

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Bahan Penyusun Beton

3.1.1 Semen Portland

Semen portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan Klinker yang terutama terdiri dari Silikat-Silikat Kalsium yang bersifat *hidrolis* dengan *gips* sebagai bahan tambahan [PUBI-1982].

Tabel 3.1 Bagian Utama dari Klinker

Nama Senyawa	Komposisi Oksida	Singkatan
Dikalsium Silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Trikalsium Silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Trikalsium Aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetrakalsium Alumina Ferrit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Karena ada berbagai jenis semen untuk berbagai tujuan, maka perlu dipelajari karakteristik dari semen yaitu :

Type I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

Type II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

Type III : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.

Type IV : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.

Type V : Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap Sulfat.

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/batu pecah disebut beton.

Bahan-bahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu : bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan yang pasif yaitu pasir dan kerikil (disebut agregat, agregat halus dan agregat kasar). Kelompok yang pasif disebut bahan pengisi sedangkan yang aktif disebut perekat/pengikat.

Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat.

Peningkatan mutu beton sejalan dengan penggunaan fas yang dipergunakan berlaku juga pada struktur lain. Kenyataan menunjukkan bahwa semakin padat mortar beton atau semakin kecil pori-pori yang ada maka semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan.

3.1.2 Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton.

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan ialah dengan didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam Teknologi Beton agregat yang butirnya lebih dari 4,8 mm disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang butirnya kurang dari 4,8 mm disebut agregat halus.

Agregat kasar merupakan bahan yang terbanyak di dalam beton, makin banyak persen agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton, dengan syarat campuran masih cukup mudah dikerjakan.

Secara umum, agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah, atau split, adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu.

3.1.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi

bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Air yang diperlukan dalam adukan beton hanya sekitar 20%-30% dari berat semen. Nilai fas (faktor air semen) yang kecil adukan beton menjadi sulit dikerjakan, maka diberikan tambahan air sebagai pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan berkurang.

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum).

Kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal adukan, serta kekuatan betonnya setelah mengeras. Dalam pemakaian air untuk beton itu sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut :

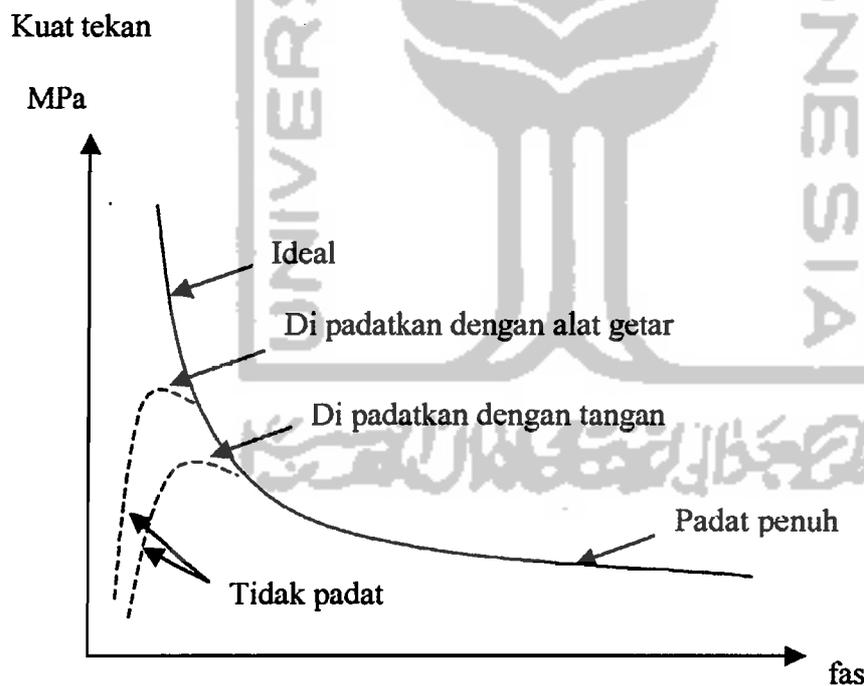
- a. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak mengandung *Klorida* (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa *Sulfat* lebih dari 1 gram/liter.

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organis dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

3.1.4 Faktor Air Semen

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton, pada umumnya dipakai fas 0,40-0,60 tergantung mutu beton yang hendak dicapai.

