

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Umum

Beton merupakan bahan bangunan yang digunakan secara luas dan diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, dan agregat pada perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah *pozzolan*. Reaksi yang terjadi antara semen dengan air akan membentuk suatu pasta pengikat dimana dalam jangka waktu tertentu akan mengeras. Beton yang mengeras dapat dianggap sebagai batu tiruan yang tersusun dari agregat kasar (batu pecah atau kerikil) dan agregat halus (pasir) yang mengisi rongga-rongga antara butiran yang lebih besar serta pasta semen dan bahan *pozzolan* akan mengisi rongga-rongga kecil antara butiran pasir.

Peningkatan kemampuan atau mutu beton yang sejalan dengan pengurangan fas yang dipergunakan dan berlaku juga pada beton struktur lainnya. Usaha lainnya adalah dengan pemanfaatan fenomena bahwa semakin padat mortar beton atau semakin kecil pori-pori yang ada semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan. Pada mortar beton, semen dan air yang berupa pasta mengikat agregat halus dan kasar yang menyisakan rongga atau pori-pori yang tidak dapat terisi oleh butiran semen. Ruang yang tidak ditempati butiran semen merupakan rongga yang berisi udara dan air yang saling berhubungan dan disebut kapiler. Kapiler yang terbentuk akan tetap tinggal

ketika beton telah mengeras, akibatnya akan dapat berpengaruh terhadap turunnya kekuatan beton (Antono, A, 1993). Terbentuknya kapiler ini dapat diantisipasi dengan penggunaan bahan tambah *pozzolan*. Bahan tambah ini merupakan bahan khusus yang ditambahkan dalam mortar sebagai pengisi dan umumnya berupa bubuk mineral aktif (Murdock dan Brook, 1986).

### **3.2 Materi Penyusun Beton**

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

#### **3.2.1 Semen**

Semen merupakan bahan utama dalam pembuatan beton. Semen adalah suatu bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen – fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat.

Semen adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai tambahan (PUBI – 1982) yang berupa bubuk halus dengan kandungan kapur, silikat dan alumina. Unsur – unsur pokok yang terdapat dalam semen dapat dilihat dalam Tabel 3.1. Oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan.

**Tabel 3.1** Susunan unsur dalam semen (Neville, 1975)

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60 – 65
Silikat, SiO <sub>2</sub>	17 – 25
Alumina, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 8
Besi, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5 – 6
Magnesia, MgO	0,5 – 4
Sulfur, SO <sub>3</sub>	1 – 2
Soda / potash Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,5 – 1

Walaupun demikian pada dasarnya semen terdiri dari 4 senyawa yang paling penting yaitu dapat dilihat dalam Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Komposisi unsur utama semen (Neville, 1975)

Nama Unsur	Komposisi Kimia	Simbol
Trikalsium Silikat	3 CaO . SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Dikalsium Silikat	2 CaO . SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Trikalsium Aluminat	3 CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Tetrakalsium Aluminoforit	4 CaO . Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

#### 1. Trikalsium silikat ( C<sub>3</sub>S )

Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dengan melepas sejumlah panas.

Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruhnya terhadap

kekuatan beton pada awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.

## 2. Dikalsium silikat ( $C_2S$ )

Senyawa ini bereaksi dengan air lebih lambat, sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari.

## 3. Trikalsium aluminat ( $C_3A$ )

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah panas, memberikan kekuatan setelah 24 jam.

## 4. Tetrakalsium aluminoforit ( $C_4AF$ )

Senyawa ini tidak tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat – sifat semen keras lainnya.

Peraturan Bahan Bangunan Indonesia (*PUBI, 1982*) menggolongkan semen menjadi 5 jenis, yaitu :

1. Jenis I, untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus,
2. Jenis II, dipakai untuk menanggulangi gangguan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang,
3. Jenis III, pemakaiannya menuntut persyaratan kekuatan awal tinggi,
4. Jenis IV, pemakaiannya menuntut persyaratan hidrasi rendah, dan
5. Jenis V, untuk melindungi dari gangguan sulfat tinggi.

