

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Beton terdiri dari empat bahan pokok yaitu semen, air, agregat halus, agregat kasar, dan dapat juga ditambah dengan bahan tambah atau “additive” untuk tujuan tertentu.

##### **2.1.1 Semen Portland**

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan dan memanaskan bahan dengan suhu yang cukup tinggi dari bahan dasar yang berupa kapur, silikat, alumina dan besi oksida.

Sifat-sifat kimia dari bahan pembentuk ini mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan. Sebagai hasil perubahan susunan kimia yang terjadi, diperoleh susunan kimia yang kompleks. Walaupun demikian pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting pembentuk semen, yaitu:

1. Tricalcium Silikat (  $C_3S$  )
2. Dicalcium Silikat (  $C_2S$  )
3. Tricalcium Aluminat (  $C_3A$  )
4. Tetracalcium Aluminoferrite (  $C_4AF$  )

Kehalusan diwaktu menggiling dari bahan-bahan pembentuk juga mempengaruhi kualitas semen. Semakin halus penggilingan, semakin cepat ikatan yang terjadi dan juga mengurangi “bleeding” pada betonnya. Akan tetapi semakin cepat ikatan awal akan menyebabkan beton cenderung retak, akibat dari suhu yang tinggi selama proses kimia yang terjadi antara semen dan air. (Murdock, 1986)

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia ( PUBLI-1982 ) dibagi menjadi 5 jenis, yaitu:

1. Tipe I (“Normal Portland Cement”)

semen yang dipakai untuk penggunaan umum dan tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

2. Tipe II (“Modified Portland Cement”)

semen portland dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

3. Tipe III (“High Early Strength Portland Cement”)

semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.

4. Tipe IV (“Low Heat Portland Cement”)

semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.

### 5. Tipe V (“Sulfat Resisting Portland Cement”)

semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Adapun faktor-faktor yang berpengaruh dalam pengikatan semen adalah:

- a. Kehalusan semen, semakin halus butiran akan semakin cepat waktu pengikatan.
- b. Jumlah air, pengikatan semen akan makin cepat bila jumlah air berkurang.
- c. Temperatur, waktu pengikatan akan semakin cepat jika temperatur makin tinggi.
- d. Penambahan zat kimia.

#### 2.1.2 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 mudah dapat dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air dibutuhkan sekitar 30% berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 35%. Kelebihan air ini yang dipakai sebagai pelumas. Tetapi perlu dicatat bahwa tambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi rendah serta betonnya porous.

Selain itu kelebihan air akan bersama-sama dengan semen akan bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (“bleeding”) yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang dikenal dengan “laitance” (selaput tipis). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah.

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton, tetapi tidak berarti air pencampuran beton harus memenuhi standar persyaratan air minum. Secara umum, air yang dapat dipakai untuk bahan campuran beton ialah air yang apabila dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang memakai air suling.

Kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air yang digunakan mengandung kotoran. Pengaruh pada beton antara lain pada lamanya waktu ikatan awal adukan beton, serta kekuatan betonnya setelah mengeras. Adanya butiran melayang atau lumpur dalam air diatas 2 gram perliter dapat mengurangi kekuatan beton. Air yang berlumpur terlalu banyak dapat diendapkan dulu dalam kolam pengendap sebelum dipakai .Dalam pemakaian air untuk beton, sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garaman yang dapat merusak beton (asam, zat orgaik lainnya) lebih dari 15 gram/liter
3. Tidak mengandung klorida ( Cl ) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. 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 dapat merusak warna permukaan hingga tidak sedap dipandang. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

### **2.1.3 Agregat**

Umumnya kandungan agregat (kasar dan halus) meliputi 60% - 70% volume beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat, dimana agregat berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah diantara agregat berukuran besar. Penilaian agregat ditentukan oleh bentuk butir dan permukaan, kemulusan, kekerasan, kebersihan dan ukuran serta gradasinya.

Karena agregat merupakan bahan yang terbanyak di dalam beton, maka semakin banyak persentase agregat dalam campuran akan semakin murah harga beton, dengan syarat campurannya masih cukup mudah dikerjakan untuk elemen struktur yang memakai beton tersebut.

