

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Umum

Salah satu material bangunan yang banyak digunakan untuk struktur teknik sipil adalah beton. Beton didapat dari campuran semen portland, air, agregat pada perbandingan tertentu. Sifat-sifat beton tergantung pada sifat-sifat bahan penyusunnya, nilai perbandingan bahan-bahan penyusun, cara pengadukan, penuangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasannya. Sejalan dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat, diupayakan oleh para ahli untuk meningkatkan sifat-sifat beton antara lain *workability*, *placeability*, *strength*, *durability*, *permeability*, *corrosivity* dan lain-lain.

Pada tahun 70-an beton mutu tinggi mulai diproduksi sebagai bahan konstruksi dan digunakan di beberapa negara. Cara yang ditempuh untuk mendapatkan beton mutu tinggi adalah dengan memperbaiki mutu material pembentuk beton yaitu agregat halus (bentuk, tekstur, modulus kehalusan, kebersihan, gradasi) dan agregat kasar (bentuk, ukuran maksimum, kebersihan, kuat hancur, gradasi) dan semen (kekuatan, kehalusan butir). Selain itu perlu diperhatikan perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton, sehingga diperlukan ketelitian untuk menentukan komposisi bahan penyusun beton. Hal itu karena beton mutu tinggi membutuhkan perbandingan air dan bahan ikat yang

kecil yaitu antara 3,0-0,4. Selain itu produksi beton mutu tinggi biasanya menggunakan bahan-tambah untuk mencapai kuat desak yang diinginkan yaitu *silica fume* dan *fly ash*. Sedangkan untuk mempertahankan kemudahan pengerjaan akibat kecilnya rasio air dan bahan ikat yang rendah digunakan *superplasticizer*.

### 3.2 Bahan Penyusun Beton

#### 3.2.1 Semen Portland

Semen Portland adalah bahan berupa bubuk halus yang mengandung kapur ( $\text{CaO}$ ), silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan oksida besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Komponen terbesar dari penyusun semen adalah kapur (60-65%). Semen portland dibuat dengan membakar bahan dasar semen dengan suhu  $1550^\circ\text{C}$  dan menjadi klinker. Kemudian klinker tersebut digiling halus menjadi semen dan ditambahkan gypsum. Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat.

Susunan kimia semen meliputi :  $3\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$  disingkat  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  disingkat  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  disingkat  $\text{C}_3\text{A}$ , dan  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  disingkat  $\text{C}_4\text{AF}$ . (Harold N. Atkins) Semen portland dibedakan menjadi 5 menurut jenisnya, yaitu :

1. Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus,
2. Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang,

3. Jenis III : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi,
4. Jenis IV : Semen portland dengan panas hidrasi rendah,
5. Jenis V : Semen portland dengan ketahanan sulfat sangat tinggi,

Semen Portland adalah semen hidrolik yang akan mengeras bila dicampur air yang disebut proses hidrasi. Pada saat semen portland dicampur dengan sejumlah air, partikel semen akan berubah menjadi pasta semen dalam bentuk cair untuk periode waktu tertentu disebut *dormant period*. Setelah 2 atau 3 jam, pada kondisi normal, pasta semen akan menjadi kaku, dan sedikit demi sedikit akan hilang sifat plastisnya sampai pasta semen bersifat getas. Proses ini disebut *setting*, setelah ini semen akan mengalami periode pengerasan atau *hardening*. Reaksi hidrasi ini melepaskan sejumlah panas yang disebut panas hidrasi. Hasil dari hidrasi ini adalah suatu struktur padat berpori yang disebut gel semen yang terdiri dari silikat hidrat (CSH) dan kalsium hidrat ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (Sandor Popovics, 1998).

### 3.2.2 Agregat

Agregat ialah butiran partikel mineral yang digunakan bersama-sama semen untuk membentuk beton. Karena menempati sebanyak kurang lebih 70 % volume beton, maka pemilihan agregat sangat penting dalam pembuatan beton. Agregat dibedakan menurut ukurannya sebagai agregat halus dan agregat kasar berikut ini :

### 1. Agregat halus

Agregat yang berukuran lebih kecil dari 4,8 mm, sering disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu.

### 2. Agregat kasar

Agregat yang berukuran lebih dari 4,8 mm, sering disebut kerikil, batu pecah atau split (Kardiyono Cokrodimulyo, 1992).

