bawah tanah	90	25
Pelat, balok, kolom, dan dinding	150	75
Pengerasan jalan	75	50
Pembetonan masal	75	25

Sumber : SNI 03-2834-2000

10. Menentukan ukuran butir agregat

Ukuran butir agregat maksimum yang digunakan tidak boleh melebihi syarat berikut.

- a. seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,

- b. sepertiga dari tebal plat, dan
- c. tiga perempat dari jarak bersih minimum antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

11. Menentukan kadar air bebas menggunakan Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : Tabel 3 SNI 03-2834-2000

Apabila agregat yang digunakan adalah agregat campuran (alami dan batu pecah), maka kebutuhan air dihitung menurut rumus:

$$W = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (3.4)$$

dengan:

$W$  : jumlah air yang dibutuhkan (liter/m<sup>3</sup>)

$W_h$  : perkiraan jumlah air untuk agregat halus (agregat alami)

$W_k$  : perkiraan air untuk agregat kasar (batu pecah)

12. Menentukan kadar semen

Kebutuhan semen dapat ditentukan dengan mengambil nilai terbesar dari dua cara berikut ini.

- a. Menghitung Kebutuhan Semen

Untuk menghitung jumlah kebutuhan semen, maka dapat digunakan persamaan 3.5.

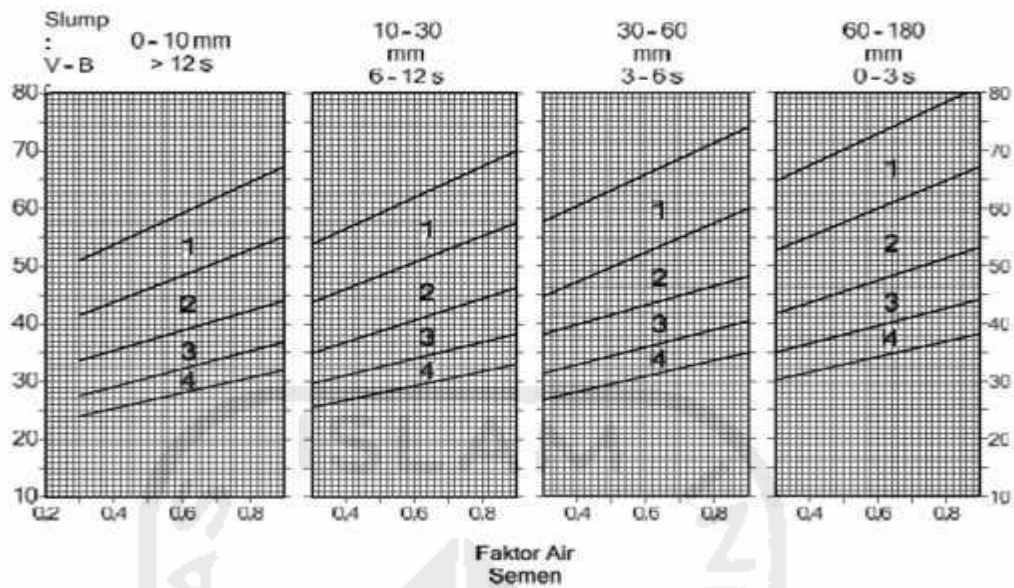
$$Kadar\ semen = \frac{Jumlah\ kadar\ air}{fas} \quad (3.5)$$