Bila fas terlalu rendah, pasta semen tidak cukup untuk menutupi agregat kasarnya, dan bila terlalu tinggi maka adukan akan terlalu encer. Dengan demikian semakin besar fas, semakin rendah kuat tekan betonnya, seperti diperlihatkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Hubungan antara kuat tekan beton dengan fas

3.1.5 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton. Tingkat kelecakan ini berkaitan dengan tingkat kemudahan (*workabilitas*). Semakin besar nilai slump berarti semakin encer adukan beton, sehingga adukan beton semakin mudah dikerjakan. Nilai slump untuk berbagai macam struktur diperlihatkan pada tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Nilai Slump untuk berbagai jenis struktur

JENIS STRUKTUR	NILAI SLUMP	
	MINIMUM	MAKSIMUM
Pondasi bertulang dinding, tiang	5	12,5
Tiang pondasi bertulang, caison	2,5	10
Pelat, balok, kolom	7,5	15
Beton untuk jalan (<i>pavement</i>)	5	7,5
Beton massa (<i>struktur masa berat</i>)	2,5	7,5

3.1.4 Workability

Kemudahan pengerjaan (*workability*) merupakan ukuran tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton termasuk menuang dan memadatkannya, dan tingkat kemudahan ini sangat dipengaruhi oleh nilai slump. perbandingan bahan-bahan penyusun beton dan sifat-sifat bahan penyusun beton secara bersama-sama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan adukan beton.

Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan dikerjakan antara lain.

1. Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton, mempengaruhi konsistensi adukan, yaitu semakin banyak air yang digunakan maka adukan akan semakin cair, sehingga semakin mudah untuk dikerjakan.
2. Jumlah semen yang digunakan. penambahan jumlah semen ke dalam campuran adukan beton akan memudahkan pengerjaan adukan betonnya, karena akan diikuti dengan penambahan air campuran untuk memperoleh nilai fas yang tetap.
3. Pemakaian bahan tambah tertentu yang bertujuan untuk meningkatkan workabilitas adukan fas rendah, misalnya dengan penambahan *plastizer*.

Adukan dengan tingkat kelecakan tinggi memiliki resiko yang besar terhadap *bleeding*. Hal ini terjadi karena kecenderungan air campuran untuk naik ke atas (memisahkan diri) pada beton segar.

Air naik ke atas sambil membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada akhirnya setelah beton mengeras akan tampak sebagai lapisan selaput. Lapisan ini dikenal sebagai "laitance".

Pemisahan air ini dapat dikurangi dengan cara-cara sebagai berikut :

1. Memberi lebih banyak semen.
2. Menggunakan air sesedikit mungkin.
3. Menggunakan pasir lebih banyak.

3.2 Perencanaan Campuran Beton

3.2.1 Perancangan Menurut Metoda DREUX

Metoda ini dikembangkan oleh Prof. Georges Dreux berkebangsaan Perancis melalui penelitian yang dilakukan pada tahun 1979.

Secara garis besar, urutan langkah perencanaan menurut Dreux ialah sebagai berikut:

$$f'_{cr} = G \cdot f_{ce} (C/E - 0,5) \quad (3.1)$$

Dimana:

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari atas dasar benda uji silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm (MPa).

G = Faktor kekompakan butiran (faktor granulair) ; suatu besaran yang menunjukkan besarnya volume yang diisi oleh agregat kasar

f_{ce} = Kekuatan tekan mortar semen (MPa)

C = Berat semen untuk 1 m³ beton

E = Berat air untuk 1 m³ beton

Tabel 3.3 Faktor kekompakan butiran (faktor granulair)

Kualitas Butiran	Ukuran diameter butiran		
	Kecil(D≤16 mm)	Sedang (25≤D≤40mm)	Besar(D≥63 mm)
Baik sekali	0,55	0,60	0,65
Normal	0,45	0,50	0,55
Bisa dipakai	0,35	0,40	0,45

Hubungan antara Kuat Tekan Beton yang disyaratkan dengan kuat tekan beton rata-rata dinyatakan sebagai:

$$f'_{c} = f'_{cr} - 1,64 s \quad (3.2a)$$

atau

$$f'_{cr} = f'_{c} + 1,64 s \quad (3.2b)$$

Dimana :

f'_c = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata (MPa)

S = Deviasi standar (MPa)

Pengujian kekuatan dilakukan terhadap 30 buah benda uji silinder. Bila hanya memungkinkan untuk dilakukan pengujian untuk sejumlah benda uji yang kurang dari 30 buah maka diperlukan koreksi terhadap deviasi standar sebagaimana diberikan dalam tabel 3.4

Tabel 3.4 faktor koreksi deviasi standar

Jumlah Contoh Pengujian	Faktor Koreksi
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

Besarnya kuat tekan beton rencana yang dipakai pada perencanaan campuran beton adalah nilai terbesar antara :

$$f'_{cr} = f'_c + 1,64 s \quad (\text{MPa}) \quad (3.2a)$$

dan

$$f'_{cr} = f'_c + 2,64 s - 4 \quad (\text{MPa}) \quad (3.3)$$

Bila tidak tersedia data hasil pengujian atau pengalaman sebelumnya maka besarnya kekuatan tekan beton rencana dapat diperhitungkan.