Penggolongan agregat berdasarkan sumbernya dibedakan menjadi :

#### 1. Agregat alami :

Agregat alami diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan baik secara alami atau dengan mesin pemecah batu.

Agregat halus alami digolongkan menjadi 3 yaitu :

- a. Pasir galian, diperoleh dari permukaan tanah atau dengan cara menggali sampai kedalaman tertentu. Pasir ini bertekstur tajam, bersudut, berpori, bebas kandungan garam, tetapi biasanya kotor oleh tanah.
- b. Pasir sungai, diperoleh dari dasar sungai, berbentuk bulat, dan berbutir halus.
- c. Pasir laut, diperoleh dari pantai, biasanya butirannya halus dan bulat. Pasir ini banyak mengandung garam yang akan meyerap air.

Agregat kasar alami biasanya didapat dengan memecah batu menjadi ukuran yang dikehendaki.

#### 2. Agregat buatan

Agregat buatan biasanya dibuat dari pecahan bata/genteng atau terak tanur tinggi (*blast furnace slag*).

### 3.2.3 Air

Air merupakan bahan yang penting dalam pembuatan beton karena air diperlukan untuk berreaksi dengan semen. Selain itu air berguna untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan. Air yang digunakan untuk berreaksi dengan semen sekitar 33 % berat semen. Kelebihan air pada campuran beton akan menurunkan kekuatan beton karena meninggalkan pori-pori yang mengurangi kepadatan beton.

### 3.2.4 Bahan Tambah

Bahan-tambah atau *admixture* didefinisikan sebagai bahan selain air, agregat, semen, baja tulangan yang ditambahkan pada campuran beton. *Admixture* ini dipergunakan untuk memperbaiki sifat-sifat beton segar (meningkatkan kemudahan pengerjaan, menambah atau mengurangi kecepatan pengerasan, mengurangi segragasi, memudahkan pompompaan dan lain-lain) dan beton yang sudah mengeras (meningkatkan kekuatan pada umur yang muda, mengurangi permeabilitas, meningkatkan lekatan baja tulangan dengan beton, meningkatkan lekatan beton lama dan beton baru, menghambat korosi tulangan, membuat beton berwarna dan lain-lain) (*Chemical Admixture for Concrete*, ACI 212.3R-21).

#### 1. *Fly ash* (abu terbang)

Dihasilkan dari sisa pembakaran yang mempergunakan batu bara sebagai sumber energi misalnya pada instalasi pembangkit tenaga listrik (Harold N. Atkins, 1997). Sisa pembakaran ini berupa partikel halus yang keluar bersama-sama gas

buang. *Fly ash* bersifat pozzolan sehingga bisa dipakai sebagai aditif mineral pada beton.

Persyaratan kimia *fly ash* dijelaskan dalam SK SNI S-15-1990-F

Tabel 3.1  
Persyaratan kimia *fly ash*

No	Senyawa	Kadar, %
1	Jumlah oksida $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , minimum	70
2	$\text{SO}_3$ , maksimum	5
3	Hilang pijar, maksimum	6
4	Kadar air, maksimum	3
5	Total alkali dihitung sebagai $\text{Na}_2\text{O}$ , maksimum	1,5

Sumber : SK SNI S-15-1990-F

## 2. *Silica fume*

*Silica fume* adalah produk sampingan dari dapur pembuatan metal silikon atau paduan besi silikon dalam tungku pembakaran listrik. *Silica fume* mempunyai sifat-sifat umum yaitu :

- kandungan  $\text{SiO}_2$  minimal 85%,
- ukuran butirnya antara 0,1 sampai 0,2 micron,
- luas permukaan  $15.000\text{m}^2/\text{kg}$ ,

*Silica fume* normalnya berwarna abu-abu

(ACI 234R-96, 1996 & Report of a Concrete Society Working Party, 1993)

## 3. *Superplasticizer*

*Superplasticizer* atau *high range water reducer (HRWR)* merupakan bahan tambah yang berfungsi meningkatkan slump tanpa ada penambahan kandungan air

(ACI 212.3R-91, 1991)

### 3.3 Ratio air semen dan pozzolan atau $w/(c+p)$

Rasio air semen dan pozzolan atau  $w/(c+p)$  adalah perbandingan berat air dan berat semen+pozzolan yang digunakan dalam campuran. Aturan yang umum tentang hubungan antar  $w/(c+p)$  dengan kekuatan beton adalah :

1. kekuatan beton yang rendah dihasilkan dengan  $w/(c+p)$  tinggi,
2. kekuatan beton yang lebih tinggi dihasilkan oleh  $w/(c+p)$  yang rendah,
3. pada  $w/(c+p)$  yang sama dihasilkan kekuatan beton yang sama.

