

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton secara umum telah dikenal dan digunakan sebagai bahan pilihan utama dalam dunia konstruksi khususnya bahan bangunan karena beton memiliki sifat-sifat yang menguntungkan. (Nawy, 1985:8) Mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.

Menurut Mulyono (2005), sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal (kecuali semen *portland* atau bahan tambah kimia), sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi. Namun, pembuatan beton akan menjadi mahal jika perencana tidak memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur yang akan dibuat.

Menurut Nawy (1985), parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah:

1. kualitas semen,
2. proporsi semen terhadap campuran,
3. kekuatan dan kebersihan agregat,
4. interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat,
5. pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton,
6. penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton,
7. perawatan beton,

8. kandungan klorida tidak melebihi 0.15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos.

Selain kualitas bahan penyusunnya, kualitas pelaksanaan pun menjadi hal penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan beton langsung (Jackson, 1977).

Secara umum beton memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut Mulyono (2005), secara umum kelebihan dan kekurangan beton sebagai berikut:

1. kelebihannya adalah mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, mampu memikul beban yang berat, tahan terhadap temperatur yang tinggi, dan biaya pemeliharaan yang kecil,
2. kekurangannya adalah bentuk yang telah dibuat sulit untuk diubah, pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi, memiliki berat jenis yang cukup besar sekitar 2,4 dan daya pantul suara yang besar.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung dari sifat bahan dasar pembentuk beton, nilai perbandingan bahan dasar beton, cara pengadukan, pengerjaan, penuangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasan beton. Untuk membuat beton yang baik sebaiknya diperhitungkan dengan seksama cara-cara memperoleh adukan beton segar (*fresh concrete*) yang baik dan beton keras (*hard concrete*) yang dihasilkan juga akan maksimal.

3.2 Bahan Penyusun Beton

Adapun bahan penyusun beton adalah sebagai berikut :

3.2.1. Air

Air merupakan bahan dasar pembentuk beton yang penting namun harganya paling murah. Menurut Mulyono (2005), air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton.

Menurut Amri (2005), untuk memperoleh pengikatan semen dengan agregat yang sempurna, diperlukan air yang berfungsi menjaga temperatur tidak terlalu tinggi, sehingga proses hidrasi semen berjalan secara sempurna.

Tjokrodimuljo (2007), memaparkan penggunaan air untuk beton sebaiknya air memenuhi persyaratan. Persyaratan tersebut adalah sebagai berikut:

1. tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter,
2. tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/liter,
3. tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter,
4. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

3.2.2. Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker* yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang

bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan untuk mengatur awal ikatan semen.

Bahan semen pada pekerjaan beton berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat kasar dan agregat halus, sehingga menghasilkan bentuk yang telah direncanakan. Karena fungsinya sebagai bahan pengikat, maka semen harus memiliki persyaratan-persyaratan sebagai bahan pengikat (Amri, 2005).

Faktor yang mempengaruhi sifat-sifat semen ialah komposisi kimiawi dan kehalusan penggilingan. Penggilingan yang lebih halus mempercepat reaksi dari bermacam-macam bahan pembentuk semen dengan air tetapi tidak mengubah sifat-sifat *inherent* (tidak dapat dipisahkan). Kehalusan penggilingan mempermudah pengerjaan adukan beton dan dapat mengurangi *bleeding* yaitu naiknya sejumlah air ke permukaan beton.

