

### BAB III

#### LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisikan tentang penjelasan-penjelasan mengenai teori-teori yang digunakan, materi penyusun beton, penghitungan dan hipotesis.

#### 3.1. Umum

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

Menurut SK SNI T-15-1991-03, berdasarkan berat volumenya beton dapat digolongkan menjadi tiga golongan sebagai berikut ini.

1. Beton Ringan.

Beton ringan adalah beton yang mempunyai berat volume kurang dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ .

2. Beton Normal.

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat volume antara  $2200 \text{ kg/m}^3$  sampai dengan  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

### 3. Beton Berat

Beton berat adalah beton yang mempunyai berat volume lebih besar dari  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yaitu : semen, agregat, air serta bahan tambahan lain dengan penambahan tertentu. Semen tersusun atas bahan-bahan dasar yang terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Empat unsur yang paling penting adalah  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ , dan  $C_4AF$ . dua unsur pertama biasanya merupakan 70%-80% dari semen sehingga merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen (Kardiyono, 1992).

Untuk menentukan kekuatan semen ditentukan oleh suatu prosentase komposisi senyawa penyusun semen tersebut yaitu  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ , dan  $C_4AF$  dengan dipengaruhi oleh umur dalam proses pengerasannya, dan sangat berperan dalam menentukan kekuatan beton. Selain itu hal lain yang menentukan kekuatan suatu beton juga dapat dilihat dari *faktor air semen* ( $f_{as}$ )/(*water-cement ratio*) (Popovics, 1998).

Beton biasa merupakan bahan yang cukup berat, dengan berat  $2400 \text{ kg/m}^3$  dan menghantarkan panas untuk mengurangi beban mati suatu struktur beton atau mengurangi sifat penghantaran panasnya maka telah banyak dipakai beton ringan. Beton disebut sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari  $1800 \text{ kg/m}^3$  (Kardiyono, 1992).

### 3.2. Beton Ringan

Beton ringan (*Light Weight Concrete*) sangat dipengaruhi oleh berat jenis bahan-bahan penyusun beton itu sendiri, terutama berat jenis agregatnya. Untuk mendapatkan berat jenis yang ringan dapat ditempuh dengan beberapa cara, misalnya dengan memanfaatkan kandungan udara di dalam beton maupun agregatnya. Beton ringan digunakan untuk berbagai tujuan, misalnya untuk penyekat, sebagai bahan pengisi yang mempunyai kekuatan dan untuk penggunaan elemen struktur.

Pembuatan beton ringan selain dengan cara memberikan gelembung-gelembung udara ke dalam adukan semen juga bisa dengan menggunakan agregat ringan yang mempunyai berat jenis kurang dari  $2000 \text{ kg/m}^3$  yang misalnya tanah liat bakar, batu apung dan lain-lain (Kardiyono, 1992).

Agregat ringan biasanya mempunyai daya serap air yang tinggi sehingga dalam pengadukan beton cepat mengeras hanya dalam beberapa menit saja setelah pencampuran, untuk itu agregat dibuat sampai keadaan SSD sebelum pengadukan. Dalam pencampuran sebaiknya air yang digunakan dan agregat dicampur dahulu baru semen (Kardiyono, 1992).

Di Amerika Serikat telah diterapkan bahwa beton ringan untuk struktur harus mempunyai kuat desak lebih besar dari  $170 \text{ kg/cm}^2$  pada umur 28 hari, dengan berat jenis  $1400 \text{ kg/m}^3$ . Beton ringan untuk bahan isolasi atau dinding penyekat mempunyai kuat desak antara  $7 \text{ kg/cm}^2$  sampai dengan  $70 \text{ kg/cm}^2$ , dengan berat jenis kurang dari  $800 \text{ kg/m}^3$  (Neville, 1975).

Berdasarkan berat volume kering udara pada umur 28 hari, beton ringan dapat digolongkan dalam 3 golongan (Wang dan Salmon, 1993) sebagai berikut.