Perubahan kekuatan beton bisa terjadi sangat drastis disebabkan oleh perubahan  $w/(c+p)$  terutama pada beton mutu tinggi. Beton dengan  $w/(c+p)$  rendah tidak hanya menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi tetapi juga meningkatkan laju pengerasan awal dan pengurangan kecepatan pengerasan akhir dibanding beton dengan  $w/(c+p)$  tinggi. Hal itu berarti dengan  $w/(c+p)$  rendah beton mempunyai kekuatan awal yang tinggi tetapi laju pengerasannya lebih kecil. Porositas yang besar akan dihasilkan oleh beton dengan  $w/(c+p)$  tinggi berakibat pada lebih rendahnya kekuatan beton terutama pada awal pengerasan, tetapi peningkatan kekuatan akan terjadi lebih intensif pada umur yang lebih lama dibanding beton dengan  $w/(c+p)$  tinggi. Rasio air semen dan pozzolan  $w/(c+p)$  yang dimasukkan disini adalah  $w/(c+p)$  efektif yaitu rasio antara air bebas dengan jumlah semen. Air bebas adalah air yang berada pada campuran tidak termasuk air menguap atau air yang hilang karena sebab lain seperti penyerapan air oleh agregat, bleeding dan lain-lain.

### 3.4 Slump

Pengujian slump dirancang di Amerika dan dipakai secara luas sebagai alat pemeriksa konsistensi beton di lapangan. Pengujian slump menggunakan alat berupa corong dengan tinggi 300 mm, diameter dasar 200 mm dan diameter atas 100 mm. Benda uji dimasukkan dan dipadatkan ke dalam corong secara bertahap, kemudian dicatat penurunannya setelah corong diangkat. Dari pengujian slump ini diperoleh gambaran tentang pengerjaan suatu campuran beton yang akan dibuat. Semakin tinggi nilai slump semakin tinggi workabilitynya.

### 3.5 Workabilitas

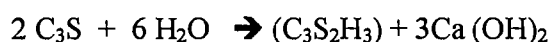
Workabilitas terdiri dari tiga hal terpisah (Murdock & Brook, 1979) :

1. kompaktilitas, atau kemudahan di mana beton dapat dipadatkan,
2. mobilitas, atau kemudahan beton dapat mengalir ke dalam cetakan,
3. stabilitas, atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi/pemisahan butiran dari bahan lainnya,

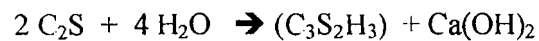
### 3.6 Reaksi Pozzolan

Reaksi pozzolan adalah reaksi yang terjadi antara bahan pozzolan dengan sisa hidrasi semen berupa  $\text{Ca(OH)}_2$  atau kalsium hidroksida membentuk gel baru semacam semen yang akan mempertinggi kekuatan beton.

Reaksi hidrasi semen (Kardiyono, 1995)







keterangan

$\text{C}_3\text{S}$  = trikalsium silikat atau  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

$\text{C}_2\text{S}$  = dikalsium silikat atau  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  = kalsium hidroksida

Kemudian sisa reaksi hidrasi semen yang berupa kalsium hidroksida akan berreaksi dengan *fly ash* atau *silica fume* membentuk senyawa C-S-H baru dengan perbandingan Ca/Si yang lebih rendah (Microsilica in Concrete, Technical Report No.41, report of Concrete Society Working Party)

### 3.7 Peningkatan Umur Beton

Beton mengalami peningkatan kekuatan seiring dengan waktu. Pada proses pembuatan beton telah dikenal reaksi hidrasi antara semen air. Reaksi ini membutuhkan waktu sampai tercapai kekuatan tertinggi yang bisa dicapai. Reaksi hidrasi akan terhenti bila tidak ada lagi tersedia semen dan atau air yang memungkinkan terjadinya reaksi.

