

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Umum**

Karakteristik dari beton perlu dipertimbangkan dalam hubungannya dengan kualitas yang dituntut untuk suatu tujuan konstruksi tertentu. Kuat desak beton dipengaruhi oleh jenis dan kualitas semen, bentuk dan tekstur permukaan agregat, bahan campuran, perawatan, suhu, umur beton.

Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan yang bukan air, agregat, maupun semen, yang ditambahkan kedalam campuran beton sesaat atau selama pencampuran. Fungsi bahan campuran tambahan tersebut adalah untuk mengubah sifat-sifat beton segar agar menjadi cocok untuk pekerjaan tertentu, atau ekonomis, atau untuk tujuan lain seperti menghemat energi. Bahan tambah ditambahkan kedalam campuran beton untuk mengurangi waktu dan mempercepat pencapaian kekuatan (Nawy, 1990).

Bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) adalah bahan tambah yang dicampurkan kedalam adukan beton dengan maksud agar diperoleh sifat-sifat yang sedikit berbeda pada beton segar atau beton yang dihasilkan, sehingga contoh sifat pengerjaan yang lebih mudah, sifat pengikatan yang lebih cepat, laju kenaikan kekuatan yang lebih cepat. Sebelum bahan kimia tambahan dipakai, sebaiknya dibuktikan dulu dengan percobaan laboratorium untuk memastikan manfaat dari bahan tambah tersebut.

## 3.2 Beton

Beton adalah suatu bahan elemen struktur yang memiliki suatu karakteristik yang spesifik yang terdiri dari beberapa bahan penyusun sebagai berikut.

### 3.2.1 Semen Portland

Semen Portland merupakan semen hidrolis berbentuk serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang mengandung kapur, silica, alumina dan kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah yang dibakar dengan suhu 1550 °C.

Nama *Portland Cement* diusulkan oleh Joseph Asphin pada tahun 1842. Nama itu diusulkan karena berbentuk bubuk yang dicampur dengan air, pasir dan batu-batuan yang ada di pulau Portland, Inggris. Pertama kali semen portland diproduksi (dengan pabrik) di Amerika Serikat oleh David saylor di kota Coplay, Pennsylvania, pada tahun 1875.

Semen portland sebagai penyusun beton mempunyai sifat sebagai berikut ini,

#### 1. Susunan kimia

Ketika semen dicampur dengan air, timbul reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen dengan air. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan terjadinya proses ikatan dan pengerasan. Ada empat oksida utama pada semen yang akan membentuk senyawa-senyawa kimia yaitu, sebagai berikut.

##### a. Trikalsium silikat, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3S)

Sifatnya hampir sama dengan sifat semen umumnya yaitu apabila ditambah dengan air senyawa ini akan mengeras dalam beberapa jam, dengan melepas panas.

b. Dikalsium silikat,  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\text{C}_2\text{S}$ )

Senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, yang terjadi dari 14 sampai 28 hari dan seterusnya. Proporsi yang banyak dalam semen akan menyebabkan semen mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap agresi kimia yang relative tinggi dan penyusutan kering yang relative rendah.

c. Trikalsium Aluminat,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_3\text{A}$ )

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai dengan pelepasan panas yang besar, menyebabkan pengereasan awal tetapi kurang kontribusinya pada kekuatan batas, kurang ketahanan terhadap agresi kimiawi, paling menonjol mengalami disintegrasi oleh sulfat air tanah dan sangat besar untuk retak oleh perubahan volume.

d. Tetrakalsium Aluminoferrit,  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_4\text{AF}$ )

Senyawa ini tidak tampak berpengaruh terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen keras lain.

Unsur-unsur utama penyusun semen dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2

**Tabel 3.1** Unsur-unsur utama penyusun semen (Kardiyono, 1992)

Nama Unsur	Simbol	komposisi Kimia	Kandungan (%)
Trikalsium Silikat	$\text{C}_3\text{S}$	$3 \text{CaO SiO}_2$	50
Dikalsium Silikat	$\text{C}_2\text{S}$	$2 \text{CaO SiO}_2$	25
Trikalsium Aluminat	$\text{C}_3\text{A}$	$3 \text{CaO Al}_2\text{O}_3$	12
Tetrakalsium Aluminoferrite	$\text{C}_4\text{AF}$	$4 \text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_3\text{O}_3$	8

**Tabel 3.2** Prosentasi komposisi unsur kimia semen *portland*  
(Neville dan Brook, 1986)

Unsur	Kandungan (%)
CaO	63
SiO <sub>2</sub>	20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3
NgO	1.5
SO <sub>3</sub>	2
K <sub>2</sub> O	1
Na <sub>2</sub> O	1

## 2. Kekuatan pasta semen dan faktor air semen

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya kira-kira 25% dari berat semen, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Air yang berlebihan memang akan memudahkan dalam pencampuran beton, akan tetapi hendaknya selalu diusahakan jumlah air sedikit mungkin agar kekuatan beton tidak terlalu rendah.