1. Beton dengan kepadatan rendah

Beton dengan kepadatan rendah adalah beton yang mempunyai berat volume antara  $350 \text{ kg/m}^3$  sampai dengan  $800 \text{ kg/m}^3$ .

2. Beton dengan kepadatan medium

Beton dengan kepadatan medium adalah beton yang mempunyai berat volume antara  $800 \text{ kg/m}^3$  sampai dengan  $1350 \text{ kg/m}^3$ .

3. Beton untuk konstruksi

Beton untuk konstruksi adalah beton yang mempunyai berat volume antara  $1350 \text{ kg/m}^3$  sampai dengan  $1900 \text{ kg/m}^3$ .

Beton struktural yang mengandung agregat ringan digolongkan menjadi 2 golongan (SK-SNI T-15-1991) sebagai berikut ini.

1. Beton ringan total (*All low density concrete*)

Beton ringan total (*All low density concrete*) adalah beton yang menggunakan agregat ringan secara keseluruhan, baik agregat kasar maupun halus.

2. Beton ringan berpasir (*Sand low density concrete*)

Beton ringan berpasir (*Sand low density concrete*) adalah beton ringan yang menggunakan agregat halus pasir alami.

Sifat dasar dari agregat ringan adalah porositas yang tinggi, akibatnya agregat ringan mempunyai berat jenis yang rendah. Agregat ringan dapat dibedakan menjadi 2 macam sebagai berikut.

1. Agregat alam

Agregat alam misalnya *diatomite*, *pumice*, *scoria*, dan abu vulkanik, hanya terdapat di beberapa tempat saja. Oleh karena itu agregat ringan yang terdapat dari alam jarang digunakan secara umum.

2. Agregat buatan

Agregat buatan misalnya *leca*, *kermasite*, *aglite*, *agloporite*, *foamed slag* dan *lytag* (Neville, 1975).

Pada dasarnya, beton ringan diperoleh dengan cara pemberian gelembung udara ke dalam campuran betonnya. Oleh karena itu pembuatan beton ringan dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut (Kardiyono, 1992).

1. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian banyak pori-pori udara yang akan terjadi di dalam betonnya.
2. Dengan menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar, batu apung. Dengan demikian beton yang terjadi akan lebih ringan daripada beton biasa.
3. Pembuatan beton dengan tanpa butir-butir agregat halus. Dengan demikian beton ini disebut “beton non-pasir” dan hanya dibuat dari semen dan agregat kasar saja (dengan butir maksimum agregat kasar sebesar 20 mm atau 10 mm).

Beton ringan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (**Gambhir, 1986**).

1. Ringan

Berat jenis beton biasa sekitar  $2500 \text{ kg/m}^3$ , adapun beton ringan mempunyai berat jenis dari  $300 \text{ kg/m}^3$  sampai  $1800 \text{ kg/m}^3$ . beton yang sangat ringan biasanya dipakai untuk bahan isolasi, adapun beton yang tidak begitu ringan dapat digunakan untuk struktur ringan.

2. Tidak menghantarkan panas

Beton ringan mempunyai nilai isolasi sebesar 3 sampai 6 kali batu bata dan 10 kali beton biasa. Dinding tembok tebal 200 mm yang terbuat dari beton ringan dengan berat jenis  $800 \text{ kg/m}^3$  mempunyai tingkat isolasi sama dengan dinding batu bata setebal 400 mm yang berat jenisnya  $1600 \text{ kg/m}^3$ .

3. Tahan api

Beton ringan mempunyai sifat yang baik sekali dalam menahan kebakaran. Sifatnya yang tidak baik dalam menghantarkan panas membuat beton ringan amat baik untuk melindungi bagian struktur dari pengaruh api.

4. Bahan isolasi suara yang kurang baik

Beton ringan juga dipakai sebagai bahan isolasi suara tidak sebaik beton biasa yang lebih padat.