Dalam perancangan campuran beton, faktor kelembaban agregat memegang peranan yang cukup penting, dan hal ini berkaitan dengan fas yang terjadi. Kondisi kelembaban suatu agregat dapat dibagi antara lain sebagai berikut:

1. Kering oven (“oven dry”), kondisi ini biasanya dapat dicapai melalui proses pemanasan hingga agregat mencapai kekeringan total.
2. Kering udara (“air dry”), agregat masih mengandung air sebagian (tidak jenuh).
3. Jenuh kering permukaan (“saturated surface dry), agregat jenuh air tetapi permukaannya kering. Pada kondisi ini agregat tidak menyerap air dan juga tidak menambah kandungan air pada campuran yang ada. Keadaan ini disebut dengan SSD. Pada umumnya rancangan campuran didasarkan pada keadaan SSD.
4. Lembab/basah (“damp/wet”), pada kondisi ini agregat sudah melampaui keadaan jenuhnya, sehingga pada permukaan agregat kelihatan basah.

Yang sering dijumpai di lapangan adalah agregat yang kering udara atau yang lembab/basah, sehingga dalam melakukan rancangan campuran beton perlu diadakan koreksi terhadap agregat yang akan digunakan.

Secara umum agregat yang baik untuk pembuatan beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Harus bersifat kekal,
2. tidak mengandung lumpur lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar,
3. tidak mengandung bahan-bahan organis dan zat-zat yang reaktif alkali,
4. harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori,

Agregat terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. Agregat kasar (misalnya kerikil, batu pecah dan pecah-pecahan dari “balst-furnace”).
2. Agregat halus (misalnya pasir alami dan pasir buatan).

### 2.1.3.1 Agregat Halus ( Pasir )

Agregat halus merupakan pengisi diantara butiran-butiran agregat yang ukurannya bervariasi yaitu antara 0.15 mm sampai 5 mm. Ditinjau dari sifat ekonomis dan cara mendapatkan, pasir digolongkan sebagai berikut:

#### a. Pasir alam

Pasir ini terbentuk ketika batu-batu dibawa arus sungai dari sumber air ke muara sungai. Akibat tergulung dan terkikis (pelapukan/erosi) akhirnya membentuk butir-butir halus. Pasir alam dapat digolongkan menjadi 3 macam (Kardiono Tjokrodimulyo, 1993) yaitu:

#### 1. Pasir galian,

pasir ini langsung diperoleh dari permukaan tanah atau dengan cara menggali. Untuk pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam, tetapi kandungan lumpurnya cukup tinggi, sehingga harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

#### 2. Pasir sungai,

pasir ini diperoleh langsung dari dasar sungai, yang umumnya berbutir halus, bulat-bulat, akibat proses gesekan. Daya lekat antar butiran agak kurang karena bentuk pasir yang bulat.

### 3. Pasir laut,

pasir ini dapat diperoleh langsung dari pantai. Butir-butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang jelek, karena banyak mengandung garam. Garam-garam ini menyerap kandungan air dari udara dan mengakibatkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan. Oleh karena itu sebaiknya pasir laut jangan dipakai.

Pasir yang berasal dari sungai Progo dan sungai Krasak Yogyakarta, khususnya yang berasal dari tengah dan hilir dapat langsung digunakan sebagai bahan campuran pembentuk beton dengan mutu dibawah  $f'_c = 22.5$  MPa. Dari kedua asal pasir tersebut yang paling baik adalah pasir yang berasal dari sungai Krasak, ditinjau dari mutu beton yang dihasilkan. (Gunawan dan Bantah Chairullah, 1996).

#### b. Pasir buatan

Pasir buatan adalah pasir yang sengaja dibentuk sedemikian rupa sehingga memenuhi kriteria dan syarat-syarat yang telah ditentukan. Dari cara pembentukannya biasanya pasir buatan ini dapat dibedakan menjadi:

##### 1. Pasir dari pemecahan batu

Pemecahan dan penggilingan batuan kadang dipakai untuk menghasilkan macam-macam ukuran pasir. Pasir yang dihasilkan umumnya angular, sehingga menghasilkan beton yang kasar (“harsh”). Pasir dihancurkan di dalam “rod mill” atau “hammer mill”.

Diameter besar pasir pecah (“crushed sand”) yang kelebihan dibuang dengan ayakan no.8 (2.36 mm) dan dicuci untuk membuang butir yang lebih halus dari saringan no.100 (150  $\mu\text{m}$ ) atau saringan no.200 (75  $\mu\text{m}$ ). Kerugian dengan cara mencuci tanpa memakai saringan ialah ikut terbuangnya butir yang kasar lainnya. Dianjurkan jumlah butiran yang sering disebut lumpur dan tanah liat ini tidak lebih dari 15% beratnya (Murdock, 1986).