## 3. Sifat fisik semen

Sifat fisik semen antara lain kehalusan butiran, waktu ikat dan berat jenis semen, kehalusan butiran semen akan meningkatkan daya kohesi dan mengurangi *bleeding* pada beton segar, tetapi akan mempunyai sifat susut yang lebih besar dan retak mudah terjadi. Waktu ikat semen dan air dipengaruhi oleh jumlah air, kehalusan semen, temperatur dan penambahan zat kimia tertentu. Waktu ikat berguna sebagai pertimbangan waktu pengangkatan, penuangan, pemadatan dan

perataan muka.

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen Portland di Indonesia menurut PUBLI 1982, dibagi menjadi 5 jenis, yaitu sebagai berikut.

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

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

Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.

Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah.

Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

### 3.2.2 Agregat

Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mirtar beton. Agregat ini biasanya menempati sekitar 75% dari total beton. Agregat halus atau pasir yang digunakan berupa pasir alam dengan ukuran kurang dari 5 mm. Agregat kasar sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan alam atau berupa batu pecah dengan ukuran 5-40 mm. Agregat kasar ini dapat berasal dari alam atau dari mesin pemecah batu yang telah disaring dengan ukuran tertentu.

### 3.2.3 Air

Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar lebih mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk

mengadakan reaksi hidrasi dengan semen diperlukan sedikitnya 20-30% jumlah air dari berat semen.

Menurut SKBI 1989, air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam, zat organik atau bahan lain yang dapat merusak beton.

### 3.3 Limbah Katalis

Secara umum, katalis didefinisikan sebagai zat yang dapat mempercepat laju reaksi tanpa dikonsumsi selama reaksi. Katalis dapat memperbesar laju reaksi karena dapat menghasilkan mekanisme baru yang mempunyai energi aktivasi yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis.

Limbah katalis ini digunakan pada suatu kilang minyak yang dilengkapi RCC sebagai suatu bahan untuk mengarahkan dan mempercepat laju reaksi produk utama yang diinginkan seperti : LPG (*Elpiji*), Propylene, Polygasoline, Naptha, LCD (bahan dasar diesel) dan *Decant Oil* (bahan dasar *fuel oil*).

Adapun rumus yang menyusun limbah katalis adalah sebagai berikut :  $\text{NaAlSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  dengan struktur reguler, yang merupakan hasil proses dari RCC. Limbah katalis yang digunakan pada RCC ini adalah jenis yang mengandung unsur-unsur Oksida silika dan Alumina. Selain didalamnya juga mengandung unsur-unsur kecil lainnya seperti : Sodium, Calcium, Magnesium dan *Rare earth family* (*lanthanum, cerium*). Sebagian unsur-unsur penyusun dari Zeolit kristalin merupakan sebagai bahan dasar bangunan (semen), seperti : Alumina, Silika dan Kalsium.

Dengan adanya kesamaan antara unsur-unsur penyusun limbah katalis hasil penyulingan minyak bumi dengan unsur-unsur penyusun semen, sehingga limbah

katalis hasil penyulingan minyak bumi dapat digunakan sebagai bahan campuran pengganti sebagian semen. Dengan penggunaan limbah katalis hasil penyulingan minyak bumi ini diharapkan dapat menghemat penggunaan semen dan menambah kekuatan desak beton.

Hasil pengukuran komposisi limbah katalis dapat dilihat pada tabel 3.3

**Tabel 3.3** Hasil pengukuran komposisi kimia *spent* dan *fresh catalyst* pada tahun 2000 di PT. Pertamina (Pertamina, Lembaga Penelitian UNPAD)