### 3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran  $< 5$  mm. Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Di dalam penelitian ini digunakan pasir alam sebagai pasir halus dari sungai Boyong Kab. Sleman DIY.

### 3.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan alam atau berupa batu pecah dengan ukuran 5-30 mm (*Kusuma dan Vis, 1993*). Agregat alami dapat diklasifikasikan ke dalam sejarah terbentuknya peristiwa geologi, yaitu agregat beku, agregat sedimen, dan agregat metamorf. Agregat pecahan diperoleh dengan memecah batu menjadi berukuran butiran sesuai dengan yang diinginkan dengan cara meledakkan, memecah, dan seterusnya.

Selain itu ada juga agregat buatan yang diperoleh dari pecahan bata atau pecahan genteng. Pecahan bata atau pecahan genteng 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 kapur. Beton dengan pecahan bata atau genteng tidak baik untuk beton kedap air (*Tjokrodimuljo, 1992*).

Agregat kasar besar butir-butirannya lebih dari 4,60 mm. Secara umum agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah atau split.

Syarat-syarat agregat kasar menurut (*PBI, 1971*) adalah sebagai berikut ini.

1. agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil hasil disintegrasi (pembekuan) alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu.
2. agregat kasar tidak boleh berpori dan terdiri atas batuan keras. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih dapat dipakai asalkan jumlahnya tidak lebih dari 20% berat total agregat. Butir-butir agregat harus bersifat kekal.
3. agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dan tidak boleh mengandung zat-zat yang merusak beton.

4. kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan bejana pengujian dari Rudolf dengan beban penguji 2 ton, dimana harus memenuhi syarat berikut ini:
  - a. tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24%,
  - b. tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 20%.
5. agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm harus memenuhi syarat-syarat :
  - a. sisa diatas ayakan 31,5 mm sebesar 0% berat,
  - b. sisa diatas ayakan 4 mm sebesar 90% - 98% berat,
  - c. selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas 2 ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% berat dan minimum 10% berat.

#### 3.2.4 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting. Di dalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan kedua sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar mudah dikerjakan dan dipadatkan (*Murdok dan Brook, 1991*).

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang paling murah tetapi sangat penting peranannya. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk mengadakan reaksi hidrasi dengan semen diperlukan sedikitnya 20 – 30% jumlah air dari berat semen, namun pada kenyataannya, nilai faktor air semen yang dipakai sebesar 0,35 akan sulit dikerjakan. Kelebihan air ini akan dipakai sebagai

pelumas dengan catatan penambahan air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton akan menjadi rendah dan menghasilkan beton yang poreus. Selain itu kelebihan air akan sama-sama dengan semen akan bergerak ke permukaan adukan beton (*bleeding*) segar yang baru dituang yang kemudian menjadi buih untuk membentuk lapisan tipis (*laitance*) yang akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton yang merupakan bidang sambung yang lemah.

Air yang digunakan untuk campuran beton sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut ini (Tjokrodimuljo, 1992)

1. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton ( asam, zat organik dan sebagainya ) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung klorida ( $Cl_2$ ) lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Air yang digunakan di dalam campuran adukan beton pada penelitian ini adalah air yang diambil dari PAM Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII.

### 3.3 Bahan Tambah *Pozzolan*

Bahan tambah mineral berupa *pozzolan* adalah bahan yang mengandung senyawa silikat atau silikat alumina dan alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat, seperti semen akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa kalsium silikat hidrat dan kalsium hidrat yang bersifat hidraulis.