b. Menentukan Kebutuhan Semen Minimum

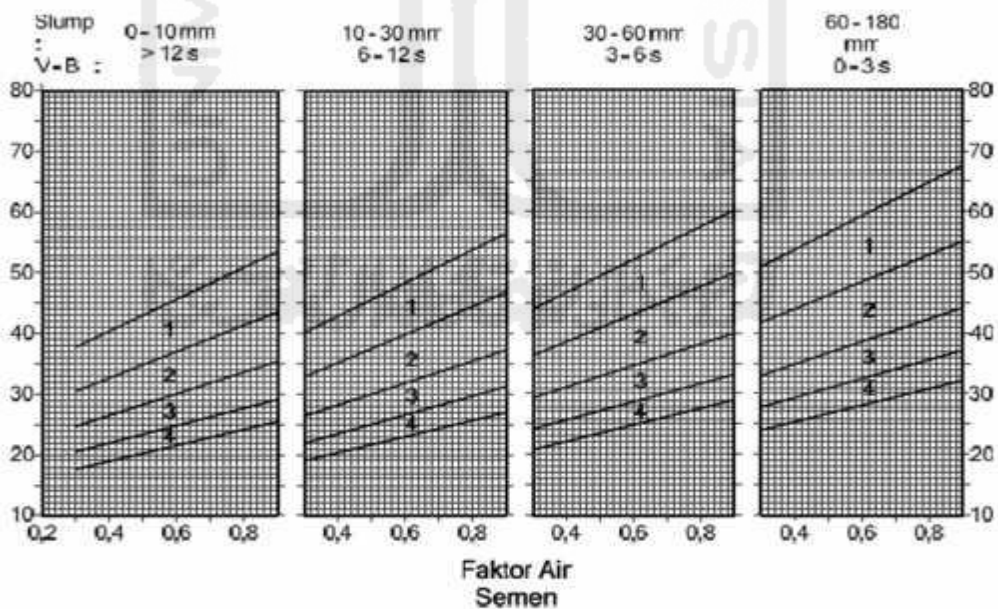
Kebutuhan semen minimum dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.8, Tabel 3.9, atau Tabel 3.10.

Jika jumlah semen yang digunakan berubah, maka faktor air semen juga akan berubah. Perubahan nilai faktor air semen ditentukan dengan cara sebagai berikut:

- a. jika akan menurunkan faktor air semen, maka faktor air semen dihitung lagi dengan cara jumlah air dibagi dengan jumlah semen minimum, dan
  - b. jika akan menaikkan jumlah air maka dapat dilakukan dengan cara jumlah semen minimum dikalikan dengan faktor air semen.
13. Menentukan persentase jumlah agregat halus ditentukan oleh besar ukuran maksimum agregat kasar, nilai slump, dan gradasi agregat halus. Untuk menentukan persentase jumlah agregat halus dapat dilihat pada Gambar 3.12, Gambar 3.13 atau Gambar 3.14.

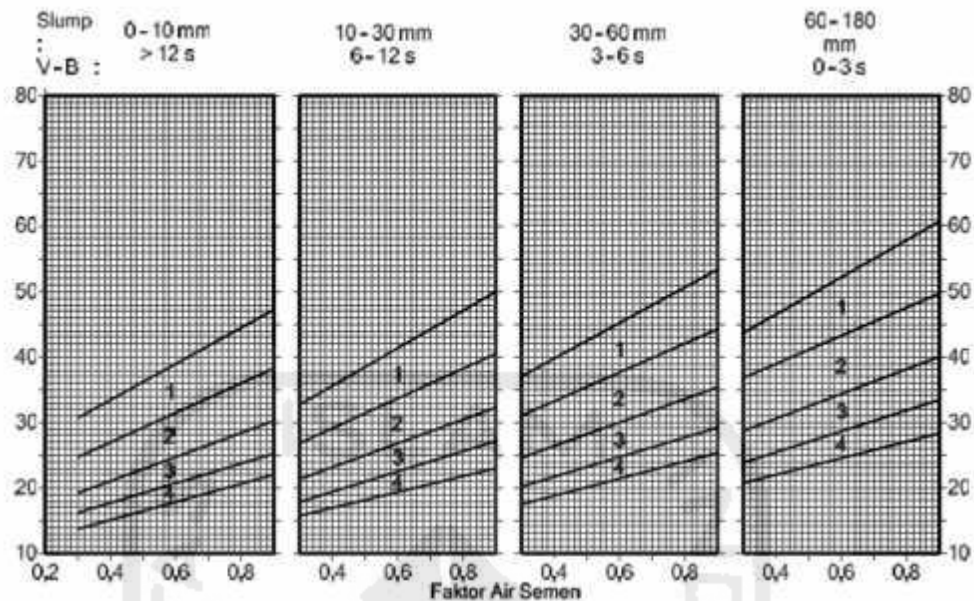


Gambar 3.12 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm  
(Sumber : Grafik 13 SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.13 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm  
(Sumber : Grafik 14 SNI 03-2834-2000)





Gambar 3.14 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm  
(Sumber : Grafik 15 SNI 03-2834-2000)