Parameter	Satuan	Limit Deteksi	<i>Fresh Catalyst</i>	<i>Spent Catalyst (Duplicate)</i>	<i>Spent Catalyst</i>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	%	<b>N/A</b>	<b>37,31</b>	<b>48,46</b>	<b>47,12</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	%	<b>N/A</b>	<b>40,49</b>	<b>44,20</b>	<b>45,34</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	%	<b>0,03</b>	<b>0,70</b>	<b>0,90</b>	<b>0,60</b>
TiO <sub>2</sub>	%	N/A	0,70	0,77	0,70
K <sub>2</sub> O	%	0,01	0,08	0,17	0,14
Na <sub>2</sub> O	%	0,002	0,05	0,09	0,45
<b>CaO</b>	%	<b>0,01</b>	<b>0,16</b>	<b>tt</b>	<b>0,16</b>
MgO	%	0,001	tt	tt	0,26
As*	Mg/kg	0,002	tt	tt	0,005
Ba	Mg/kg	0,1	tt	tt	tt
B	Mg/kg	1	N/A	N/A	N/A
Cd	Mg/kg	0,005	4,00	4,00	4,50
<b>Cr</b>	<b>Mg/kg</b>	<b>0,05</b>	<b>17,10</b>	<b>17,10</b>	<b>165,50</b>
<b>Cu</b>	<b>Mg/kg</b>	<b>0,02</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>	<b>21,00</b>
<b>Pb</b>	<b>Mg/kg</b>	<b>0,1</b>	<b>53,00</b>	<b>53,00</b>	<b>67,50</b>
Hg**	Mg/kg	0,0002	tt	tt	tt
Se*	Mg/kg	0,002	tt	tt	tt
<b>Zn</b>	<b>Mg/kg</b>	<b>0,005</b>	<b>76,00</b>	<b>76,00</b>	<b>105,00</b>
<b>Ni</b>	<b>Mg/kg</b>	<b>0,04</b>	<b>48,00</b>	<b>48,00</b>	<b>14,760</b>
V	Mg/kg	0,2	50,00	50,00	437,50
Ag	Mg/kg	0,01	3,00	3,00	2,50
Co	Mg/kg	0,01	36,00	36,00	358,50
Mn	Mg/kg	0,01	16,00	16,00	27,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	N/A	0,23	0,14	0,23
SO <sub>3</sub>	%	N/A	0,20	0,04	0,04
H <sub>2</sub> O	%	N/A	6,61	3,08	0,56
LOI	%	N/A	20,25	4,70	4,29

Keterangan : \* = Metoda Gas Hybrida (*Gas Hybride Method*)

\*\* = Teknik Uap Dingin (*Cold Vapour Technique*)

N/A = Data tidak Tersedia

Limbah katalis hasil penyulingan minyak bumi ini berupa bubuk kimia dan seluruh unsur yang membentuknya merupakan unsur pembentuk semen, sehingga dapat dikatakan sebagai bahan pengganti semen.

Hingga saat ini telah dilakukan beberap penelitian tentang limbah katalis, diantaranya :

1. Menurut penelitian yang dilakukan di Amerika maupun di Australia, (Majalah Konstruksi, No : 253 – Juni, 1997) limbah katalis yang dihasilkan RCC, tidak dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Oleh karena limbah katalis tidak berbahaya dan cukup aman, maka dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton ataupun keramik.
2. Menurut penelitian yang dilakukan di Amerika maupun di Australia, (Majalah Konstruksi, No : 253 – Juni, 1997) limbah katalis yang dihasilkan RCC, tidak dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Dari hasil pengukuran pH menunjukkan bahwa katalis bekas dalam  $\text{CaCl}_2$  hanya sebesar 3,96 – 4,80 sehingga tidak bersifat korosif.
3. Menurut hasil analisa TCLP (*Toxicity Charasteristic Leaching Procedure*), limbah katalis memiliki logam dibawah baku mutu yang ditetapkan, sehingga lebih aman untuk lingkungan. Berdasarkan hal tersebut katalis bekas tidak dapat digolongkan dalam limbah B3. Karena tidak memenuhi karekteristik penggolongan secara kimia.

Oleh karena limbah katalis tidak berbahaya dan cukup aman, maka dapat digunakan sebagai campuran untuk memproduksi bahan bangunan maupun produk-produk keramik.

### 3.4 Metode Perencanaan Adukan Beton

Pada penelitian ini digunakan metode ACI (*American Concrete Institute*) sebagai metode perancangan campuran beton. Metoda ini digunakan karena menyarankan suatu cara perancangan campuran yang memperlihatkan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, kemudahan pekerjaan, keawetan serta kekuatan yang diinginkan. Cara ACI ini melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik adukan beton menentukan tingkat konsistensi/kekentalan (*slump*) adukan beton.

Secara garis besar tahap perhitungan perancangan campuran beton berdasarkan metode ACI adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan kuat desak beton.

Perhitungan kuat desak beton rata-rata memiliki syarat terhadap nilai margin akibat pengawasan dan jumlah sample yang ditambahkan pada penjumlahan kuat desak rencana beton sesuai dengan rumus sebagai berikut :

$$f_{cr} = f_c + k.sd \quad (3.1)$$

Dengan :  $f_{cr}$  = kuat desak rata-rata beton ( $\text{kg/cm}^3$ )

$f_c$  = kuat desak rencana beton ( $\text{kg/cm}^3$ )

$k$  = tetapan statis. Untuk Indonesia memakai 5% kegagalan faktor  $k = 1,64$

$sd$  = standar deviasi berdasarkan tabel 3.4 dengan angka konversi berdasarkan table 3.5.