5. Mudah dikerjakan

Beton ringan dapat dengan mudah digergaji, dipotong, dibor atau dipaku. Karena itu beton ringan mudah dibuat dan perbaikan setempat

juga mudah dilakukan tanpa merusak bagian lain yang tidak diperbaiki.

#### 6. Keawetan

Karena beton ringan biasanya bersifat kedap air, maka akan lebih mudah menyebabkan terjadinya karat pada baja tulangnya. Oleh karena itu maka baja tulangan yang dipakai perlu diberi lapisan khusus untuk mencegah terjadinya karat.

#### 7. Harga murah

Karena beratnya ringan dan nilai banding antara kuat tekan dan berat jenisnya. Pemakaian beton ringan dapat menghemat pemakaian baja tulangan. Struktur pelat komposit yang memakai blok beton pracetak tanpa tulangan dan balok grid beton bertulang membutuhkan semen dan baja lebih sedikit, sehingga harga pembuatan struktur pelat lantai dan pelat atap dapat dihemat. Penghematan harga pelat lantai dan atap bisa mencapai 19% sampai 20%.

### 3.3. Materi Penyusun Beton

Beton adalah suatu bahan elemen struktur yang memiliki karakteristik spesifik yaitu kuat desaknya yang tinggi yang terdiri dari beberapa bahan penyusun sebagai berikut ini.

#### 3.3.1. 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°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.

Bagian utama bahan pembentuk semen dan merupakan unsur terpenting dalam menentukan kekuatan beton adalah :

- |  |  |
|--|--|
| 1. <i>dikalsium silikat</i> ( $C_2S$ )           | 2 CaO. SiO <sub>2</sub> ,  |
| 2. <i>trikalsium silikat</i> ( $C_3S$ )          | 3 CaO. SiO <sub>2</sub> ,  |
| 3. <i>trikalsium aluminat</i> ( $C_3A$ )         | 3 CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , dan                            |
| 4. <i>tetrakalsium aluminatferit</i> ( $C_4AF$ ) | 4 CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . |

Menurut jenisnya semen portland dibedakan menjadi 5 macam sebagai berikut.

1. Jenis I : Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
2. Jenis II : Semen Portland 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 tinggi.

### 3.3.2. Air

Air merupakan bahan yang penting dalam pembuatan beton, karena air diperlukan untuk bereaksi dengan semen. Selain itu air berguna untuk menjadi



bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan. Air yang digunakan untuk bereaksi dengan semen sekitar 33% berat semen. Kelebihan air pada campuran beton akan menurunkan kekuatan beton karena meninggalkan pori-pori yang mengurangi kepadatan beton.

### 3.3.3. Agregat

Agregat ialah butiran partikel mineral yang digunakan bersama-sama semen untuk membentuk beton. Karena menempati kurang lebih 70% volume beton, maka pemilihan agregat sangat penting dalam pembuatan beton.

Menurut ukurannya, agregat dapat dibedakan menjadi 2, yaitu agregat halus dan agregat kasar, sebagaimana penjelasan berikut ini.

1. Agregat halus

Agregat yang berukuran lebih kecil dari 4,8 mm, sering disebut sebagai 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. Yang dalam penelitian ini digunakan batu bentonit sebagai agregat kasar. Batu bentonit termasuk agregat alami yang didapat dari penambangan di alam yaitu dari Kecamatan Nanggulan Kulon Progo. Batu bentonit terjadi dari batuan sedimen yaitu magma bumi yang membeku (batuan beku) yang kemudian mengalami pengendapan dan tekanan.

Batu bentonit dari penambangan oleh PD Anindya mempunyai spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1.** Sifat-Sifat Batu Bentonit

Berat Jenis	1,6 T/m <sup>3</sup>
Kadar SiO <sub>3</sub>	83,91%
Kadar Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,97%

Menurut sumber asal batuan, agregat dapat dibedakan menjadi 2, yaitu agregat alami dan agregat buatan, sebagaimana penjelasan berikut ini.