14. Menentukan persentase agregat kasar terhadap agregat campuran.

$$K = 100\% - P \quad (3.6)$$

dengan:

K : % agregat kasar  
P : % agregat halus (langkah 13)

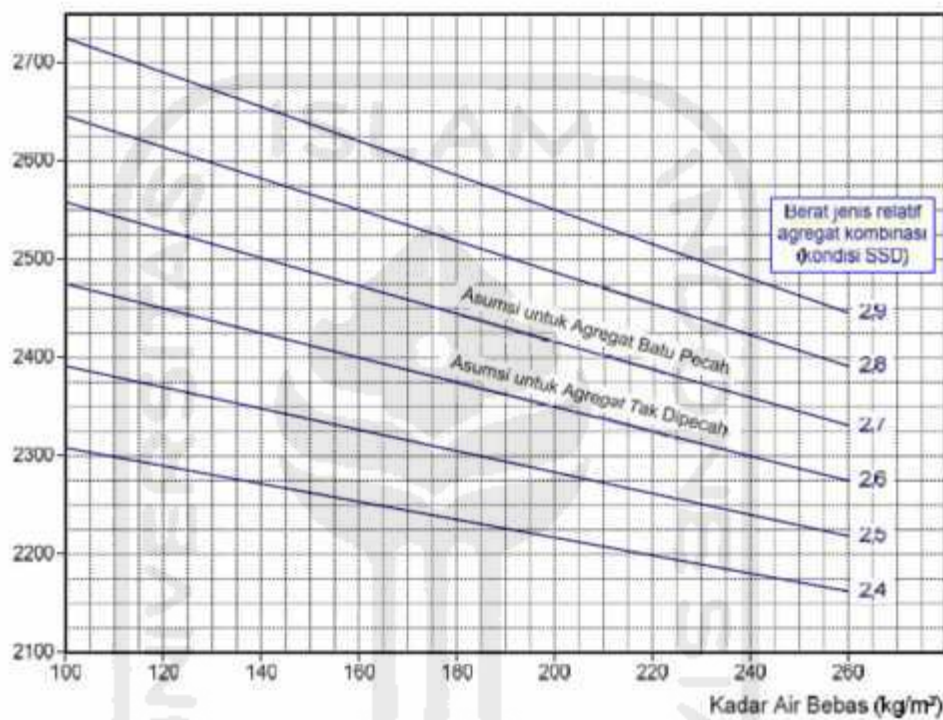
15. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil.

$$B_{j\text{campuran}} = P \cdot B_{j\text{pasir}} + K \cdot B_{j\text{kerikil}} \quad (3.7)$$

16. Menentukan berat isi beton menggunakan grafik pada Gambar 3.15.

Untuk mendapat nilai berat isi beton pada grafik dibutuhkan data-data sebagai berikut

- a. Berat jenis campuran (langkah 15)
- b. Kadar air (langkah 11)



Gambar 3.15 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan  
(Sumber : Grafik 16 SNI 03-2834-2000)

17. Menghitung kadar agregat gabungan.

$$AG = \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air} \quad (3.8)$$

dengan:

AG : kadar agregat gabungan

18. Menghitung kadar agregat halus

$$AH = P \times AG \quad (3.9)$$

dimana:

AH : kadar agregat halus

P : % agregat halus

19. Menghitung persentasi agregat kasar.

$$AK = K \times AG \quad (3.10)$$

dimana:

AK : kadar agregat kasar

K : % agregat kasar

20. Menghitung proposrsi campuran, kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan.

### 3.5 KUAT TEKAN BETON

Pada umumnya sifat utama dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton biasanya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton saja tersebut. Menurut peraturan beton di Indonesia (PBI-1971, diperbaiki dengan SK SNI T-15-1991-03 dan SNI 03-2847-2002), kuat tekan beton diberi notasi dengan  $f'c$ , yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari.