**Tabel 3.4** Nilai deviasi standar ( $\text{kg/cm}^2$ ) (Kardiyono)

Volume Pekerjaan ( $\text{m}^3$ )	Mutu Pekerjaan		
	Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil < 1000	$45 < sd < 55$	$55 < sd < 65$	$65 < sd < 85$
Sedang 1000-3000	$35 < sd < 45$	$45 < sd < 55$	$55 < sd < 75$
Besar > 3000	$25 < sd < 45$	$35 < sd < 45$	$45 < sd < 65$

**Tabel 3.5** Faktor modifikasi simpangan baku (Kardiyono, 1992)

Jumlah Sampel	Faktor Pengali Standar Deviasi
$\geq 30$	1,00
25	1,03
20	1,08
$\leq 15$	1,16

2. Menentukan faktor air semen (fas).

Faktor air semen ditentukan dari nilai terendah antara pengaruh kuat desak rata-rata (table 3.6) dan pengaruh keawetan elemen struktur terhadap kondisi lingkungan (table 3.7) sebagai berikut.

**Tabel 3.6** Hubungan faktor air semen dengan kuat desak (Kardiyono, 1992)

Faktor air semen (fas)	Perkiraan kuat desak (Mpa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

**Tabel 3.7** FAS berdasarkan pengaruh tempat elemen (Kardiyono, 1992)

Kondisi Elemen	Nilai FAS
1) Beton dalam ruanagan bangunan :	
a. Keadaan keliling korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, atau disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
2) Beton diluar bangunan	
a. Tidak terlindungan dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
3) Beton yang masuk kedalam tanah	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
4) Beton yang kontinyu berhubungan dengan	
a. Air tawar	0,57
b. Air laut	0,52

3. Menentukan besarnya nilai slump.

Nilai slump ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat dan penggunaan elemen struktur (tabel 3.8).

**Tabel 3.8** Nilai slump berdasarkan penggunaan jenis elemen  
(Kardiyono, 1992)

Pemakaian beton	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat fondasi dan fondasi bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, dan struktur bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,5	2,5

4. Menetapkan jumlah air yang dibutuhkan.

Jumlah kebutuhan air dalam setiap 1 m<sup>3</sup> campuran adukan beton dapat ditentukan berdasarkan diameter maksimum agregat dan nilai slump, seperti pada table 3.9 sebagai berikut.

**Tabel 3.9** Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai slump (Kardiyono, 1992)

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 kebutuhan semen.

Menghitung kebutuhan semen berdasarkan hasil penentuan langkah ke dua (didapat dari nilai fas) dan ke empat (didapat jumlah air) dengan membagi rasio kebutuhan air dengan fas.

$$\text{fas} = \frac{W_{\text{air}}}{W_{\text{semen}}} \quad ; \quad W_{\text{semen}} = \frac{W_{\text{air}}}{\text{fas}} \quad (3.2)$$

6. Menetapkan volume agregat kasar.

Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan persatuan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum dari agregat dan nilai modulus halus agregat halusnya (lihat table 3.10).

**Tabel 3.10** Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasir (m<sup>3</sup>).  
(Kardiyono, 1992)

Ukuran maksimum agregat, mm	Modulus halus 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	0,98	0,88	0,86	0,84

7. Menghitung agregat halus yang diperlukan.

Perhitungan volume agregat halus didasarkan pada pengurangan volume absolut

terhadap volume agregat kasar, volume semen, volume air, serta persentase udara yang tertangkap dalam adukan.

### 3.5 Kuat Desak

Kuat desak adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu.

Perhitungan kekuatan desak dengan memakai rumus :

$$\sigma'c = \frac{P}{A} \quad (3.3)$$

dengan :

$\sigma'c$  = tegangan kuat desak

P = beban maksimum yang diterima benda uji (kg)

A = luas permukaan benda uji yang menerima beban langsung (cm<sup>2</sup>)

Kuat desak beton sangat dipengaruhi oleh beberapa factor, selain perbandingan semen dan tingkat pematatannya. Faktor-faktor itu antara lain (Murdock dan Brook, 1986) :

1. jenis semen dan kualitasnya yang mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton,
2. jenis dan bentuk bidang permukaan agregat, agregat yang mempunyai permukaan yang kasar akan menghasilkan beton dengan kekuatan yang leboh baik daripada agregat yang permukaannya halus,
3. efisiensi dan perawatan, dimana diketahui pengeringan dan perawatan beton yang dihentikan sebelum waktunya akan menyebabkan beton kehilangan

kekuatan sampai dengan 40%, sehingga perawatan beton merupakan hal yang sangat penting pada pengerjaan lapangan dari pembuatan benda uji,

4. faktor usia, pada keadaan normal, kekuatan beton bertambah sesuai dengan umurnya, tetapi penambahan kekuatan yang sangat nampak perkembangannya adalah pada rentang 0-28 hari. Pengerasan akan berlangsung secara lambat sampai beberapa tahun.