Kandungan bahan kimia dalam semen portland dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3.1. Komposisi Bahan Kimia Semen Portland

Oksida	%
Kapur, CaO	60-67
Silika, SiO ₂	17-25
Alumina, Al ₂ O ₃	3-8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5-0,6
Magnesia, MgO	0,1-4
Sulfur, SO ₃	1,3
Alkali	0,2-1,3

Sumber : Neville and Brooks, 1987

Menurut SNI 15-2049-2004 semen *portland* dibedakan menjadi 5 jenis atau tipe yaitu:

1. semen *portland* tipe I, yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain,
2. semen *portland* tipe II, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang,
3. semen *portland* tipe III, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi,
4. semen *portland* tipe IV, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya membutuhkan kalor hidrasi rendah,
5. semen *portland* tipe V, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Dalam penelitian ini digunakan jenis semen khusus yaitu semen PPC (*Portland Pozzoland Cement*). Semen PPC adalah semen hidrolis yang terbuat dari penggilingan terak semen *portland* dengan *gypsum* dan bahan yang bersifat *pozzoland*.

Tujuan penggunaan semen PPC (*Portland Pozzoland Cement*) dalam penelitian ini karena kondisi beton segar (*fresh concrete*) yang menggunakan semen PPC cenderung memiliki sifat mudah dikerjakan. Hal ini sangat membantu mengingat nilai faktor-air-binder yang digunakan dalam penelitian ini sangat

rendah yaitu 0.33. Kelebihan lain penggunaan semen PPC yaitu kekuatan tekan beton semakin lama akan menjadi semakin tinggi karena masih terjadi reaksi kimia antara silika aktif *pozzoland* dengan Ca(OH)_2 membentuk senyawa CSH. Hal ini berjalan serasi dengan penelitian ini mengingat penggunaan *fly ash* pada penelitian ini dengan kadar yang cukup besar yaitu 50% substitusi semen. Selain itu beton dengan semen PPC akan memiliki ketahanan yang lebih baik.

3.2.3. Agregat Halus

Menurut Tjokrodimuljo (2007), agregat halus adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0.15 mm – 5 mm. Agregat halus dapat diperoleh dari dalam tanah, dasar sungai atau tepi laut.

Secara umum agregat halus disebut sebagai pasir, agar pasir yang digunakan dapat menghasilkan beton bermutu baik sesuai yang disyaratkan maka pasir harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. berbutir tajam dan keras dimaksudkan untuk kaitan yang baik dalam adukan,
2. bersifat kekal (tidak mudah pecah dan hancur) untuk ketahanan terhadap perubahan lingkungan,
3. tidak mengandung lumpur atau bagian yang lolos ayakan 0.063 mm lebih dari 5%,
4. tidak mengandung bahan organik dikarenakan dapat bereaksi dengan senyawa dari semen portland,

5. gradasi sesuai yang disyaratkan. Gradasi pasir dapat dilihat pada tabel

3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2. Gradasi Standar Agregat Halus (ASTM C-33)

Diameter Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)
9,5	100
4,75	95 - 100
2,36 (No.8)	80 - 100
1,18 (No.16)	50 - 85
0,6 (No. 30)	25 - 60
0,3 (No.50)	10 - 30
0,15 (No. 100)	02 - 10

Sumber: *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02 "Concrete and Agregates". 1997.*

3.2.4. Agregat Kasar

Menurut Mulyono (2005), agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.80 mm. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Berdasarkan pengalaman, komposisi agregat tersebut berkisar 60-70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting.

Agar dapat menghasilkan beton bermutu baik sesuai yang disyaratkan, maka agregat kasar harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. berbutir keras dan tidak berpori agar dapat menghasilkan beton yang keras dan sifat tembus air kecil,
2. bersifat kekal (tidak mudah hancur dan pecah),
3. tidak mengandung lumpur lebih dari 1%,

4. tidak mengandung zat yang reaktif alkali, karena dapat menyebabkan pengembangan beton,
5. tidak boleh lebih dari 20% bentuk butir pipih, karena bentuk butir pipih kurang mampu menahan beban, rongga besar, dan membutuhkan pasta semen cukup banyak,
6. memiliki gradasi yang baik agar beton yang dihasilkan pampat.

Susunan besar butiran agregat kasar dapat dilihat pada tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.3 Susunan Besar Butiran Agregat Kasar

Diameter Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)
38,1	95 - 100
19,1	35 - 70
9,52	10-30
4,75	0 - 5

Sumber: ASTM, 1991.