### 2. Pasir dari pecahan bata/ genting

Pecahan bata/ genting dari kualitas yang baik menjadikan agregatnya memenuhi syarat untuk beton, akan tetapi jika untuk beton bertulang sebaiknya kuat tekan batanya tidak kurang dari 30 Mpa. Bata harus bebas dari mortar dan kapur. Beton dengan pecahan bata/ genting ini tidak baik untuk beton kedap air. Ketahanan ausnya juga rendah sehingga tidak baik untuk lapis perkerasan jalan raya.

### 3. Pasir dari terak dingin

Terak dingin adalah hasil sampingan dari pembakaran bijih besi pada tanur tinggi, yang didinginkan pelan-pelan di udara terbuka. Pemilihan terak dingin secara cermat dapat menghasilkan beton yang baik, dan mungkin lebih baik dari beton yang menggunakan agregat alami biasa. Betonnya juga lebih tahan bakar, tetapi akan menyebabkan bajanya cepat berkarat karena kandungan belerang yang ada dalam teraknya.

### 2.1.3.2 Agregat kasar (kerikil/ Split)

Suatu agregat disebut agregat kasar apabila ukuran butirannya lebih besar dari 5 mm dan kurang dari 40 mm. Sifat agregat kasar dapat mempengaruhi akhir beton keras dan daya tahan terhadap efek-efek perusak. Agregat kasar ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen.

Jenis agregat kasar yang umum adalah: (Edward G. Nawy, 1990)

1. Batu pecah alami, didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini dapat berasal dari gunung berapi, jenis sedimen atau jenis metamorf. Meskipun dapat menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.
2. Kerikil alami, terjadi akibat proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah daripada batu pecah, tapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.
3. Agregat kasar buatan, terutama berupa "Slag" atau "Shale" yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain seperti dari "blast-furnace" dan lain-lain.
4. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat, sebagai pelindung dari radiasi nuklir dimana beton, yang menggunakan agregat jenis ini dapat melindungi dari sinar X, sinar gamma dan neutron. Pada beton

demikian syarat ekonomis dan kemudahan pengerjaan tidak begitu menentukan. Agregat kasar yang diklasifikasikan disini misalnya baja pecah, barit, magnetit, dan limonit.

## 2.2 Gradasi

Gradasi pasir pada prinsipnya hanya mempengaruhi kemudahan pengerjaan campuran adukan beton (Murdock, 1986). Menurut peraturan di Inggris (BS 882 : 1983) memberikan batas-batas susunan butir lengkap (“overall”) dan batas-batas tambahan untuk pasir kasar (C), sedang (M), dan halus (F), seperti pada tabel 2.1. Sedangkan peraturan sebelumnya (BS 882 : 1973) membagi pasir menjadi 4 kelompok menurut gradasinya yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar, seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 Gradasi pasir menurut British Standard (BS 882 : 1983)

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persentase berat lolos ayakan			
	Batas-batas lengkap	Batas tambahan untuk grading		
		C	M	F
9,5	100	-	-	-
4,75	89 - 100	-	-	-
2,36	60 - 100	60 - 100	65 - 100	80 - 100
1,18	30 - 100	30 - 90	45 - 100	70 - 100
0,60	15 - 100	15 - 54	25 - 80	55 - 100
0,30	5 - 70	5 - 40	5 - 48	5 - 70
0,15	0 - 15*	-	-	-

\*) Persen ini sebaiknya menjadi 20% untuk pasir hasil pemecahan batu

Tabel 2.2 Gradasi pasir menurut British Standard (BS 882 : 1973)

No	Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
1	9,5	100	100	100	100
2	4,75	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
3	2,36	60 - 95	75 - 100	84 - 100	95 - 100
4	1,18	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
5	0,60	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
6	0,30	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
7	0,15	0 - 10*	0 - 10*	0 - 10*	0 - 15*

\*) Persen ini sebaiknya menjadi 20% untuk pasir hasil pemecahan batu

Keterangan: Daerah I = Pasir kasar  
 Daerah II = Pasir agak kasar  
 Daerah III = Pasir agak halus  
 Daerah IV = Pasir Halus

Pada peraturan tersebut juga telah ditetapkan bahwa untuk campuran beton dengan diameter maksimum agregat sebesar 40 mm, 30 mm, 20 mm, 10 mm, gradasi agregatnya (campuran pasir dan kerikil) harus berada didalam batas-batas yang tertera pada tabel 2.3 sampai dengan tabel 2.6.