Mutu beton dibedakan atas 3 macam menurut kuat tekannya, yaitu:

1. mutu beton dengan  $f'c$  kurang dari 10 MPa, digunakan untuk beton non struktur seperti kolom praktis, balok praktis,
2. mutu beton dengan  $f'c$  antara 10 MPa sampai 20 MPa, digunakan untuk beton struktur seperti balok, kolom, pelat, maupun fondasi, dan

3. mutu beton dengan  $f'c$  sebesar 20 MPa ke atas, digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton berdiameter 150 mm dan tingginya 300 mm ditekan dengan beban  $P$  sampai runtuh. Karena adanya beban  $P$ , maka terjadi tegangan tekan pada beton ( $\sigma_c$ ) sebesar beban ( $P$ ) dibagi dengan luas penampang beton ( $A$ ), sehingga dirumuskan:

$$\sigma_c = P/A \quad (3.11)$$

dengan:

$\sigma_c$  : tegangan tekan beton, MPa

$P$  : besar beban tekan, N

$A$  : luas penampang beton, mm<sup>2</sup>

### 3.6 KEKUATAN BAJA TULANGAN

Menurut SNI 03-2847-2002, tulangan yang dapat digunakan pada elemen beton bertulang dibatasi hanya pada baja tulangan dan kawat baja saja. Baja tulangan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu baja tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan ulir atau *deform* (BJTD). Tulangan polos biasanya digunakan untuk tulangan geser/begel/sengkang dan mempunyai tegangan leleh ( $f_y$ ) minimal sebesar 240 MPa sedangkan tulangan ulir atau *deform* digunakan untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh ( $f_y$ ) minimal 300 MPa.

Baja tulangan hanya diutamakan untuk menahan beban tarik pada struktur beton bertulang, sedangkan beban tekan yang bekerja cukup ditahan oleh betonnya. Tegangan tarik baja tulangan dapat diketahui dengan cara berikut ini.

$$f_u = \frac{P_{maks}}{A_o} \quad (3.12)$$

$$f_y = \frac{P_y}{A_o} \quad (3.13)$$

dengan:

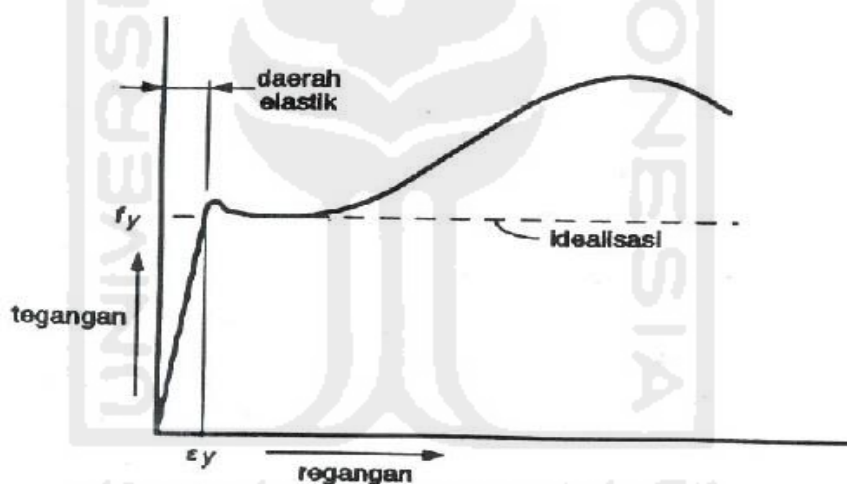
P : beban, N

$A_o$  : luasan penampang awal benda uji (sebelum diuji),  $\text{mm}^2$

$f_u$  : tegangan tarik maksimum, MPa

$f_y$  : tegangan leleh, MPa

Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan  
(Sumber : Dipohusodo, 1994)

### 3.7 KAPASITAS KOLOM PERSEGI TANPA GFRP

Kondisi kolom yang akan dianalisis adalah kondisi terbebani sentris pada kolom, beban sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata diseluruh bagian penampang yang menyebabkan saat terjadi keruntuhan, tegangan dan regangannya akan merata diseluruh bagian penampang. Kondisi ini adalah kondisi dimana beban bekerja tepat pada titik berat potongan kolom (beban aksial murni), sehingga tidak ada momen.