1. Agregat alami

Agregat alami diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan baik secara alami atau dengan mesin pemecah batu. Batu bentonit termasuk agregat alami yang didapat dari penambang di alam dan dipecah dalam ukuran tertentu.

Agregat halus alami dibedakan menjadi 3 macam sebagai berikut ini.

- 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 menyerap air.

## 2. Agregat buatan

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

### 3.3.4. Bahan Tambah (*Additive*)

Bahan tambah ini diberikan atau ditambahkan pada campuran adukan beton dengan takaran tertentu dan untuk tujuan tertentu. Pada penelitian ini, kami menggunakan bahan tambah atau *additive silica fume* dari PT Sika Nusa Pratama. *Silica fume* di dalam beton memiliki 2 pengaruh, yaitu sebagai bahan *filler* dan pozzolan yang bereaksi secara kimia. Pengaruh *filler* yang dikenali sebagai faktor fisik terjadi secara drastis pada tahap awal yang dalam reaksi kimia masih berlangsung lambat. Ukuran partikel *silica fume* yang sangat halus mengisi ruang-ruang kosong yang berisi air dan  $\text{Ca(OH)}_2$  yang terdapat antara agregat dan bahan pengikat serta memasuki sampai ke lapisan yang paling sempit antara agregat dan pasta semen yaitu lapisan *agregat- pasta semen*. Lapisan *agregat- pasta semen* ini mengalami proses penjenuhan (lebih rapat) yang dapat meningkatkan kuat tekan dan permeabilitas beton. Fungsi kedua sebagai bahan pozzolan yang bereaksi antara  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Ca(OH)}_2$  menghasilkan kalsium silikat hidrat yang mengisi ruang-ruang kosong lapisan *agregat pasta semen* menurut Artigues dkk. (1990), Yueming dkk. (1999), Kuroda dkk. (2000), dan Saefuddin dkk. (2001).

Data teknis *silica fume* menurut hasil pengamatan Laboratorium Teknik Kimia ITS seperti tercantum pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

**Tabel 3.2** Sifat Fisik *Silica Fume*

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Warna	Putih, abu-abu, gelap
2	Berat Jenis	2,2 kg/m <sup>3</sup>
3	Berat Volume	250-300 kg/m <sup>3</sup>
4	Kehalusan	20.000 m <sup>2</sup> /kg
5	Diameter	0,1 micron (1/100 Ø semen)

**Tabel 3.3** Komposisi Kimia *Silica Fume*

No	Kandungan Oksida	% Berat
1	SiO <sub>2</sub>	94,3
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3
4	MgO	0,7
5	SO <sub>4</sub>	0,0
6	Na <sub>2</sub> O	0,2
7	KO <sub>2</sub>	1,0
8	Hilang Pijar	2,6

### 3.4. Penghitungan

Penghitungan yang dilakukan adalah penghitungan berat jenis agregat, kuat desak beton dan berat volume tiap m<sup>3</sup> beton.

#### a. Berat Jenis Agregat

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis agregat halus dan agregat kasar.

$$B_j = \frac{B_a}{V_a} \text{ (t/m}^3\text{)}$$

Dimana:  $B_j$  = Berat jenis agregat (t/m<sup>3</sup>)

$B_a$  = Berat agregat (ton)

$V_a$  = Volume air (m<sup>3</sup>)

### b. Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton ( $f'c$ ) pada umur 28 hari sesuai SK SNI T-1991-03 dengan kekuatan rencana  $f'c = 20$  MPa.

$$f'b = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \qquad Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f'i b - f'cr)^2}{N-1}}$$

$$f'cr = \frac{\sum_{i=1}^N f'i b}{N} \qquad f'c = f'cr - 1,64 \cdot Sd$$

Dimana:  $f'b$  = Kuat desak dari benda uji (MPa)