Tabel 2.3 Persen butiran lewat ayakan ( % )  
 Untuk agregat dengan butir maksimum 40 mm

No	Lubang (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
1	38,1	100	100	100	100
2	19,0	50	59	67	75
3	9,5	36	44	52	60
4	4,75	24	32	40	47
5	2,36	18	25	31	38
6	1,18	12	17	24	30
7	0,6	7	12	17	23
8	0,3	3	7	11	15
9	0,15	0	0	2	5

**Tabel 2.4 Persen butiran yang lewat ayakan ( % )  
Untuk agregat dengan butir maksimum 30 mm**

No	Lubang (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3
1	38,1	100	100	100
2	19,0	74	86	93
3	9,5	47	70	82
4	4,75	28	52	70
5	2,36	18	40	57
6	1,18	10	30	46
7	0,6	6	21	32
8	0,3	4	11	19
9	0,15	0	1	2

**Tabel 2.5 Persen butiran lewat ayakan ( % )  
Untuk agregat dengan butir maksimum 20 mm**

No	Lubang (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
1	19,0	100	100	100	100
2	9,5	45	55	65	75
3	4,75	30	35	42	48
4	2,36	23	28	35	42
5	1,18	16	21	28	34
6	0,6	9	14	21	27
7	0,3	2	3	5	12
8	0,15	0	0	0	2

**Tabel 2.6 Persen butiran lewat ayakan ( % )  
Untuk agregat dengan butir maksimum 10 mm**

No	Lubang (mm)	Kurva 1	Kurva 2	Kurva 3	Kurva 4
1	9,5	100	100	100	100
2	4,75	30	45	60	75
3	2,36	20	33	46	60
4	1,18	16	26	37	46
5	0,6	12	19	28	38
6	0,3	4	8	14	20
7	0,15	0	1	3	6

Dalam praktek diperlukan suatu campuran pasir dan kerikil dengan perbandingan tertentu agar gradasi campuran dapat masuk dalam kurva standar di atas.

Agregat kasar terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam yang berukuran besar, ada juga yang berukuran kecil. Gradasi yang baik yaitu butir-butir dari agregat kasar yang kecil menempeli rongga-rongga diantara rongga-rongga butir-butir besar. Sisa-sisa rongga mudah diisi pasir, sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh dan rapat serta pasta semen yang diperlukan tidak banyak. Gradasi harus bersandar pada standar yang telah diakui kebenarannya, misal standar analisa dari ASTM ("America Society of Testing Material"), standar Inggris ("British Standard"), dan lain sebagainya.

**Tabel 2.7 Gradasi kerikil menurut British Standard**

No	Lubang (mm)	Persen berat butir agregat yang lewat ayakan Besarnya maksimum		
		40 mm	20 mm	12,5 mm
1	40	95 - 100	100	100
2	20	30 - 70	90 - 100	100
3	12.5	-	-	90 - 100
4	10	10 - 35	25 - 55	40 - 85
5	4.8	0 - 5	0 - 10	0 - 10

### 2.3 Modulus Halus Butir

Dalam praktek, untuk mudahnya gradasi dinyatakan dengan suatu angka, yaitu modulus kehalusan ("fineness modulus"). Modulus halus butir (MHB) ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal diatas suatu set ayakan standar dibagi seratus. Susunan ayakan itu

adalah sebagai berikut : 3.81 mm; 19.0 mm; 9.5 mm; 4.75 mm; 2.36 mm; 1.18 mm; 600  $\mu\text{m}$ ; 300  $\mu\text{m}$ ; dan 150  $\mu\text{m}$ .

Makin besar nilai modulus halus butir menunjukkan bahwa makin besar butir-butiran agregatnya. Umumnya pasir mempunyai modulus halus butir antara 1.5 sampai 3.8 dan kerikil mempunyai modulus halus butir antara 5 sampai 8.