Kapasitas beban aksial kolom *nonslender* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.14.

$$P_u = 0,8\phi \{0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} \quad (3.14)$$

dengan:

- $P_u$  : beban aksial ultimate kolom persegi beton bertulang, N  
 $f'_c$  : kuat tekan beton, MPa  
 $A_g$  : luas bruto kolom persegi, mm<sup>2</sup>  
 $A_{st}$  : luas penampang total tulangan longitudinal, mm<sup>2</sup>  
 $\phi$  : faktor reduksi

### 3.8 KAPASITAS KOLOM PERSEGI DENGAN GFRP

*Fibre Reinforced Polymer (FRP)* adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur karena sifatnya setelah dipasang pada struktur beton mampu menghilangkan kekurangan beton yang getas menjadi struktur yang *ductile*. Dua jenis serat yang umum digunakan untuk perkuatan struktur adalah *Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP)* dan *Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP)*. Kapasitas beban aksial kolom *nonslender* perkuatan FRP dengan pengekanan *tied* menurut ACI.2R-08 dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15.

$$P_u = 0,8\phi \{0,85 f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} \quad (3.15)$$

$$f'_{cc} = f'_c + 3,3k_a f_l \quad (3.16)$$

$$k_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h}\right)^2 \quad (3.17)$$

$$f_l = \frac{\Psi_f 2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{\sqrt{b^2 + h^2}} \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_{fe} = \min (0,004, k_\varepsilon \varepsilon_{fu}) \quad (3.19)$$

$$A_e/A_c = 1 - \frac{\left[\left(\frac{b}{h}\right)(h-2rc)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)(b-2rc)^2\right]}{\frac{3A_g}{1-\rho_g}} - \rho_g \quad (3.20)$$

dengan:

- $P_u$  : beban aksial ultimate kolom persegi beton bertulang, N  
 $f'_c$  : kuat tekan beton, MPa  
 $f'_{cc}$  : kuat tekan beton akibat kekangan *FRP*, MPa  
 $A_g$  : luas bruto kolom persegi, mm<sup>2</sup>  
 $A_{st}$  : luas penampang total tulangan longitudinal, mm<sup>2</sup>  
 $\phi$  : faktor reduksi  
 $f_l$  : kuat tekan maksimum oleh selubung *FRP*, MPa  
 $f_y$  : kuat leleh baja, MPa  
 $\epsilon_{fe}$  : tingkat tegangan efektif pada perkuatan *FRP* saat mencapai keruntuhan  
 $k_a$  : faktor efisiensi perkuatan *FRP* dalam penentuan  $f'_{cc}$   
 $\psi_f$  : faktor reduksi kekuatan *FRP*  
 $n$  : jumlah lapisan *FRP*  
 $E_f$  : modulus elastis *FRP*

### 3.9 KAPASITAS GESER KOLOM TANPA GFRP

Analisis penulangan geser kolom dimaksudkan untuk menyediakan sejumlah tulangan baja agar mampu menambah daya pikul kolom, memegang tulangan utama di dalam cetakan saat dicor serta mencegah tulangan utama yang langsing dan bertegangan tinggi supaya tidak menekuk keluar dan menghancurkan penutup beton. Perencanaan geser pada kolom, seperti juga pada balok, harus memenuhi persamaan yaitu sebagai berikut.

$$V_u \leq \phi V_n \quad (3.21)$$

dengan:

- $V_u$  : beban geser terfaktor  
 $\phi$  : factor reduksi untuk geser sebesar 0,75  
 $V_n$  : kuat geser nominal, yang dihitung berdasarkan

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.22)$$

dengan:

$V_c$  : kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

$V_s$  : kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

Tulangan geser diperlukan apabila memenuhi persamaan sebagai berikut.

$$V_u < \phi V_c \quad (3.23)$$

Nilai  $V_c$  dari persamaan diatas untuk kolom adalah sebagai berikut.

$$V_c = \left(1 + \frac{N_{u,k}}{14 A_g}\right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d \quad (3.24)$$

dengan:

$N_{u,k}$  : gaya normal atau gaya aksial terfaktor pada kolom, N

$A_g$  : luas bruto penampang kolom, mm<sup>2</sup>

$f'_c$  : kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa

$b_w$  : ukuran lebar penampang kolom, mm

$d$  : ukuran tinggi efektif penampang kolom, mm

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad (3.25)$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (3.26)$$

dengan:

$s$  : jarak tulangan sengkang, mm

$A_v$  : luas tulangan sengkang yang dibutuhkan, mm<sup>2</sup>

$f_y$  : mutu baja tulangan, MPa



### 3.10 KAPASITAS GESER KOLOM DENGAN GFRP

Berdasarkan persamaan yang diberikan ACI.2R-08, kapasitas geser pada kolom beton bertulang yang diperkuat dengan *FRP composite* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_n = V_c + V_s + \psi_f V_f \quad (3.27)$$

Terdapat dua kemungkinan kegagalan atau kehancuran yang terjadi pada perkuatan geser yang disumbangkan *FRP* pada kolom beton bertulang, yaitu kegagalan akibat retak atau patahnya *FRP* dan kegagalan akibat lepasnya rekatan *FRP* dengan kolom beton bertulang. Untuk perencanaan perkuatan geser, ACI.2R-08 memberikan persamaan sebagai berikut.

$$V_f = \frac{A_f f_{fe} d_f}{S_f} \quad (3.28)$$

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f \quad (3.29)$$

$$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75 \varepsilon_{fu} \quad (3.30)$$

$$A_f = 2 n t_f w_f \quad (3.31)$$

dengan:

$V_f$  : kuat geser yang disumbangkan oleh *FRP*

$A_f$  : luas *FRP* yang dibutuhkan

$\psi_f$  : faktor reduksi kekuatan *FRP*

$d_f$  : ukuran tinggi efektif *FRP*

$t_f$  : tebal tiap lapisan *FRP*

$S_f$  : jarak antar *FRP*

$n$  : jumlah lapisan *FRP*

$\varepsilon_{fe}$  : tingkat tegangan efektif pada perkuatan *FRP* saat mencapai keruntuhan

$E_f$  : modulus elastis *FRP*

### 3.11 PENAHAN GAYA GESER KOLOM

Faktor kegagalan kolom dapat pula disebabkan oleh ketidakmampuan kolom dalam menerima gaya geser atau gaya lintang yang bekerja pada kolom. Gaya geser yang bekerja pada kolom dapat ditahan oleh 4 keadaan, yaitu sebagai berikut.

1. Penahan gaya geser oleh serat beton ( $V_C$ )

Meskipun beton bersifat getas, tetapi mampu menahan gaya geser yang besarnya dihitung berdasarkan Pasal 11.2.1.2 SNI 03-2847-2013, yaitu

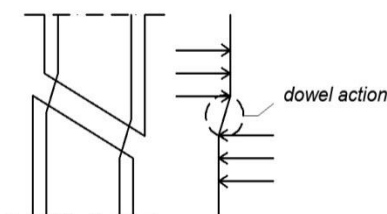
$$V_C = \left(1 + \frac{N_{u,k}}{14 A_g}\right) \frac{\sqrt{f'_{rc}}}{6} b_w d \quad (3.32)$$

2. Penahan gaya geser oleh tulangan begel ( $V_S$ )

Fungsi utama dari tulangan sengkang/begel kolom, yaitu untuk mencegah retak beton akibat gaya geser yang bekerja pada kolom. Karena begel diikatkan dengan kuat pada tulangan memanjang kolom, maka disamping sebagai penahan geser, begel juga dapat mencegah pergeseran letak tulangan memanjang.

3. Penahan gaya geser oleh gaya potong (*dowel action*) tulangan memanjang kolom

Pada bagian atas dari retakan, bekerja gaya geser kekanan, pada bagian bawah bekerja gaya geser kekiri, sehingga timbul gaya potong tulangan (*dowel action*). Gaya potong ini menahan gaya geser yang dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.17 Gaya potong tulangan  
(Sumber : Asroni, 2010)

#### 4. Penahan gaya geser oleh kekasaran agregat

Agregat beton yang permukaannya kasar mempunyai daya rekat lebih kuat dari pada agregat yang permukaannya halus. Selain itu, butiran agregat ini saling mengunci dengan butiran agregat di sekelilingnya, sehingga sulit untuk tergelincir (terjadi slip), meskipun ada gaya geser.

Butir agregat yang sulit untuk slip, berarti tidak mudah terjadi retak beton. Dengan demikian dapat dipahami, bahwa kekasaran agregat tersebut dapat mencegah retak beton, atau berarti dapat menahan gaya geser/gaya lintang kolom (Asroni, 2010).