Tabel 3.5 Peningkatan kekuatan yang diperlukan untuk kuat tekan beton yang disyaratkan bila data hasil pengujian tidak tersedia

Kuat Tekan Beton Yang Disyaratkan	Peningkatan Kekuatan (MPa)
<21	7,0
21-35	8,5
≥35	10,0

Dalam pelaksanaan, kekuatan tekan beton dinyatakan sebagai kekuatan tekan karakteristik yang dihitung berdasarkan benda uji kubus dengan sisi 150 mm, sedangkan rumusan perancangan campuran beton menurut Dreux didasarkan atas benda uji silinder berdiameter 150 mm x 300 mm. Oleh karena itu diperlukan konversi kuat tekan benda uji kubus ke benda uji silinder. Berdasarkan hasil penelitian, kuat tekan benda uji kubus adalah 1,2 kali lebih besar dari benda uji silinder.

3.2.1.1 Rasio C/E

Dari rumusan Dreux terlihat kekuatan tekan beton tidak tergantung pada jumlah semen yang digunakan, selama perbandingan antara jumlah semen dan air (C/E) tetap. Akan tetapi dalam perancangan campuran perlu diperhatikan faktor-faktor kemudahan pelaksanaan pengecoran beton, campuran beton tidak boleh terlalu kental ataupun encer, sehingga diadakan pembatasan sebagai berikut :

- Rasio jumlah semen terhadap air (C/E) berkisar antara 1,5 sampai 2,5.
- Jumlah semen tidak kurang dari 300kg/m^3 beton.

Jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton dapat ditentukan dengan menggunakan gambar 3.2.

Bila dalam jumlah beton digunakan agregat kasar berupa batu pecah, maka harga *slump* dari pembacaan kurva perlu dikurangi sekitar 20 mm.

3.2.1.2 Prosentase Agregat

Prosentase Agregat ditentukan dengan menggunakan analisis granulometri.

Gambar 3.3 menyatakan batasan granulometri agregat.

Kurva gabungan agregat yang digunakan sedapat mungkin harus berimpit dengan kurva patokan yang diberikan. Kurva patokan adalah garis bilinear yang menghubungkan titik 0% pada diameter 0,1 mm dan titik 100% pada diameter maksimum (D) dengan titik patah P(X, Y).

Absis X tergantung dari diameter agregat maksimum yang digunakan.

- $X = D/2$, untuk $D \leq 25$ mm
- $X = (D-5)/2$, untuk $D > 25$ mm

Ordinat Y dapat dihitung dengan menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s \quad (3.4)$$

dimana :

D = Diameter maksimum butiran.

K = Angka koreksi yang tergantung dari jumlah semen per meter kubik, jenis agregat dan cara pemadatan. Harga-harga ini dapat diambil dari tabel 3.6 dan 3.7.

K_s = Angka koreksi jika modulus pasir M_{fs} tidak sama dengan 2,5. Jika modulus pasir M_{fs} tidak sama dengan 2,5 maka,

$$K_s = 6 M_{fs} - 15$$

Tabel 3.6 Klasifikasi Plastisitas Beton berdasarkan *Slump*

Plastisitas Beton	Slump (mm)	Pemadatan
Sangat Kental	0-20	Pengetaran sangat kuat
Kental	30-50	Pengetaran yang baik
Plastik	60-90	Pengetaran normal
Lembek	100-130	Tusukan
Encer	≥ 140	Tusukan lemah

Tabel 3.7 Harga-harga K , K_s , K_p

Pemadatan		Lemah		Normal		Kuat	
Macam butiran		Alam	Pecah	Alam	Pecah	Alam	Pecah
Dosis	400+fluid	-2	0	-4	-2	-6	-4
semen	400	0	+2	-2	0	-4	-2
Kg/m^3	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

3.2.1.3 Penentuan Jumlah Air Bebas

Dengan menggunakan gambar 3.2 dapat ditentukan jumlah semen yang diperlukan dalam perencanaan campuran beton. Selanjutnya jumlah air yang diperlukan dihitung dari rasio C/E yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk D tidak sama dengan 25 mm diperlukan koreksi terhadap kadar air.

Tabel 3.8 Koreksi kadar air E sebagai fungsi dari D

D, mm	5	10	16	25	40	63	100
Koreksi E 1%	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

3.2.1.4 Menentukan Berat Agregat (Kondisi SSD)

Untuk mendapatkan komposisi masing-masing agregat dan semen yang digunakan dalam campuran beton perlu terlebih dahulu diketahui koefisien kekompakan butiran (γ). Koefisien kekompakan menunjukkan besarnya volume absolut dari semen dan agregat untuk setiap satu m³ beton. Besarnya koefisien kekompakan tergantung pada diameter maksimum agregat, konsistensi aduakan beton dan cara pemadatan yang dilakukan.