#### **2.4 Bentuk dan Tekstur Permukaan**

Seperti halnya pada agregat kasar, selain ukuran dan gradasi, bentuk dan tekstur permukaan pasir juga akan mempengaruhi beton yang dihasilkan. Ada bermacam-macam bentuk butir agregat, salah satu klasifikasinya adalah “angular”, “rounded” (bulat), “flanky” (pipih), “elongated” (memanjang) dan “flanky and elongated” (pipih dan memanjang). Secara umum yang baik untuk kelecakan adalah bentuk bulat, sedangkan untuk kekuatan yang tinggi adalah angular. Bentuk pipih dan memanjang kurang baik, karena sulit untuk dipadatkan.

Tekstur permukaan mempengaruhi beton dalam dua hal, pertama mempengaruhi lekatan pasta semen dan agregat, dan juga akan mempengaruhi kelecakan. Permukaan yang mengkilap lebih “workable” dari yang kasar, akan tetapi permukaan yang kasar menghasilkan kekuatan beton yang tinggi.

#### **2.5 Kuat Tekan Beton**

Pada dasarnya beton yang baik adalah beton yang mempunyai kuat tekan tinggi, kuat lekat tinggi, rapat air, susutnya kecil, tahan aus, tahan terhadap cuaca dan tahan terhadap zat-zat kimia yang akan merusak mutu beton. Apabila kuat

tekan tinggi, maka sifat-sifat yang lainnya cenderung baik, maka peninjauan secara kasar mutu beton biasanya hanya ditinjau pada kuat tekannya saja.

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor, selain perbandingan air semen dan tingkat pematatannya, faktor-faktor tersebut antara lain (Chu-Kia Wang dan Charlie G. Salmon, 1993):

1. Jenis semen dan kualitasnya

Jenis semen dan kualitasnya sangat mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.

2. Jenis dan bentuk bidang permukaan agregat

Pada kenyataannya penggunaan agregat dengan permukaan kasar akan menghasilkan beton dengan kuat tekan yang lebih besar dari pada penggunaan agregat kasar dengan permukaan halus.

3. Efisiensi Peralatan ("curing")

Kehilangan kekuatan sampai sekitar 40% dapat terjadi apabila pengeringan diadakan sebelum waktunya.

4. Faktor umur

Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah sesuai dengan umurnya. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun.

5. Mutu Agregat

Pada kenyataan kekuatan atau ketahanan aus (abrasi) agregat kasar, besar pengaruhnya terhadap kuat tekan beton.

Untuk mendapatkan kuat tekan beton karakteristik harus diperhatikan faktor bentuk dan umur benda uji. Oleh karena benda uji yang digunakan adalah kubus bersisi 15 cm, maka faktor bentuk adalah satu.

Tidak setiap benda uji dapat dipergunakan sebagai data penilaian mutu beton. Selanjutnya dalam penilaian (evaluasi) mutu beton harus didasarkan pada prinsip-prinsip probabilitas dan statistik sebagai mana yang ditentukan dalam peraturan yang berlaku.

Apabila sejumlah benda uji diperiksa kekuatannya maka hasilnya akan menyebar sekitar suatu nilai rata-rata tertentu. Penyebaran ini tergantung pada tingkat kesempurnaan dari pelaksanaannya. Ukuran dari besar kecilnya penyebaran disebut deviasi standar ( $S_d$ ).

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_c - f'_{cr})^2}{N - 1}} \quad (2.1)$$

$$f'_{cr} = \frac{\sum_{i=1}^n f_c}{N} \quad (2.2)$$

dimana:

- $S_d$  = Deviasi Standar (MPa)
- $f_c$  = Kuat tekan beton masing-masing benda uji (MPa)
- $f'_{cr}$  = Kuat tekan beton rata-rata (MPa)
- $N$  = Jumlah benda uji

Sedangkan untuk mendapatkan tegangan karakteristik beton:

$$f_c = f'_{cr} - 1,64 \cdot S_d \quad (2.3)$$

## 2.6 Ketentuan-Ketentuan Perencanaan

Penelitian ini mengacu pada ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. Peraturan Beton Bertulang Indonesia
2. SK-SNI-14-1989-F
3. "American Concrete Institute" (ACI)

### 2.6.1 Ketentuan menurut PBI 1971

Ketentuan-ketentuan peraturan beton bertulang Indonesia 1971 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Standar benda uji adalah kubus bersisi 15 cm. Untuk penentuan kuat tekan dengan benda uji lain yaitu dengan menggunakan silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm atau kubus bersisi 20 cm, maka perbandingan kekuatan tekan yang didapat dari benda uji tersebut dengan benda uji kubus bersisi 15 cm harus diambil menurut tabel 2.8.