Menurut ASTM C618-86 mutu *pozzolan* dibedakan menjadi 3 kelas, dimana tiap-tiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifatnya. *Pozzolan* mempunyai mutu yang baik apabila jumlah kadar  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  tinggi dan reaktifitasnya tinggi dengan kapur. Ketiga kelas untuk masing-masing *pozzolan* adalah sebagai berikut ini (Murdok dan Brook, 1991) :

a. *pozzolan* kelas N

Yaitu *pozzolan* alam atau hasil pembakaran, *pozzolan* yang dapat digolongkan didalam jenis ini seperti tanah *diatomic*, *opaline cherts*, *shaaales*, *tuff*, dan abu vulkanik (*pumicete*), dimana bisa diproses melalui pembakaran maupun tidak. Selain itu juga berbagai material hasil pembakaran yang memiliki *pozzolan* yang baik.

b. *pozzolan* kelas C

Yaitu jenis *Fly ash* yang mengandung CaO diatas 10 % yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub bitumen batu bara.

c. *pozzolan* kelas F

Yaitu jenis *Fly ash* yang mengandung CaO diatas 10 % yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara.

Adapun sifat-sifat fisik dan kimia yang distandarkan ditunjukkan lebih jelas pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4

**Tabel 3.3** Sifat fisik standar *pozzolan* (Murdock dan Brook, 1991)

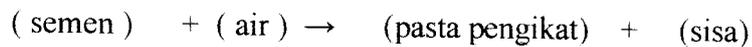
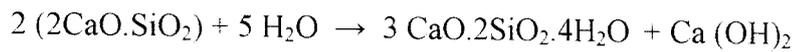
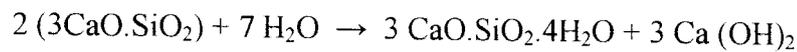
Sifat Fisik Bahan	N	C	F
Kehalusan : tertahan ayakan no 325 (% maksimum)	34	34	34
<i>Pozzolan</i> aktivitas Indeks dengan PC pada 28 hari (% minimum )	75	75	75
Kebutuhan air maksimum ( % ) dari komtrol	115	105	105

**Tabel 3.4** Sifat kimia standar *pozzolan* (Murdock dan Brook, 1991)

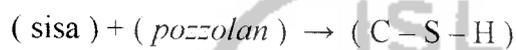
Sifat Kimia Bahan	N	C	F
- $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ( % minimum )	70	50	70
- $\text{SO}_3$ ( % maksimum )	4	5	5
- $\text{Na}_2\text{O}$ ( % maksimum)	1,5	1,5	1,5
- Kadar kelembaban ( % maksimum )	3	3	3
- Loss ignition ( % maksimum )	10	6	12

*Pozzolan* yang ditambahkan pada campuran adukan beton sampai batas tertentu dapat menggantikan semen untuk memperbaiki kelecakan dan menambah ketahanan beton dari serangan kimiawi (Swami,1986). Penambahan bahan *pozzolan* juga dapat meningkatkan kekuatan beton. Hal ini karena terjadi reaksi pengikatan kapur bebas, sisa proses hidrasi semen dan air. Dengan bahan *pozzolan* ini, sisa hasil reaksi hidrasi semen dapat menghasilkan semacam gel yang berfungsi sebagai perekat, yang diilustrasikan sebagai berikut (Swami,1986)

## 1. Reaksi hidrasi semen



## 2. Reaksi pozzolonik



Menurut proses terbentuknya atau asalnya didalam ASTM 593 – 82, bahan *pozzolan* dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu sebagai berikut ini.

1. *pozzolan* alam

Adalah bahan alam yang merupakan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silikat reaktif, yang bila dicampur dengan kapur padam akan menghasilkan proses sedimentasi.

2. *pozzolan* buatan

Adalah jenis *pozzolan* yang banyak macamnya, baik berupa sisa pembakaran dari tungku, maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silikat reaktif dengan melalui proses pembakaran.

**3.4 Abu Terbang (*fly ash*)**

Abu terbang diperoleh dari sisa pembakaran bahan bakar batubara sebagai sumber energi. Sisa pembakaran berupa partikel halus, keluar bersama gas buang. Partikel halus ini dikenal dengan nama abu terbang (*fly ash*), sedang sisa pembakaran yang berupa butiran kasar keluar melalui bagian bawah disebut *bottom ash*.

*Fly ash* memiliki butiran yang cukup halus yaitu lolos ayakan nomor 325 (45  $\mu\text{m}$ ) 5-27 % dengan berat jenis antara 2,15 – 2,8 dan warna abu-abu kehitaman. Sifat proses *pozzolanik* dari *fly ash* mirip dengan bahan *pozzolanik* lain.