Perhitungan struktur mensyaratkan kekuatan beton berdasarkan pada kekuatan yang dicapai beton pada umur 28 hari. Karena kekuatan beton meningkat seiring dengan waktu maka dapat diperhitungkan kekuatan beton pada umur 28 hari berdasarkan kekuatan beton pada umur yang lebih awal.

### 3.8 Metode Perencanaan Adukan Beton

Dalam penelitian ini perancangan adukan beton menggunakan metode yang direkomendasikan ACI (American Concrete Institute) dalam Standard ACI

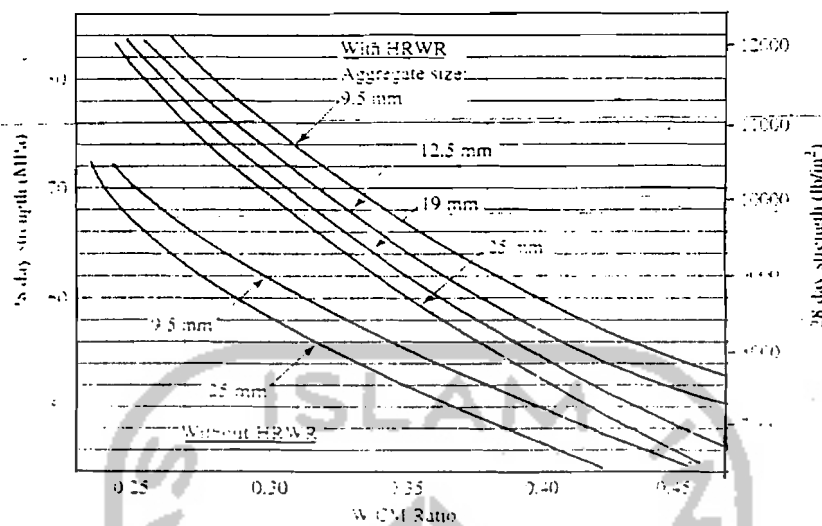
211-4R-93 (Harold N. Atkins, 1997). Tata cara urutan perencanaan adukan beton adalah sebagai berikut :

1. menentukan slump dan  $f_c$ ,
2. menentukan ukuran maksimum agregat (Tabel 3.2),
3. menentukan kandungan agregat kasar/kerikil (Tabel 3.2),
4. menentukan kandungan air dan udara (Gambar 3.1),
5. memilih rasio semen dan air (w/c) (Gambar 3.1),
6. menghitung kandungan semen ( $= c/w \times \text{berat air}$ ),
7. mengatur proporsi campuran-dasar dan campuran dengan *fly ash* dan *silica fume*,
8. mengatur proporsi campuran untuk mencapai slump yang disyaratkan dengan mengubah dosis *superplasticizer*
9. menentukan campuran final

Tabel 3.2  
Perkiraan proporsi campuran untuk beton mutu tinggi

	Bahan	Ukuran max Agregat			
		9,5	12,5	19	25
a	Agregat kasar ( $m^3/m^3$ )	0,65	0,68	0,72	0,75
b	Air campuran ( $kg/m^3$ )				
	Slump 25-50 mm	184	175	169	166
	Slump 50-75 mm	190	184	175	172
	Slump 75-100 mm	196	190	181	178
c	Udara terperangkap (%)				
	Dengan HRWR	3,0	2,5	2,0	1,5
	Tanpa HRWR	2,5	2,0	1,5	1,0

Sumber : Harold N Atkins



Gambar 3.1  
Grafik perkiraan rasio w/c maksimum.

### 3.9 Metode Rawatan

Rawatan beton bertujuan untuk menjaga kelembaban beton sehingga proses hidrasi semen dapat berlangsung. Rawatan beton dilakukan dengan merendam sampel dengan air pada kolam perendaman.

### 3.10 Metode Pengujian Kuat Desak

Pengujian desak beton dilakukan dengan memberikan beban aksial yang berangsur-angsur meningkat pada permukaan benda uji sampai terjadi kehancuran. Tegangan desak yang didapat adalah beban desak ultimit tiap luas permukaan beban, biasanya dengan satuan psi, Pa, atau kg/cm<sup>2</sup>.