**Tabel 2.8**  
Perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai benda uji

Benda Uji	Perbandingan Kuat Tekan
Kubus 15 x 15 x 15 cm	1,0
Kubus 20 x 20 x 20 cm	0,95
Silinder $\varnothing$ 15 x 30 cm	0,83

2. Untuk mutu beton  $f'_c = 17.5$  Mpa dan mutu-mutu beton yang lebih tinggi, harus dipakai campuran beton yang direncanakan
- 3a. Kekentalan (konsistensi) adukan beton harus disesuaikan dengan berbagai hal antara lain cara pampatan dan jenis konstruksinya

- b. Kekentalan adukan beton dapat diperiksa dengan pengujian slump.
  - c. Untuk mencegah adukan beton yang terlalu kental atau terlalu encer, dianjurkan untuk menggunakan nilai slump yang terletak di dalam batas-batas yang dinyatakan dalam tabel 2.12. Untuk maksud dan tujuan tertentu, maka dapat dipakai nilai slump yang menyimpang dari ketentuan jika dipenuhi hal-hal sebagai berikut:
    - ◆ Beton dapat dikerjakan dengan baik
    - ◆ Tidak terjadi pemisahan dari adukan
    - ◆ Mutu beton yang disyaratkan tetap terpenuhi
- 4a. Beton harus dicor sedekat-dekatnya ke tujuan yang terakhir untuk mencegah pemisahan bahan akibat pemindahan adukan kedalam cetakan.
  - b. Untuk mencegah timbulnya rongga-rongga kosong dan sarang kerikil, adukan beton harus dapat dipadatkan selama pengecoran. Pemadatan dapat dilakukan dengan jalan menumbuk-numbuk adukan atau memukul-mukul cetakan.
5. Rawatan beton untuk mencegah pengeringan bidang-bidang beton, selama paling sedikit dua minggu beton harus dibasahi terus menerus, antara lain dengan menutupinya dengan karung-karung basah, atau dapat juga dengan merendamnya dalam air

### **2.6.2 Ketentuan menurut SK SNI M-14-1989-F**

Ketentuan ini merupakan penyempurnaan dari ketentuan PBI 1971. Ketentuan menurut SK SNI M-14-1989-F yang dipakai sebagai acuan yaitu Bab II pasal 2 (5) yaitu:

1. Untuk benda uji yang berbentuk kubus bersisi 15 cm, cetakan diisi dengan adukan beton dalam 3 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 32 kali tusukan.
2. Bila tidak ada ketentuan lain, konversi kuat tekan dari bentuk kubus kebentuk silinder, mengikuti ketentuan dalam PBI 1971.
3. Hasil pemeriksaan diambil minimum 2 buah benda uji.

### **2.6.3 Ketentuan menurut ACI**

Penelitian ini menggunakan peraturan ACI sebagai perancangan dasar campuran. ACI menyarankan suatu cara perancangan campuran yang memperhatikan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, pengerjaan, keawetan serta kekuatan yang diinginkan. Cara ini melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik adukan menentukan tingkat konsistensi adukan itu. Secara garis besar langkah perancangan menurut ACI adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kuat tekan rata-rata beton atau menentukan kuat tekan beton yang akan digunakan. Nilai deviasi standar ditentukan berdasarkan tingkat pengawasan terhadap mutu beton, seperti yang terlihat pada tabel 2.9.

**Tabel 2.9 Pelaksanaan diukur dengan deviasi standar**

Volume pekerjaan ( M3)	Mutu pekerjaan		
	Baik sekali	Baik	Cukup
• Kecil < 1000	$45 < S \leq 55$	$55 < S \leq 65$	$65 < S \leq 85$
• Sedang 1000 s/d 3000	$35 < S \leq 45$	$45 < S \leq 55$	$55 < S \leq 75$
• Besar > 3000	$25 < S \leq 35$	$35 < S \leq 45$	$45 < S \leq 65$

2. Menetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki seperti pada tabel 2.10 dan keawetannya berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungannya seperti pada tabel 2.10. Dari kedua hasil tersebut dipilih yang paling rendah.