Tabel 3.9 Koefisien Kekompakan Beton

Kekentalan beton	Cara pemadatan	Koefisien kekompakan (γ)						
		D=5	D=10	D=16	D=25	D=40	D=63	D=100
Lembek	Tusukan	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Pemadatan lemah	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Pemadatan normal	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastis	Tusukan	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Pemadatan lemah	0,765	0,795	0,820	0,825	0,830	0,830	0,835
	Pemadatan normal	0,770	0,800	0,815	0,820	0,825	0,835	0,840
	Pemadatan kuat	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Kental	Pemadatan lemah	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Pemadatan normal	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Pemadatan kuat	0,785	0,810	0,830	0,840	0,845	0,845	0,855

Untuk kondisi-kondisi tertentu sebagaimana diberikan di bawah ini diperlukan koreksi terhadap besarnya koefisien kekompakan sebagai berikut:

- Untuk campuran yang menggunakan agregat halus alam dengan batu pecah besarnya koefisien kekompakan direduksi sebesar 0,01.
- Untuk campuran yang kedua agregat dipecah direduksi sebesar 0,03.
- Untuk campuran beton yang penggunaan semennya tidak sama dengan 350 kg per kubik beton harus dikoreksi sebesar $(C-350)/5000$ dimana C merupakan jumlah semen yang dipakai setiap kubikasi beton.
- Untuk campuran beton dengan agregat ringan perlu direduksi dengan 0,03.

Adapun langkah-langkah untuk menghitung komposisi bahan-bahan penyusun adalah sebagai berikut :

1. Menghitung perbandingan berat semen dengan air. Berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari.

$$f'_{cr} = G f_{ce} (C/E - 0,5)$$

Dimana :

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari, berdasar benda uji silinder.

Dimana :

$$f'_c = f'_{cr} - \delta S$$

f'_c = Kuat tekan beton yang direncanakan (kg/cm^2)

$$\delta = 1,64$$

sd = deviasi standar yang diambil sebagai berikut :

$$sd = \sqrt{\frac{\sum_i^n (f_{c28} - f'_{cr})^2}{(n - 1)}}$$

Tabel 3.10 Faktor kekompakan butiran (faktor granular)

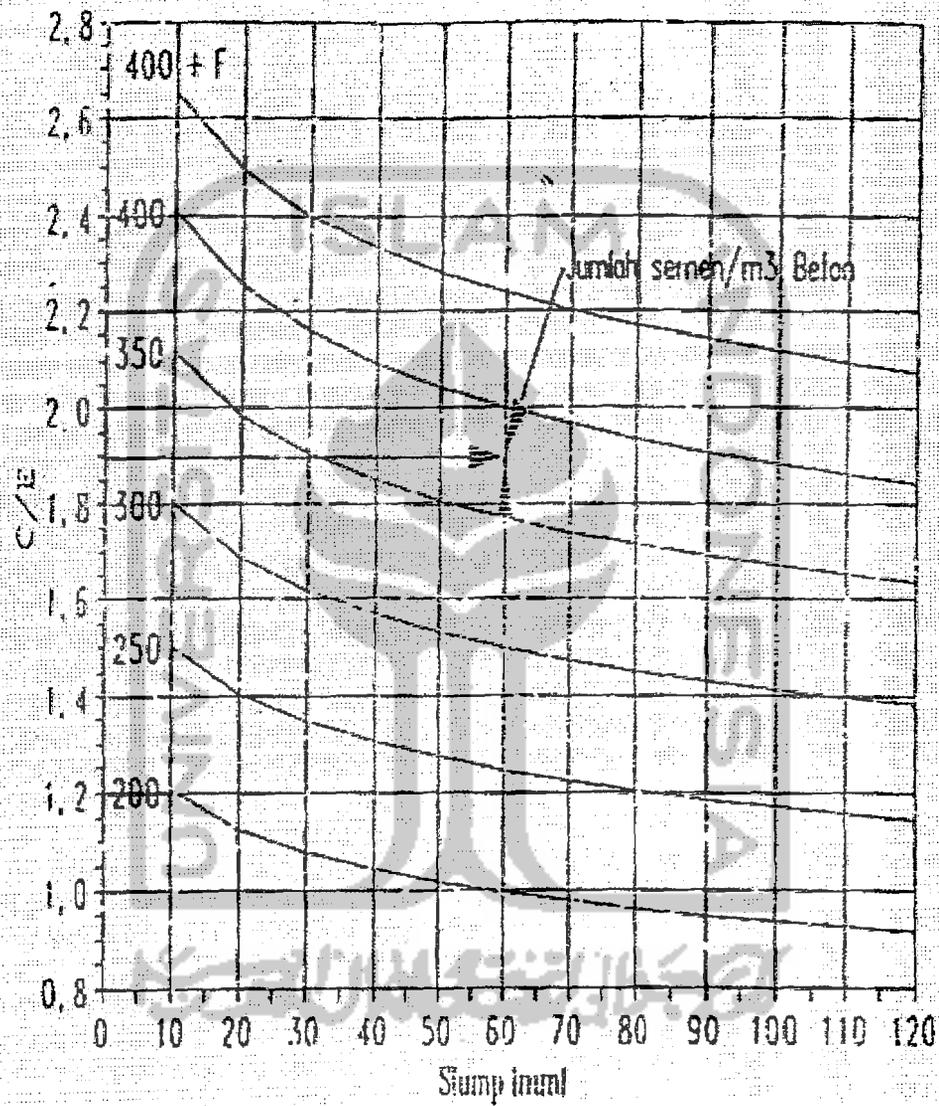
Kualitas butiran	Ukuran diameter butiran		
	Kecil ($D \leq 16 \text{ mm}$)	Sedang ($25 \leq D \leq 40 \text{ mm}$)	Besar ($D \geq 63 \text{ mm}$)
Baik	0,55	0,60	0,65
Cukup	0,45	0,50	0,55
Buruk	0,35	0,40	0,45

f_{ce} = Kekuatan semen berdasarkan data dari pabrik semen yang dipakai atau informasi dari lembaga penelitian bahan.