Menurut Pasal 11.1.1 SNI 03-2487-2013, pada perencanaan penampang yang menahan gaya geser harus didasarkan pada kuat geser nominal ( $V_n$ ), yang ditahan oleh kuat geser yang disumbangkan beton ( $V_c$ ) dan kuat geser yang disumbangkan tulangan geser ( $V_s$ ). Dengan demikian pengaruh kekasaran agregat, gaya tarik dan gaya potong tulangan longitudinal kolom tidak diperhitungkan, sehingga menambah keamanan pada perencanaan.

### 3.12 BATAS KELANGSINGAN KOLOM

Kolom dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu kolom pendek dan kolom panjang. Perbedaan ini ditinjau dari rasio kelangsingan kolom, yaitu nilai perbandingan ukuran antara pendek atau panjangnya kolom ( $k l_u$ ) terhadap dimensi lateral ( $I/A$ ). Kolom juga dibedakan berdasarkan bergoyang (terkekang) dan tidak bergoyangnya (tidak terkekang). SNI 03-2847-2013 memberikan suatu batas yang tegas, yaitu kolom dimasukkan dalam jenis kolom pendek jika dipenuhi syarat sebagai berikut.

1. untuk kolom yang tidak dapat bergoyang (Pasal 10.10.1b)

$$\frac{k l_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_{u1}}{M_{u2}} \right) \quad (3.33)$$

2. untuk kolom yang dapat bergoyang (Pasal 10.10.1a)

$$\frac{k lu}{r} \leq 22 \quad (3.34)$$

$$r = \sqrt{I/A} \quad (3.35)$$

dengan:

$k$  : faktor panjang efektif kolom

$lu$  : panjang bersih kolom

$r$  : radius girasi atau jari-jari inersia penampang kolom

: nilai  $r$  untuk kolom berbentuk persegi adalah  $0,3 \times h$  kolom

: nilai  $r$  untuk kolom berbentuk bulat adalah  $0,25 \times$  diameter kolom

$M_{u1}$  dan  $M_{u2}$  : momen yang kecil dan yang besar pada ujung kolom

$I$  dan  $A$  : momen inersia dan penampang kolom

### 3.13 KAPASITAS BEBAN TEKUK (*BUCKLING*) KOLOM

*Buckling* merupakan suatu proses dimana struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya, Sedemikian rupa berubah bentuk dalam rangka menemukan keseimbangan baru. Konsekuensi *buckling* pada dasarnya adalah masalah geometrik dasar dimana terjadi lendutan besar sehingga akan mengubah bentuk struktur. Fenomena tekuk atau *buckling* dapat terjadi pada sebuah kolom, lateral *buckling* balok, pelat dan cangkang. Besar beban tekuk atau kapasitas tekan  $P_c$  menurut Euler dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Asroni, 2010).

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k lu)^2} \quad (3.36)$$

$$EI = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_d} \quad (3.37)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (3.38)$$

untuk kolom yang tidak dapat bergoyang

$$\beta_d = \frac{\text{beban aksial mati terfaktor}}{\text{beban aksial total terfaktor}} \quad (3.39)$$

$$I_g = \frac{1}{12} b h^3 \quad (3.40)$$

dengan:

$P_c$  : beban tekuk euler atau beban kapasitas tekan kolom

$l_u$  : panjang bersih atau panjang bebas kolom

$I_g$  : inersia penampang kolom

$E_c$  : modulus elastis beton

$k$  : faktor panjang efektif kolom

### 3.14 BEBAN - SIMPANGAN

Pada level pembebanan tertentu elemen struktur beton sudah mulai retak-retak akibat adanya regangan tulangan tarik yang cukup besar. Pada intensitas beban tertentu maka regangan tarik baja tulangan semakin besar, sehingga retak pada beton juga semakin besar. Agar elemen beton mampu menahan beban, maka beton tersebut harus mempunyai daktilitas yang baik. Elemen struktur beton boleh relatif kecil dan berperilaku inelastik, tetapi beton tersebut harus daktil. Daktil adalah kemampuan dari suatu elemen beton untuk berdeformasi inelastik secara berkelanjutan akibat beban siklik tanpa adanya penurunan kekuatan yang berarti. Lawan dari daktil adalah getas, struktur yang getas kekuatannya turun secara tajam setelah mencapai kekuatan maksimum. Secara teoritik semakin tinggi tingkat daktilitasnya maka akan semakin baik dalam keberlanjutan menahan beban.