Abu terbang yang dapat digunakan sebagai *pozzolan* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (*Standar ASTM*) :

- memiliki kadar oksida reaktif tinggi (Si, Al, Fe),
- kadar alkali rendah,
- kadar Mg rendah,
- kadar S rendah,
- kadar C rendah,
- memiliki sifat fisika dan kimia yang relatif sama.

**Tabel 3.5** Komposisi sifat fisik *fly ash* (*Standar ASTM*)

No	Sifat Fisik	Data yang ada
1	Berat jenis	1,99 – 2,40 $\text{gr}/\text{cm}^3$
2	Kehalusan butir	163,2 – 227,19 $\text{m}^2/\text{kg}$
3	Kadar air	0,55 – 4,6 %

**Tabel 3.6** Komposisi kimia *fly ash* dalam satuan persen berat

No	Unsur Kimia	Persen Berat <i>Fly ash</i> (%)	Persen Berat Standar ASTM
1	SiO <sub>2</sub>	59,99	(SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,35	Minimum 70 %
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,59	
4	CaO	1,83	
5	MgO	1,11	
6	Na <sub>2</sub> O		Maksimum 1,5 %
7	SO <sub>3</sub>		Maksimum 4,0 %
8	Hilang pijar		Maksimum 10 %

Peningkatan kemampuan atau mutu beton dengan memanfaatkan fenomena bahwa semakin padat mortar beton atau semakin kecil pori-pori yang ada, semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan dan salah satunya dengan menggunakan bahan pengisi sebagai bahan tambah. Pada campuran mortar beton, semen dan air yang berupa pasta mengikat agregat halus dan kasar dengan masih menyisakan atau pori-pori yang tidak dapat tertutup atau terisi oleh butiran semen.

### 3.5 Genteng

Limbah genteng adalah limbah hasil dari pembuatan genteng yang mengalami kegagalan atau cacat, berupa pecahan genteng, genteng yang masih mentah dan genteng yang tidak utuh atau rusak. Dalam penelitian ini yang digunakan adalah genteng yang sudah rusak berupa pecahan genteng dan banyak dijumpai disekitar pabrik pembuatan genteng.

Genteng adalah suatu unsur bangunan yang berfungsi sebagai penutup atap dan dibuat dari tanah liat dengan atau campuran bahan lainnya, dibakar sampai pada suhu yang cukup tinggi, sehingga tidak hancur apabila direndam dalam air (PUBI - 1982).

Pembakaran genteng dimulai secara perlahan-lahan hingga asap yang keluar tidak berwarna putih dengan suhu  $\pm 150$  °C. Kemudian suhu dinaikkan menjadi 600 °C. Suhu ini dipertahankan  $\pm 4$  jam dan pada akhirnya suhu diturunkan secara perlahan-lahan agar genteng matang secara merata (Koesmartadi, 1999).

Ide dasar pemakaian pecahan genteng sebagai agregat kasar dalam pembuatan beton adalah untuk memanfaatkan bahan yang tidak terpakai karena merupakan

bahan limbah akibat kegagalan dalam produksi genteng yang nantinya dapat menyebabkan pencemaran tanah. Agregat kasar dari pecahan genteng mempunyai beberapa kelebihan, antara lain dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan yang cukup tinggi, berat jenis betonnya ringan (lebih ringan dari beton normal) dan beton yang dihasilkan mempunyai daya hantar panas yang rendah. Sedangkan kekurangan dari agregat jenis ini adalah antara lain keausan dan resapan airnya cukup tinggi, juga kekerasan agregatnya sangat beragam tergantung dari mutu pembakaran (Tjokrodimuljo, 1992).