C = berat semen/ m^3 beton

E = berat air/ m^3 beton

2. Menentukan berat semen dari grafik "Slump" dan C/E



Gambar 3.2 Kurva Fungsi C/E-SLUMP untuk penentuan jumlah semen/m³ beton

Grafik 3.2, tersebut berlaku untuk bahan butiran alam (pasir dan kerikil sungai), jika bahan butiran yang dipakai merupakan batu pecah, maka harga slumpnya harus dikurangi kira-kira 2 cm.

3. Menghitung berat air berdasar langkah (2),

$$\text{Berat air} = \frac{\text{berat semen}}{C/E} \quad (3.7)$$

Berat air tersebut diatas harus dikoreksi, besar koreksi disesuaikan dengan diameter maksimum yang digunakan. Hubungan koreksi air dan diameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.11.

Tabel 3.11 Koreksi kadar air E sebagai fungsi dari D

D, mm	5	10	16	25	40	63	100
Koreksi E 1%	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

4. Menentukan perbandingan antara butiran halus (pasir) dan butiran kasar (kerikil) atau batu pecah,

- a. Dengan membuat kurva patokan atau reference kurva. Kurva ini dibuat berdasarkan analisa saringan dengan sumbu ordinat merupakan prosentase lolos saring dan sumbu absisnya antara 0,1 – 0,5 mm. Secara umum bentuk kurva distribusi butiran pasir atau kerikil ini merupakan garis cembung (lihat grafik 3.2). Dilain pihak campuran merupakan gabungan dari pasir dan kerikil yang direncanakan harus mempunyai bentuk kurva cekung. Untuk keperluan itu harus

dicari kurva patokan, yaitu kurva yang sedapat mungkin harus didekati oleh granulometri gabungan. Kurva ini merupakan bilinear yang menghubungkan titik 0% pada diameter = 0,1 mm dan titik 100% pada diameter maksimum dengan titik patah A(X,Y). $X=0,5$ diameter untuk diameter maksimum ≤ 25 mm, X diambil titik tengah antara diameter = 5 mm dan diameter maksimal untuk diameter maksimum ≥ 25 mm

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s \quad (3.8)$$

Dimana :

D = Diameter maksimum butiran.

K = Angka koreksi yang tergantung dari jumlah semen per meter kubik, bentuk butiran dan cara pemadatan. Harga-harga ini dapat diambil dari tabel 3.12.

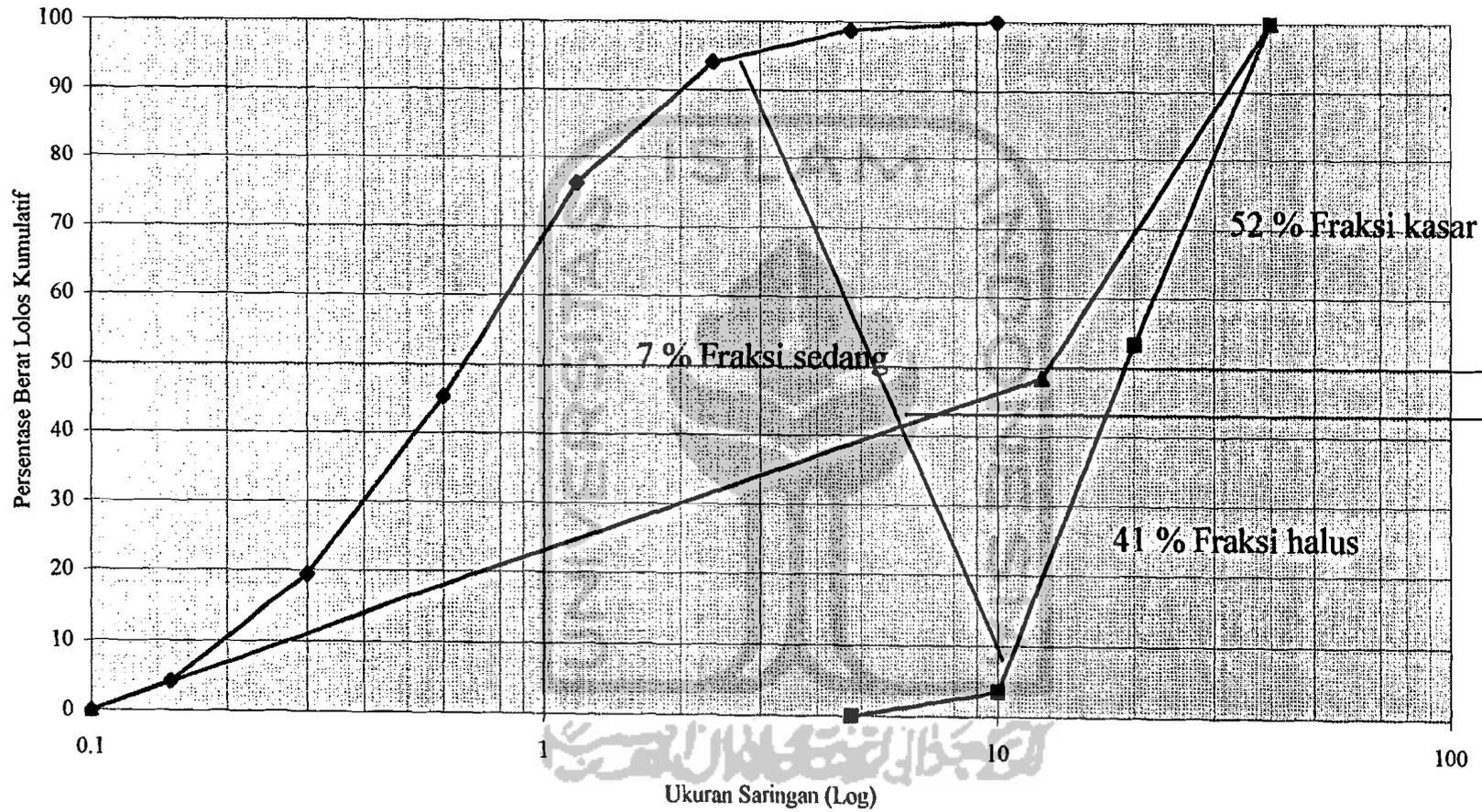
K_s = Angka koreksi jika modulus pasir M_{fs} tidak sama dengan 2,5. Jika modulus pasir M_{fs} tidak sama dengan 2,5 maka,