$f'cr$  = Kuat desak beton rata-rata (MPa)

$f'c$  = Kuat desak karakteristik (Mpa)

$N$  = jumlah benda uji

$Sd$  = Sudut deviasi

### c. Berat volume tiap $m^3$ beton

$$Bs = \frac{W}{Vbt} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Dimana:  $Bv$  = Berat volume (kg/m<sup>3</sup>)

$W$  = Berat beton (kg)

$Vbt$  = Volume beton (m<sup>3</sup>)

### 3.5. Tinjauan Kebakaran

Menurut Surahman (1998) sifat bahan secara struktural yang penting adalah kekuatan (dinyatakan dengan tegangan leleh) dan kekakuan (dinyatakan dengan modulus elatisitas). Pengaruh pada beton tergantung pada beberapa hal

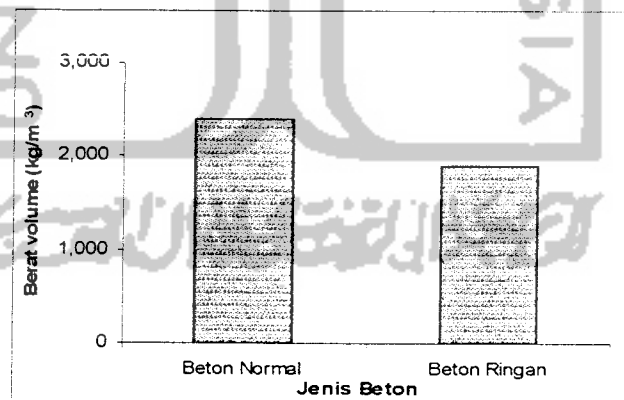
terutama tingginya temperatur dan lama terjadinya kebakaran. Terjadinya kebakaran akan mempengaruhi kekuatan dan kekakuan beton. Hal ini dapat diketahui dengan menurunnya nilai kuat desak beton. Perubahan penurunan kekuatan dapat dilihat pada Tabel 3.4

**Tabel 3.4** Sifat Beton untuk berbagai suhu (Surahman, 1998)

Suhu	Kekuatan Beton
25 <sup>0</sup> C	100%
200 <sup>0</sup> C	95%
400 <sup>0</sup> C	60%
600 <sup>0</sup> C	20%

### 3.6. Hipotesis

1. Karena batu bentonit beratnya tergolong ringan serta berpori-pori, maka diharapkan betonnya termasuk dalam keadaan beton ringan. Perbandingan berat volume beton normal dan beton ringan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1.** Grafik perbandingan berat antara beton normal dengan beton ringan

2. Peningkatan salah satu unsur dalam suatu pembentuk semen akan meningkatkan kekuatannya. Pada *Silica fume* kandungan maksimalnya adalah berupa ( $\text{SiO}_3$ ), sehingga akan mengurangi kadar unsur  $\text{C}_3\text{S}$  yang akan mengurangi panas hidrasinya dan akan mengurangi retak-retak selama proses pengeringannya, meningkatkan kadar unsur  $\text{C}_2\text{S}$  yang akan memberikan kekuatan akhir yang lebih besar, dengan demikian kuat desaknya akan bertambah. Selain itu dengan penambahan *silica fume* ini dimaksudkan agar pori dalam adukan beton yang terisi oleh air dapat diperkecil sehingga beton semakin padat karena diameternya yang sangat kecil sehingga menjadi *filler* yang baik, hal ini untuk mengurangi beton mengembang, retak-retak dan terjadinya pengelupasan saat terbakar yang akan menurunkan kekuatan beton tersebut. Kuat desak beton setelah dibakar akan mengalami penurunan dibandingkan dengan kuat desak beton sebelum dibakar. Penurunan kuat desak beton sebelum dan sesudah dibakar dapat dilihat pada Gambar 1.1.