Genteng untuk semua tingkat mutu harus tahan terhadap perembasan air. Pada pengujian perembasan air, air tidak boleh menetes dari bagian bawah genteng dalam waktu kurang dari 2 jam (PUBI - 1982)

**Tabel 3.7** Tingkat mutu dan kekuatan terhadap beban lentur (PUBI - 1982)

Tingkat Mutu	Kekuatan terhadap beban lentur (kg)	
	Rata-rata dari minimal 6 (enam) genteng yang diuji	Angka minimal untuk masing-masing genteng yang diuji
I	150	110
II	120	90
III	80	60
IV	50	35
V	30	25

### 3.6 Faktor Air Semen

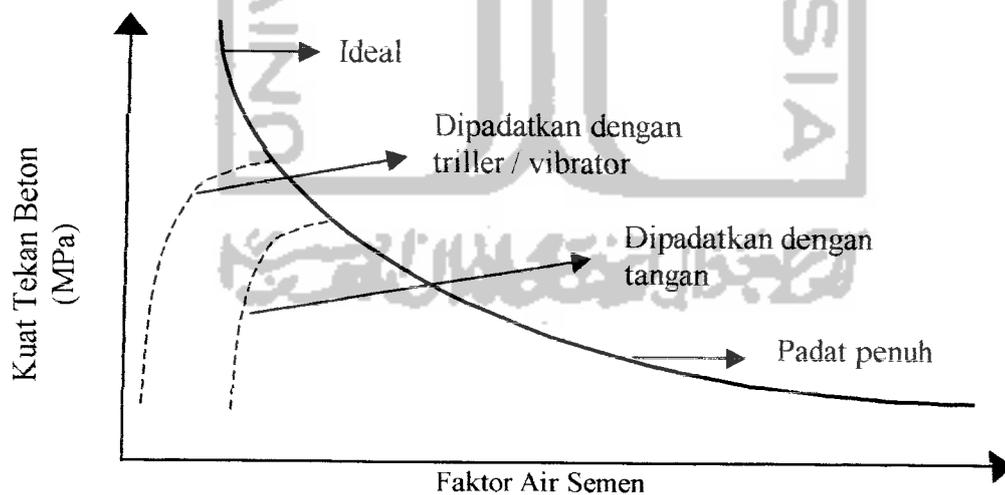
Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Faktor air semen sangat besar pengaruhnya terhadap pembentukan panas hidrasi. Hidrasi ini timbul karena adanya reaksi antara semen dengan air, sedangkan hasil dari reaksi tersebut adalah hidrasi semen. Faktor air

semen yang tinggi dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang rendah dan semakin rendah fas, maka kuat tekan beton yang dihasilkan semakin tinggi. Meskipun demikian fas yang rendah akan menyulitkan proses pemadatan sehingga kekuatan beton menjadi kurang padat, oleh sebab itu ada suatu nilai fas optimum yang menghasilkan kuat desak maksimum dan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Hubungan antara faktor air semen (fas) dan kuat desak beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan *Duff Abrams (1919)* yaitu :

$$f_c = \frac{A}{B^{1.5X}} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :  $f_c$  = kuat tekan beton  
 $X$  = f.a.s  
 $A, B$  = konstanta



**Gambar 3.1.** Hubungan antara kuat desak beton dengan nilai faktor air semen (*Tjokrodimuljo, 1992*)

### 3.7 Slump

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton. Tingkat kelecakan ini berkaitan erat dengan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*). Makin besar nilai slump berarti semakin cair adukan betonnya, sehingga adukan beton semakin mudah dikerjakan. Nilai slump untuk berbagai macam struktur diperlihatkan pada Tabel 3.8 berikut ini.

**Tabel 3.8** Nilai slump untuk berbagai macam struktur (*Tjokrodinuljo, 1992*)

Jenis Struktur	Nilai Slump	
	Minimum	Maksimum
Pondasi bertulang, dinding, tiang	5	12,5
Tiang pondasi dalam, caison	2,5	10
Pelat, balok, kolom	7,5	15
Beton untuk jalan ( <i>pavement</i> )	5	7,5
Beton massa (struktur massa berat)	2,5	7,5

### 3.8 Workability

Kemudahan pengerjaan (*workability*) adalah ukuran tingkat kemudahan adukan beton untuk dikerjakan termasuk adukan, dituang dan dipadatkan. 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 pengerjaan adukan beton antara lain sebagai berikut ini.