$$K_s = 6 M_{fs} - 15 \quad (3.9)$$

Tabel 3.12 Harga-harga K, Ks, Kp

Pemadatan		Lemah		Normal		Kuat	
Macam butiran		Alam	Pecah	Alam	Pecah	Alam	Pecah
Dosis	400+fluid	-2	0	-4	-2	-6	-4
semen	400	0	+2	-2	0	-4	-2
Kg/m ³	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+8	+8	+4	+8
Koreksi - Ks : Jika Mf tidak sama 2,5 $Ks = 6Mf-15$							
Koreksi - Kp : Untuk beton yang dipompa $Kp = +5a+10$							

- b. Menentukan persentase pasir dan batu pecah. Besar prosentase ini dapat diperoleh dengan menarik garis lurus yang menghubungkan titik 95% pada kurva pasir dan titik 5% pada kurva kerikil. Ordinat titik potong antara garis tersebut dengan patokan merupakan persentase pasir dari titik potong ini sampai 100% merupakan persentase kerikil.



Gambar 3.3 Kurva Granulometri Agregat

5. Menentukan proporsi agregat dan semen (volume absolut) tiap m^3 beton. Volume absolut ini tergantung kekompakan butiran (γ), yang dapat diambil dari tabel 3.4 yang tergantung pada diameter maksimum dan cara pemadatan. Volume absolut (semen, pasir, kerikil) tiap $m^3 = 1000 \times \gamma_{\text{terkoreksi}}$. Faktor koreksi tersebut adalah sebagai berikut :

- Untuk campuran pasir alam dan batu pecah, dikoreksi dengan 0,01.
- Untuk campuran pasir pecah dengan batu pecah, dikoreksi dengan 0,003.
- Untuk jumlah semen yang tidak sama dengan 350 Kg/ m^3 . Beton dikoreksi dengan $(C-350)/5000$, (C = berat semen tiap m^3 beton).
- Untuk bahan butiran ringan dikoreksi dengan $- 0,03$.

Tabel 3.12 Harga-harga koefisien kekompakan (γ)

Kekentalan beton	Cara pemadatan	Koefisien kekompakan (γ)						
		D=5	D=10	D=16	D=25	D=40	D=63	D=100
Lembek	Tusukan	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Pemadatan lemah	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Pemadatan normal	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastis	Tusukan	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Pemadatan lemah	0,765	0,795	0,820	0,825	0,830	0,830	0,835
	Pemadatan normal	0,770	0,800	0,815	0,820	0,825	0,835	0,840
	Pemadatan kuat	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Kental	Pemadatan lemah	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Pemadatan normal	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Pemadatan kuat	0,785	0,810	0,830	0,840	0,845	0,845	0,855

1) Harga-harga diatas berlaku untuk butiran alam. Jika tidak γ dikoreksi :

- $- 0,01$ untuk pasir alam + batu pecah

- b). – 0,03 untuk butiran dari batu pecah
- 2). Butiran ringan, dikurangi dengan 0,03
- 3). Untuk C tidak sama dengan 350 Kg/m^3 , koreksi dengan $(C-350)/5000$.