3.3 Bahan Tambah

Mulyono (2005) mengatakan bahwa, bahan tambah (*admixture*) adalah bahan-bahan yang ditambahkan kedalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya.

Admixture atau bahan tambah didefinisikan dalam *Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) sebagai material

selain air, agregat, dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi (Mulyono, 2005).

Beberapa tujuan yang penting dari penggunaan bahan tambah menurut *manual of concrete practice* dalam *Admixtures and Concrete* (ACI.212.1R-81, Revised 1986) antara lain:

1. memodifikasi beton segar, mortar, dan *grouting*,
2. memodifikasi beton keras, mortar dan *grouting*.

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*) (Mulyono, 2005).

3.3.1. Bahan tambah kimiawi (*chemical admixture*)

Bahan tambah kimiawi bertujuan untuk mengubah beberapa sifat beton. Jenis dan definisi bahan tambah kimia adalah sebagai berikut ini (Mulyono, 2005):

- a. Tipe A “*Water-Reducing Admixtures*”

Water-reducing admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

b. Tipe B “*Retarding Admixtures*”

Retarding admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Penggunaannya untuk menunda waktu pengikatan beton (*setting time*) misalnya karena kondisi cuaca yang panas, atau memperpanjang waktu untuk pemadatan untuk menghindari *cold joints* dan menghindari dampak penurunan saat beton segar pada saat pengecoran dilaksanakan.

c. Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

Accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan (hidrasi) dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton.

d. Tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*”

Water reducing and retarding admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E “*Water Reducing and Accelerating Admixtures*”

Water reducing and accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F ”*Water Reducing, High Range Admixtures*”

Water reducing, high range admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

g. Tipe G “*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*”

Water reducing, high range retarding admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton.

3.3.2. Bahan tambah mineral (*additive*)

Bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Beberapa bahan tambah mineral ini adalah *pozzolan, fly ash, slag dan silica fume* (Mulyono, 2005). Beberapa keuntungan penggunaan bahan tambah mineral antara lain (Cain, 1994):

- a. memperbaiki kinerja *workability*,
- b. mengurangi panas hidrasi,
- c. mengurangi biaya pekerjaan beton,
- d. mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat,
- e. mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika,
- f. mempertinggi usia beton,
- g. mempertinggi kekuatan tekan beton,

- h. mempertinggi keawetan beton,
- i. mengurangi penyusutan,
- j. mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

3.4 Fly Ash

Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. *Fly ash* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang yang normal yang dihasilkan dari pembakaran batubara *antrasit* atau batubara *bitomius* dan abu terbang kelas C yang dihasilkan dari batubara jenis *lignite* atau *subbitumeus*. Kandungan kimia yang dibutuhkan dalam *fly ash* tercantum dalam Tabel 3.4 (ASTM C.618-95: 305) sebagai berikut:

Tabel 3.4 Kandungan Kimia *Fly Ash*

Senyawa Kimia	Jenis F	Jenis C
Oksida Silika (SiO ₂) + Oksida Alumina (Al ₂ O ₃) + Oksida Besi (Fe ₂ O ₃), minimum %	70.0	50.0
Trioksida Sulfur (SO ₃), maksimum %	5.0	5.0
Kadar Air, maksimum %	3.0	3.0
Kehilangan Panas, maksimum %	6.0	6.0

Sumber: ASTM C.618-95: 305.

3.5 High Volume Fly Ash Concrete (HVFAC)

Beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) adalah beton yang memiliki kadar *Fly Ash* mencapai 50% atau lebih dari total berat binder (Mehta, 2002). Beton *High Volume Fly Ash* memiliki nilai kuat tekan yang rendah pada awal umur

beton namun akan terjadi peningkatan kekuatan yang cukup signifikan ketika berumur 28 dan 56 hari (Herbudiman dan Akbar, 2015)

3.6 Superplasticizer

Ada tiga jenis *Superplasticizer* berdasarkan kandungan klorida, diantaranya (Paulus, 1989) :

1. Kondensasi sulfonat melamin formaldehid dengan kandungan klorida sebesar 0.005%,
2. Sulfonat naftalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan,
3. Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida.