Menurut Paulay & Priestly (1992) daktilitas simpangan ( $\mu_\delta$ ) adalah perbandingan perpindahan (deformasi) maksimum suatu struktur dengan perpindahan (deformasi) struktur saat leleh. Berikut dipaparkan dalam persamaan 3.40 di bawah ini.

$$\mu_\delta = \frac{\delta u_{max}}{\delta y} \quad (3.41)$$

### 3.15 TIPE KERUSAKAN KOLOM PERSEGI

Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik, atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu dapat pula kolom mengalami keruntuhan apabila terjadi kehilangan stabilitas lateral, yaitu terjadi tekuk. Apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short column*). Apabila panjang kolom bertambah, kemungkinan kolom runtuh karena tekuk semakin besar. Dengan demikian ada suatu transisi dari kolom pendek (runtuh karena material) ke kolom panjang (runtuh karena tekuk) yang terdefinisi dengan perbandingan panjang efektif ( $klu$ ) dengan jari-jari girasi ( $r$ ). Tinggi ( $lu$ ) adalah panjang tak tertumpu (*unsupported length*) kolom, dan  $k$  adalah faktor yang bergantung pada kondisi ujung kolom, dan kondisi adakah penahan deformasi lateral atau tidak (Nawy, 1990).

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan baja yang tertarik, penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu:

1. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik.
2. Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan

Kondisi *balanced* terjadi apabila keruntuhan diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik sekaligus juga hancurnya beton yang tertekan. Apabila  $P_n$  adalah beban aksial dan  $P_{nb}$  adalah beban aksial pada kondisi *balanced*, maka:

$P_n < P_{nb}$  Keruntuhan tarik

$P_n = P_{nb}$  Keruntuhan *balanced*

$P_n > P_{nb}$  Keruntuhan tekan

Dalam segala hal, keserasian regangan (*strain compatibility*) harus tetap terpenuhi (Nawy, 1990).

1. Keruntuhan *balanced* pada penampang kolom persegi

Jika eksentrisitas semakin kecil, maka akan ada suatu transisi keruntuhan tarik utama ke keruntuhan tekan utama. Kondisi keruntuhan *balanced* tercapai apabila tulangan tarik mengalami regangan lelehnya  $E_y$  dan pada saat itu pula beton mengalami regangan batasnya dan mulai hancur.

2. Keruntuhan tarik pada penampang kolom persegi

Awal keadaan runtuh dalam hal eksentrisitas yang besar dapat terjadi dengan lelehnya tulangan baja yang tertarik. Peralihan dari keruntuhan tekan ke keruntuhan tarik terjadi pada  $e = eb$ . Jika  $e$  lebih besar dari  $eb$  atau  $P_n < P_{nb}$ , maka keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik yang diawali oleh lelehnya tulangan tarik.

3. Keruntuhan tekan pada penampang kolom persegi

Agar dapat terjadi keruntuhan yang diawali dengan hancurnya beton, eksentrisitas  $e$  gaya normal harus lebih kecil daripada eksentrisitas *balanced*  $eb$  dan tegangan pada tulangan tariknya lebih kecil daripada tegangan leleh, yaitu  $f_s < f_y$ .

### 3.16 TIPE KERUSAKAN KOLOM PERSEGI DENGAN GFRP

Mekanisme keruntuhan pada kolom dengan perkuatan *FRP* hampir tidak terlihat tanda-tanda kolom retak, ini disebabkan oleh beton terselimuti *FRP*. Pada saat *FRP* satu per satu bagiannya mulai terlepas, beton yang terselimuti oleh *FRP* akan mengalami keruntuhan.

Kegagalan kolom yang diselimuti dengan GFRP adalah kegagalan lentur dan sobeknya GFRP setelah tulangan tarik meleleh (*rupture failure of GFRP*), Pada kolom yang diberi selimut *fibreglass* kerusakan yang terjadi pertama kali adalah retaknya beton pada ujung-ujung kolom namun selimut *fibreglass* masih utuh sehingga kolom masih mampu memikul beban aksial. Kapasitas beban aksial tercapai setelah terjadi kerusakan pada selimut *fibreglass* (Sudjati dkk, 2013).