6. Menghitung volume semen, pasir dan kerikil.

Volume semen = Berat semen/ BJ semen

Volume agregat = 1000γ - volume semen

Volume pasir dan kerikil dapat dihitung berdasarkan persentase yang diperoleh dari langkah (5).

7. Menghitung berat masing-masing bahan untuk 1 m^3 beton.

Berat semen = Kg (dari langkah (2))

Berat air = Kg (dari langkah (3))

Berat kerikil = Volume x Berat jenis

Berat pasir = Volume x Berat jenis

3.3 Pengadukan Bahan Susun

Pengadukan adalah proses pencampuran bahan-bahan susun (semen, air, pasir, kerikil dengan atau tanpa bahan-tambah), sehingga diperoleh suatu adonan yang *plastis* dan homogen.

Komposisi masing-masing bahan susun dapat dalam perbandingan volume atau perbandingan berat. Untuk pekerjaan beton yang tidak menuntut persyaratan

khusus, dapat dipakai perbandingan volume. Sedang untuk beton dengan persyaratan tinggi, dipakai perbandingan berat.

Mekanisme pengadukan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Dibuat di proyek (*site mix*)

- a. Pengadukan dengan cangkul dan sekop, dilakukan dengan tenaga manusia, hanya untuk beton volume kecil.
- b. Pengadukan dengan molen, untuk mempercepat proses pencampuran dan meningkatkan efisiensi kerja. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemakaian molen :
 - Molen ditempatkan sedekat mungkin dengan tempat pencoran.
 - Urutan pemasukan bahan susun ke dalam drum aduk
 - Waktu pengadukan sekitar 1,5 – 3 menit
 - Banyaknya bahan yang dicampur disesuaikan kapasitas drum
 - Tenaga operator harus berpengalaman dan tetap.

2. Beton *Ready Mixed*

Dengan didirikannya pabrik-pabrik pembuat beton jadi (*Ready Mixed Concrete*), masyarakat konsumen di beberapa daerah tertentu, yang tidak mau repot, sudah dapat membeli beton jadi.

Membeli beton jadi juga merupakan alternatif yang efektif, bila kondisi proyek tidak memungkinkan untuk menimbun materail semen, pasir, kerikil (dalam volume besar).

Keuntungan beton jadi, umumnya mempunyai tingkat kualitas yang lebih terkontrol dan seragam.

Waktu untuk pengadukan sebetulnya tidak ada batasnya, hanya bila terlalu cepat akan diperoleh campuran yang belum homogen, sebaliknya bila terlalu lama, akan menghambat pekerjaan pencoran.

Untuk urutan pemasukan bahan dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

1. Dengan tenaga manusia

Pertama-tama semen dan air diaduk dulu hingga rata, kemudian pasir dituang ke dalamnya setelah itu terakhir dimasukkan kerikil.

2. Dengan molen

- a. Bahan yang dimasukkan pertama kali adalah kerikil, kemudian menyusul semen, pasir kemudian baru diberi air.
- b. Pertama kali dimasukkan sedikit air, kemudian kerikil, semen, pasir dan terakhir air lagi.
- c. Semen dan air dimasukkan menjadi satu kemudian menyusul pasir dan kerikil.

3.4 Pemadatan Beton

Adukan yang baru dicorkan tidak dapat begitu saja menjadi padat dengan sendirinya. Dari komposisi bahannya, beton segar yang dituang akan membentuk rongga-rongga yang akan terisi oleh udara. Untuk menjadikan masif dan mengeluarkan udara, maka perlu diberikan proses pemadatan sedemikian, sehingga rongga-rongga akan terisi penuh adukan dan sisa udara terjebak tinggal (kurang) 1%.

Tujuan pemadatan beton ialah untuk menghilangkan rongga-rongga udara dan untuk mencapai kepadatan yang maksimal. Pemadatan juga menjamin suatu perlekatan yang baik antara beton dengan permukaan baja tulangan atau sarana lain yang ikut di cor.

Jumlah udara terjebak tergantung dari workability, bila nilai slump 75 mm dapat mengandung udara 5%, sedang pada slump 25 mm udara terjebak dapat mencapai 20%, itulah sebabnya pada nilai slump rendah perlu usaha pemadatan yang lebih. Rongga udara mengurangi kekuatan beton, untuk 1% udara kekuatan beton menurun 5-6%.

Rongga udara akan menambah permeabilitas dan sifat porous, sehingga material lain di dalam beton tidak terlindung dengan baik. Beton yang dipadatkan dengan baik akan bersifat masif, kuat dan lebih awet. Beton tak dipadatkan/pemadatan kurang baik akan lemah, porous, permukaan kasar dan berlobang-lobang.

Hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan pemadatan :

1. Waktu pemadatan jangan terlalu cepat, tapi juga tidak boleh terlalu lama.
2. Pemadatan dengan mesin harus dilakukan oleh tenaga berpengalaman
3. Satu jam setelah pencoran, tidak boleh lagi ada pemadatan.