Superplasticizer berfungsi untuk mengontrol dan menghasilkan nilai *Slump* yang optimal pada beton segar, sehingga dapat dihasilkan kinerja pengecoran beton yang baik. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan kadar *Superplasticizer* akan optimum digunakan pada kadar 2% dari berat semen (Pujianto, 2010).

3.7 Umur Beton

Secara umum kekuatan beton akan bertambah seiring dengan naiknya umur beton. Mulyono (2005), kekuatan beton akan naik secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan beton pada kasus-kasus tertentu terus akan bertambah hingga beberapa tahun kedepan.

Kuat tekan rencana beton biasanya dihitung pada umur 28 hari karena laju kenaikan kuat tekan beton menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari.

3.8 Kemudahan Pekerjaan (*Workability*)

Kemudahan pengerjaan (*workability*) dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton (Mulyono, 2005). Semakin plastis kondisi beton maka semakin mudah untuk dikerjakan. Unsur-unsur yang mempengaruhi *workability* pada beton sebagai berikut ini:

1. Jumlah air pencampur,
semakin banyak air yang digunakan maka beton akan semakin mudah untuk dikerjakan.
2. Kandungan semen,
jika faktor air semen (fas) tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannya akan lebih tinggi.
3. Gradasi campuran pasir-kerikil,
jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar yang ada maka akan lebih mudah dikerjakan.
4. Bentuk butiran agregat kasar,
agregat kasar dengan bentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan.
5. Butir maksimum,
6. Cara pemadatan dan alat pemadat.

3.9 Slump

Slump adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengukur tingkat kelecakan suatu adukan beton. Menurut Mulyono (2005), *slump* ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan dan dipadatkan atau dapat memenuhi syarat *workability*. Semakin besar nilai *slump* maka kondisi beton semakin encer dan mudah untuk dikerjakan, sebaliknya jika nilai *slump* semakin kecil maka kondisi beton semakin kental dan sulit untuk dikerjakan. Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut:

Tabel 3.5 Nilai *Slump* Beton Segar

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12.5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur bawah tanah	9	2.5
Pelat, balok, kolom, dinding	15	7.5
Perkerasan jalan	7.5	5
Pembetonan masal (beton massa)	7.5	2.5

Sumber: Tjokrodinuljo, 2007.

3.10 Kuat Tekan Beton

Sifat beton pada umumnya lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi. Dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah faktor air semen (fas), umur beton, kepadatan, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat.

Sesuai dengan SNI 1974-2011, untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dari hasil pengujian dengan mesin uji diformulasikan sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

$f'c$ = kuat tekan (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji silinder (mm²)

Benda uji yang digunakan dalam pengujian nilai kuat tekan beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

3.11 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas adalah perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk dalam satuan panjang sebagai akibat dari tekanan yang telah diberikan. Menurut SNI-03-1726-2002 dan SNI-03-2847-2002 untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas beton secara teoritis digunakan rumus sebagai berikut :

$$Ec = w_c^{1,5} (0,043)\sqrt{fc'} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan :

W_c = berat beton (kg/m³)

fc' = mutu beton (MPa)

Ec = modulus elastisitas (Mpa)

Dan untuk beton dengan berat normal yang berkisar 2320 kg/m³ sebagai berikut :

$$Ec = 4700\sqrt{fc'} \dots\dots\dots(3.3)$$

Berdasarkan penelitian oleh Wang, C. K. dan Salmon, C. G., (1986), untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas beton digunakan rumus :

$$E_c = \frac{0,3 \times f_{maks}}{\epsilon_p} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

E_c = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

f_{maks} = tegangan beton maksimum (MPa)

ϵ_p = regangan beton