1. jumlah air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Jumlah air ini akan mempengaruhi konsistensi adukan, yaitu semakin banyak air yang digunakan maka adukan beton akan semakin cair, sehingga makin mudah 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* tetap.
3. penambahan bahan tambah *additive* tertentu yang bertujuan untuk meningkatkan *workability* adukan pada *fas* rendah.

Adukan dengan tingkat kelecakan tinggi memiliki resiko yang besar terhadap *bleeding* atau *water gain*. Hal ini akan terjadi karena bahan-bahan padat adukan beton mengendap dan bahan-bahan susun kurang mampu mengikat air campuran. Resiko *bleeding* dapat dikurangi dengan langkah-langkah berikut ini.

1. air campuran yang dipakai sebanyak yang diperlukan sesuai dengan hitungan *mix design*
2. pasir yang dipakai memiliki bentuk seragam dan memiliki kadar butiran yang halus.
3. gradasi agregat yang dipakai sesuai dengan persyaratan yang ditentukan menurut metode yang dipakai.

### **3.9 Metode Perencanaan Adukan Beton**

Penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai standar *Amerika Concrete Institute (ACI)*. Salah satu tujuan yang hendak dicapai dengan perancangan campuran dengan standar *ACI* adalah untuk

menghasilkan beton yang mudah dikerjakan. Ukuran derajat kekentalan dan kemudahan pengerjaan dapat dilihat pada pengujian slump.

Adapun tata cara urutan perencanaan adukan campuran beton menurut standar *ACI* adalah sebagai berikut ini.

#### 1. perhitungan kuat desak rata-rata beton

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

$$F_{cr}' = f_{c'} + k \cdot sd \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan :  $f_{cr}'$  = kuat desak rata-rata beton .....Kg/cm<sup>2</sup>

$f_{c'}$  = kuaat desak rencana beton.....Kg/cm<sup>2</sup>

$k$  = tetapan statistik. Untuk Indonesia memakai 5% kegagalan (*defective*) maka faktor  $k = 1.64$

$sd$  = standar deviasi berdasarkan Tabel 3.10 dengan angka konversi untuk sampel kurang dari 30 sampel Tabel 3.11

**Tabel 3.9** Nilai K untuk beberapa keadaan (*Tjokrodimuljo, 1992*)

No	Keadaan	Nilai K
1	Untuk 10 % defektif	1,28
2	Untuk 5 % defektif	1,64
3	Untuk 2,5 % defektif	1,96
4	Untuk 1 % defektif	2,33

**Tabel 3.10** Nilai deviasi standar (  $\text{kg/cm}^2$  ) (Tjokrodimuljo, 1992)

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

**Tabel 3.11** Faktor modifikasi simpangan baku untuk data uji kurang dari 30 sampel (Tjokrodimuljo, 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 (Tabel 3.12) dan pengaruh keawetan elemen struktur terhadap kondisi lingkungan (Tabel 3.13) sebagai berikut ini.

**Tabel 3.12** Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder beton umur 28 hari (Tjokrodimuljo, 1992)

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

**Tabel 3.13** Fas berdasarkan pengaruh tempat elemen (*Tjokrodimuljo, 1992*)

Kondisi Elemen	Nilai fas
- Beton di dalam ruangan bangunan	
a. Keadaan keliling non korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
- Beton diluar bangunan	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
- Beton yang masuk ke dalam tanah	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
- 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 3.14** Nilai slump berdasarkan penggunaan jenis elemen (*Tjokrodimuljo, 1992*)

Pemakaian Jenis Elemen	Maks (cm)	Min (cm)
Dinding pelat pondasi, dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan struktur bawah pondasi	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

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 Tabel 3.15 sebagai berikut.

**Tabel 3.15** Perkiraan nilai slump berdasarkan ukuran maksimum agregat (Tjokrodimuljo, 1992)

Slump	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 didasarkan hasil penentuan langkah ke-dua (didapat nilai fas) dan ke-empat (didapat jumlah air) dengan membagi rasio kebutuhan air dengan nilai fas.

$$fas = \frac{W_{air}}{W_{semen}} \quad W_{semen} = \frac{W_{air}}{fas}$$

6. menetapkan volume agregat kasar

Penetapan volume agregat kasar didasarkan pada tabel berikut ini.