3.4.1 Pemadatan Dengan Tangan

Cara pemadatan biasa dengan tangan terdiri atas menusuk-nusuk adukan beton dengan alat yang tepat. Cetakan silinder diisi dengan beton sebanyak 1/3 bagian setelah itu ditusuk-tusuk dengan tongkat besi sebanyak 25 kali tusukan setelah itu

diisi kembali dengan adukan beton sebanyak $\frac{1}{3}$ bagian kemudian di padatkan dengan tongkat besi, terakhir cetakan beton diisi sampai penuh dan dipadatkan hingga cukup padat.

3.5 Perawatan Beton

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan pada perawatan beton. Adapun cara yang dapat dilakukan adalah :

1. Menaruh beton segar di dalam ruangan yang lembab.
2. Menaruh beton segar di dalam air.
3. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
4. Menggenangi permukaan beton dengan air.
5. Menyirami permukaan beton setiap saat secara terus-menerus.

3.6 Evaluasi Pekerjaan Beton

Kekuatan beton di lapangan mempunyai kecenderungan untuk bervariasi dari adukan ke adukan. Besar variasi itu tergantung pada berbagai faktor antara lain:

- a. Variasi mutu bahan (agregat) dari suatu adukan ke adukan lainnya.
- b. Variasi cara pengadukan.
- c. Stabilitas pekerja.

Atas adanya variasi kekuatan beton itu maka diperlukan pengawasan terhadap mutu (*quality control*) agar diperoleh kuat tekan beton yang hampir seragam dan memenuhi kuat tekan yang disyaratkan dalam Rencana Kerja dan Syarat (*bestek*).

Cara pengawasan mutu dilakukan dengan mengambil contoh adukan secara acak yang kemudian dibuat benda uji silinder dari beberapa adukan yang dibuat sehingga mencerminkan variasi mutu beton selama proses pembuatan beton berlangsung.

Setelah proporsi campuran bahan adukan beton ditetapkan, maka pekerjaan pembuatan beton di lapangan dapat dimulai. Pengawasan yang selanjutnya dilakukan ialah pengendalian mutu beton, yaitu menjaga agar beton yang dibuat di lapangan mempunyai kuat tekan sesuai yang diharapkan sebelumnya, yaitu mempunyai kuat tekan yang tidak kurang dari kuat tekan yang disyaratkan dalam Rencana Kerja Syarat.

Pengawasan mutu beton yang dilakukan di lapangan, dilakukan dengan cara membuat digram hasil uji kuat tekan beton dari benda-benda uji yang diambil selama pelaksanaan, sebagaimana tampak pada gambar 3.4 dan gambar 3.5, pengawasan mutu secara terus menerus selama pembuatan beton perlu dilakukan untuk mengetahui kuat tekan rata-rata dan besar variasi kuat tekan beton yang dibuat di lapangan secara lebih dini.

Dalam gambar 3.4 itu dilukiskan :

- a. Kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan, $f^{\prime}cr$
- b. Kuat tekan beton yang disyaratkan $f^{\prime}c$
- c. Delapan puluh lima persen kuat tekan beton yang disyaratkan, $0,85.f^{\prime}c$

Hasil uji (rata-rata dari dua silinder yang dibuat dari satu kali pengambilan contoh adukan) kuat tekan beton dari beton yang telah dibuat di lapangan kemudian diplotkan.

Dalam gambar 3.5 itu dilukiskan :

- a. kuat tekan beton yang disyaratkan ditambah 0,82 deviasi standar, $f'c + 0,82.s_d$
- b. kuat tekan beton yang disyaratkan, $f'c$

Nilai rata-rata dari 4 hasil uji kuat tekan beton kemudian diplotkan. Untuk memudahkan perhitungan maka dapat dibuat tabel seperti tabel 3.5.

Dengan mengamati dan mencermati hasil penggambaran diagram tersebut kemudian dapat diambil suatu perubahan proporsi campuran apabila hasilnya dianggap terlalu rendah atau terlalu tinggi dari pada kuat tekan yang diharapkan.

Pada perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton beton dinyatakan memenuhi syarat jika:

- a. Nilai rata-rata dari semua pasangan hasil uji (yang masing-masing pasangan terdiri dari empat hasil uji kuat tekan) tidak kurang dari $(f'c + 0,82 S_d)$.
- b. Tidak satupun dari hasil uji tekan (rata-rata dari dua silinder) kurang dari $0,85 f'c$.

Jika salah satu dari dua persyaratan tidak terpenuhi, maka untuk adukan berikutnya harus diambil langkah-langkah untuk meningkatkan kuat tekan rata-rata betonnya

Jika persyaratan kedua tidak terpenuhi maka selain memperbaiki adukan beton berikutnya harus pula diambil langkah-langkah untuk memastikan bahwa daya dukung struktur beton yang sudah dibuat tidak membahayakan terhadap beban yang ditahan.