**Tabel 2.10 Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder pada umur 28 hari**

Faktor air semen	Perkiraan kuat tekan
0.35	42
0.44	35
0.53	28
0.62	22.4
0.71	17.5
0.80	14

**Tabel 2.11 Hubungan keadaan lingkungan dan faktor air semen maksimum**

Keadaan lingkungan	Fas
Beton di dalam ruang bangunan	
• Keadaan keliling non korosif	0.60
• Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0.52
Beton di luar ruang bangunan	
• Tidak terlindung dari hujan dan sinar matahari	0,60
• Terlindung dari hujan dan sinar matahari	0,60
Beton masuk kedalam tanah	
• Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0.55
• Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0.52
Beton yang kontinyu berhubungan dengn air	
• Air tawar	0.57
• Air laut	0.52

3. Berdasarkan jenis strukturnya, tetapkan nilai slump dan ukuran maksimum agregatnya berdasarkan jenis strukturnya (lihat tabel 2.12 dan tabel 2.13)

**Tabel 2.12 Nilai slump (cm) untuk macam bentuk konstruksi**

Pemakaian beton	Mak	Min
• Dinding, pelat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
• Fondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan struktur bawah tanah	9,0	2,5
• pelat, balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
• Pengerasan jalan	7,5	5,0
• Pembetonan masal	7,5	2,5

**Tabel 2.13 Ukuran maksimum agregat**

Dimensi minimum (mm)	Balok/kolom	Pelat
62,5	12,5	20
150	40	40
300	40	80
750	80	80

4. Menetapkan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang diinginkan (lihat tabel 2.14)

**Tabel 2.14 Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump dan ukuran maksimum agregat**

Slump (mm)	ukuran maksimum agregat (mm)		
	10	20	40
25 - 50	206	182	162
75 - 100	226	203	177
150 - 175	240	212	188
Udara terperangkap	3%	2%	1%

5. Menghitung jumlah semen yang diperlukan berdasarkan hasil langkah pada butir 2 dan butir 4 diatas

6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per-satuan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus kehalusan agregat halusnya (lihat tabel 2.15)

**Tabel 2.15** Perkiraan kebutuhan agregat kasar per-meter kubik beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasirnya ( $M^3$ )

Ukuran maks agregat (mm)	Modulus halus butir pasir			
	2.4	2.6	2.8	3.0
10	0.46	0.44	0.42	0.40
20	0.65	0.63	0.61	0.59
40	0.76	0.74	0.72	0.70
80	0.84	0.82	0.80	0.78
150	0.90	0.88	0.86	0.84

7. Menghitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, semen, dan agregat kasar yang diperlukan, serta udara yang terperangkap dalam adukan dengan hitungan volume absolut

### 2.7 Metode Perawatan Benda Uji

Untuk memperoleh hasil pengujian yang diharapkan, maka setelah beton dikeluarkan dari cetakan kubus harus segera dilakukan perawatan dengan menggunakan salah satu metode berikut ini:

1. Beton dibasahi terus menerus dengan air
2. Beton direndam dalam air dengan keadaan lingkungan bersuhu  $23^{\circ}$ - $27^{\circ}$  Celcius.
3. Beton dilindungi dengan karung basah, plastik film, atau kertas perawatan tahan air.

Sehari sebelum pengujian beton tersebut diangkat dari dalam air dan ditiriskan.

## 2.8 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan dipengaruhi oleh kuat ikat pasta semen, homogenitas campuran, perbandingan campuran dan kepadatan beton. Kuat ikat pasta semen ditentukan oleh mutu bahan ikat dan kualitas air. Dengan digunakannya mutu bahan ikat yang tinggi dan kualitas air yang memenuhi syarat, maka akan dihasilkan beton dengan kuat tekan yang tinggi.

Homogenitas campuran dalam adukan beton yaitu saling mengisi antara bahan-bahan pembentuk beton secara merata, sehingga diperoleh adukan yang merata dan tidak terjadi pengelompokan bahan pembentuk beton yang mengakibatkan rongga-rongga.

Perbandingan jumlah bahan pembentuk beton secara proporsional, dapat menghasilkan beton yang lebih padat dan homogen, yaitu apabila bahan-bahan tersebut saling mengisi.

Kepadatan beton dapat dipengaruhi oleh penggunaan jumlah bahan pembentuk beton secara proporsional dan pengadukan yang merata, sehingga terbentuk campuran yang baik dan homogen. Semakin padat semakin sedikit rongga yang terbentuk, sehingga kuat tekan semakin tinggi

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan cara membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan dari bagian yang ditekan. Secara matematis dapat

ditulis sebagai berikut:  $\sigma'_b = \frac{P}{A}$