**Tabel 3.16** Perkiraan kebutuhan agregat kasar per  $m^3$  beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus butir pasir ( $m^3$ )

(Tjokrodinuljo, 1992)

Ukuran maksimum 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	0,84	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

7. menghitung volume agregat halus yang diperlukan

Perhitungan volume agregat halus didasarkan pada pengurangan volume absolut terhadap volume agregat kasar, volume semen, volume air serta prosentasi udara yang terperangkap dalam adukan.

### 3.10 Kekuatan Beton

Beton memiliki kuat desak yang jauh lebih besar daripada kuat tariknya. Kuat desak beton tergantung pada sifat-sifat bahan dasarnya. Kuat desak beton pada umumnya ditentukan oleh tingkat kekerasan agregatnya, namun demikian perlu diperhatikan juga mutu pastanya. Hal ini dikarenakan pasta semen merupakan bahan ikat yang mengikat agregat-agregat penyusun beton. Mutu pasta semen yang rendah akan menyebabkan kehancuran beton sebelum mencapai maksimum. Hal ini ditandai dengan prosentase agregat pecah. Disamping itu kuat desak beton dipengaruhi juga oleh cara pengadukan, cara penuangan, cara pemadatan dan cara rawatan selama proses pengerasan.

Agar kualitas beton yang dihasilkan memuaskan, maka perlu diperhatikan selama terjadinya proses pemadatan dan perawatan beton dengan penjelasan sebagai berikut ini.

1. tinjauan terhadap pemadatan beton,

Tujuan pemadatan adukan beton adalah untuk mengurangi rongga-rongga udara agar beton mencapai kepadatan yang tinggi. Beton dengan kepadatan tinggi akan menghasilkan kekuatan yang tinggi. Pemadatan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara manual dan dengan menggunakan mesin pemadat bergetar (*vibrator*). Kekuatan beton yang dihasilkan oleh pemadat manual tergantung dari kemampuan tenaga manusia yang memadatkannya. Kekuatan beton dengan proses pemadatan menggunakan mesin getar dapat lebih tinggi kepadatannya, hal ini tergantung pada metode serta kepiawaian pelaksana dari faktor operator manusianya. Selain itu mesin getar dapat digunakan pada campuran yang memiliki *workability* rendah.

2. tinjauan terhadap perawatan beton,

Reaksi kimia yang terjadi pada pengikatan dan pengerasan beton tergantung pada pengadaan airnya. Meskipun pada keadaan normal, air tersedia dalam jumlah yang memadai untuk proses hidrasi penuh selama pencampuran, perlu adanya jaminan bahwa masih ada air yang tertahan atau jenuh untuk memungkinkan kelanjutan reaksi kimia itu. Penguapan dapat menyebabkan kehilangan air yang cukup berarti sehingga mengakibatkan terhentinya proses hidrasi, dengan konsekuensi berkurangnya peningkatan kekuatan. Oleh karena itu direncanakan suatu cara perawatan untuk mempertahankan beton agar terus menerus berada dalam keadaan

basah selama periode beberapa hari atau bahkan beberapa minggu dengan direndam dalam air pada satu bak.

### 3.11 Berat Jenis

Dalam ilmu teknologi beton dikenal jenis beton ringan (*leightweight concrete*).

Beton ringan dapat dibuat dengan 3 (tiga) cara (*Nevile, 1975*), yaitu dengan :

1. pemakaian agregat ringan, misalnya agregat kasar yang ringan, agregat halus yang ringan atau keduanya
2. membuat gelembung-gelembung udara, yaitu dengan pemakaian bahan tertentu yang menyebabkan terjadinya gelembung udara kecil didalam beton dan
3. cara tanpa pemakaian pasir (beton non pasir), sehingga banyak terdapat rongga diantara butir-butir agregat kasar.

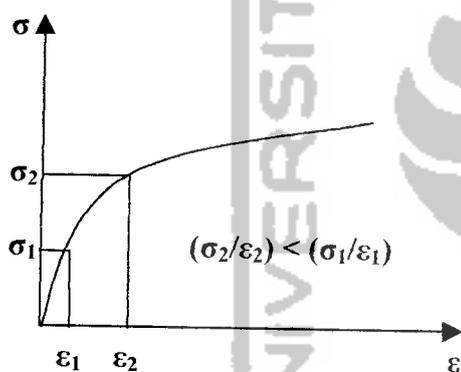
Beton ringan mempunyai berat jenis dibawah  $2 \text{ gr/cm}^3$  (beton biasa mempunyai berat jenis  $2,4 \text{ gr/cm}^3$ ). Secara kasar beton ringan ini menurut berat jenisnya dibagi tiga kelompok (*Nevile, 1975*), yaitu dengan :

1. beton ringan jenis antara  $0,30$  sampai  $0,80 \text{ gr/cm}^3$  yang biasa dipakai sebagai bahan isolasi
2. beton ringan dengan berat jenis antara  $0,80$  saampai  $1,40 \text{ gr/cm}^3$  yang dapat dipakai untuk struktur ringan dan
3. beton ringan dengan berat jenis antara  $1,40$  sampai  $2,00 \text{ gr/cm}^3$  yang dapat dipakai untuk struktur sedang.

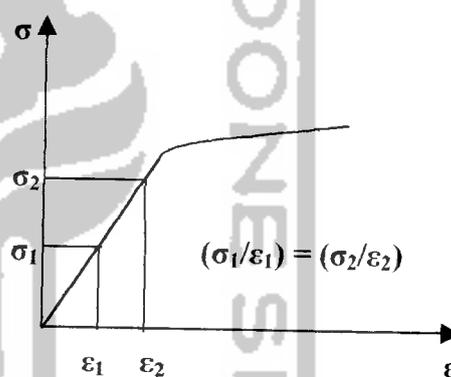
Berat jenis beton ringan dalam pembuatannya dipengaruhi oleh berat jenis agregatnya.

### 3.12 Modulus Elastis

Menurut *Vis dan Kusuma (1995)*, modulus elastis atau modulus young adalah sebuah konstanta bahan yang mempunyai nilai tertentu untuk suatu bahan tertentu. Tiap bahan memiliki modulus elastis  $E$  tersendiri yang memberikan gambaran mengenai perilaku bahan itu bila mengalami beban tarik atau beban tekan. Bila nilai  $E$  semakin kecil, akan semakin mudah bahan untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan. Grafik hubungan linier dan non-linier tegangan dan regangan dapat ditunjukkan oleh Gambar 3.2 dan 3.3.



**Gambar 3.2** Hub.non-linier antara tegangan dan regangan



**Gambar 3.3** Hub.linier tegangan dan regangan pada nilai tegangan rendah

Tegangan tidak selalu berbanding lurus dengan regangan. Seperti pada Gambar 3.2, titik-titik yang dipetakan berturut-turut tidak terletak pada satu garis lurus, sehingga tidak terdapat kesebandingan antara tegangan dan regangan. Bahan yang memiliki tegangan dan regangan seperti ini disebut elastis non-linier. Bahan ini jelas tidak mengikuti Hukum Hooke sehingga hubungan  $\sigma = E \cdot \epsilon$  tidak berlaku. Bahan ini tidak mempunyai modulus elastis konstan. Ini berarti hitungan perencanaan dengan menggunakan bahan ini harus dengan rumus yang berbeda

dengan bahan-bahan elastis linier. Gambar 3.3 menunjukkan suatu kesebandingan antara tegangan dan regangan untuk nilai tegangan rendah, tetapi pada tegangan yang tinggi bahan memiliki kelakuan non-linier. Ketidak linieran diakibatkan oleh formasi retak-retak yang menurunkan kekakuan (*Ferguson, 1986*).

Modulus elastis beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji (*Wang dan Salmon, 1985*)

