

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Beton

Beton pada umumnya adalah campuran antara agregat kasar (batu pecah/alam), agregat halus (pasir), kemudian direkatkan dengan semen *Portland* yang direaksikan dengan air, sehingga mengeras dan menjadi seperti batuan.

Menurut Nawy (1998) ada beberapa parameter yang dapat menentukan kekuatan beton, yaitu :

1. Kualitas semen;
2. Proporsi semen terhadap air dalam campuran;
3. Kekuatan dan kebersihan agregat;
4. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dan agregat;
5. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton;
6. Penempatan yang benar, penyelesaian dan kompaksi beton segar;
7. Perawatan pada temperatur yang tidak lebih rendah dari 50° F pada saat beton hendak mencapai kekuatannya;
8. Kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton ekspos dan 1% untuk beton terlindung.

3.1.1. Beton mutu tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal biasa. Menurut PD T-04-2004-C tentang Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi, yang tergolong beton bermutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan antara 40 – 80 MPa.

Berdasarkan definisi beton normal dan beton mutu tinggi, yang menjadi perbedaan mendasar antara keduanya adalah pada kuat tekan beton yang dihasilkan. Beton normal memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan beton mutu tinggi.

3.2. Material Penyusun Beton Mutu Tinggi

Pada umumnya material penyusun beton mutu tinggi tidak berbeda jauh dengan beton normal, yaitu semen, agregat kasar dan halus, serta air. Seperti yang sudah dijelaskan di atas bahwa untuk memperoleh beton dengan mutu tinggi dibutuhkan nilai *fas* yang lebih kecil dibandingkan beton normal biasa, sehingga diperlukan bahan tambah lain untuk menjaga *workability* beton. Selain itu dibutuhkan beton yang lebih padat atau dengan kata lain rongga yang ada pada beton harus dikurangi. Secara rinci material penyusun beton mutu tinggi dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.2.1. Semen *Portland*

Semen merupakan bahan ikat yang penting dalam campuran adukan beton, karena berfungsi untuk mengikat agregat kasar dan agregat halus sehingga menyatu dan mengeras seperti batuan. Akan tetapi, semen akan berfungsi sebagai pasta jika direaksikan dengan air. Oleh karena itu, dalam campuran adukan beton dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok aktif dan kelompok pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan kelompok pasif yaitu agregat kasar dan agregat halus.

Menurut SNI 15-2049-2004 semen *Portland* dibedakan menjadi 5 jenis/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.

Semen tidak dapat bereaksi tanpa adanya air sebagai pereaksinya. Menurut Tjokrodimuljo (2003), Semen dan air termasuk dalam bahan perekat dimana setelah dicampurkan mengalami reaksi kimia menjadi pasta dan dalam beberapa jam mulai merekat dan dalam beberapa hari menjadi keras. Reaksi kimia antara semen dan air dapat ditulis sebagai berikut :



dimana :

$\text{CaO}.\text{SiO}_2$	= Unsur dalam semen (kalsium silikat)
H_2O	= Air
$\text{CaO}.\text{SiO}_2.\text{H}_2\text{O}$	= Tobermorite, hasil reaksi yang keras
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	= Kapur bebas, hasil sampingan

3.2.2. Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70 persen volume mortar atau beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonna, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu

bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. (Tjokrodimuljo, 2010)

Secara umum agregat dapat diperoleh langsung dari alam atau diolah. Untuk agregat kasar dibagi menjadi dua, yaitu : batu alam dan batu pecah. Sedangkan untuk agregat halus (pasir) kebanyakan diambil langsung dari alam, yaitu dari dalam tanah (pasir galian), dari sungai (pasir sungai), dan dari tepi laut (pasir laut).

Karena agregat, baik itu agregat kasar maupun agregat halus, bersumber langsung dari alam, maka tidak terlepas dari adanya kandungan lumpur dan kandungan-kandungan zat organik yang kurang baik untuk campuran adukan beton. Oleh karena itu sebelum pembuatan benda uji perlu dilakukan pemeriksaan *sample* agregat kasar dan agregat halus. Pemeriksaan bahan itu meliputi pemeriksaan kandungan lumpur, kandungan zat organik agregat halus, berat jenis dan penyerapan, gradasi agregat, kadar air, dan keausan agregat kasar.

Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh agregat halus atau pasir adalah berbutir tajam dan keras yang dimaksudkan untuk kaitan yang baik dalam adukan, bersifat kekal (tidak mudah pecah dan hancur) untuk ketahanan terhadap perubahan lingkungan (panas, hujan), tidak mengandung lumpur

(bagian yang lolos ayakan 0,063 mm) lebih dari 5 %, tidak mengandung bahan organik.

Dalam SK-SNI-T-15-1990-03 kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, sebagai berikut:

Tabel 3.1. Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,0	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan : Daerah I : pasir kasar
 Daerah II : pasir agak kasar
 Daerah III : pasir agak halus
 Daerah IV : pasir halus

Sedangkan untuk agregat kasar syarat-syarat yang harus dipenuhi adalah berbutir keras dan tidak berpori agar dapat menghasilkan beton yang keras dan sifat tembus air kecil, bersifat kekal (tidak mudah hancur atau pecah), tidak mengandung lumpur lebih dari 1 persen. Tidak mengandung zat yang reaktif alkali (dapat menyebabkan pengembangan beton), tidak boleh lebih dari 20 persen butir berbentuk pipih (butir pipih kurang mampu menahan beban, rongga besar, membutuhkan pasta semen banyak), dan bergradasi baik agar beton yang dihasilkan pampat.

Tabel 3.2. Gradasi Kerikil

Lubang	Besar butir maksimum (% berat butir yang lewat ayakan)	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

3.2.3. Air

Dalam campuran adukan beton air berfungsi untuk mereaksikan semen agar dapat melekatkan agregat kasar maupun agregat halus. Selain itu juga membuat adukan beton mudah dikerjakan. Secara umum syarat yang diperlukan untuk air sebagai bahan campuran beton yaitu memenuhi syarat air bersih. Perlu diperhatikan jumlah air yang digunakan dalam campuran, karena jika kekurangan air maka adukan akan menjadi sulit dikerjakan, tetapi jika kelebihan air maka adukan menjadi terlalu encer yang dapat menyebabkan *bleeding* yang mengurangi kekuatan beton.

Selain itu menurut Tjokrodinuljo (2010) kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal serta kekuatan beton setelah mengeras. Adanya lumpur dalam air di atas 2 gram/liter dapat mengurangi kekuatan beton. Air dapat memperlambat ikatan awal beton sehingga beton belum mempunyai kekuatan dalam umur 2-3 hari. *Sodium karbonat* dan

potassium dapat menyebabkan ikatan awal sangat cepat dan konsentrasi yang besar akan mengurangi kekuatan beton.

3.2.4. Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan yang memiliki kemampuan untuk memperbaiki dan menambahkan kemampuan dari bahan susun yang sudah ada. Dengan adanya penambahan *additive* ini diharapkan kualitas adukan akan semakin meningkat.

a. Abu terbang (*fly ash*), adalah bahan sisa pembakaran batu bara yang halus dan ringan. Abu terbang (*fly ash*) memiliki kadar silikat dan aluminat yang reaktif yang dapat dimanfaatkan untuk mengikat kapur bebas (Ca(OH)_2) dari hasil sampingan antara air dan semen menjadi tobermorite, dengan bentuk reaksi sebagai berikut :



b. *Silica fume*, *Silica fume* yang secara fisik lebih halus dari pada semen dan secara kimia mengandung unsur SiO_2 yang tinggi, akan dapat menambah kekuatan beton apabila digunakan sebagai bahan tambahan pada beton. Pemikiran ini sangat beralasan karena secara mekanik *silica fume* akan mengisi rongga antara butiran semen dan secara kimiawi akan

memberikan sifat hidrolis pada kapur mati yang dihasilkan dari proses hidrasi. (Sebayang, 2011).

c. *Superplasticizer*, pada beton mutu tinggi nilai *f_{as}* akan dibuat lebih kecil dibandingkan beton normal biasa. Oleh karena itu dibutuhkan bahan tambah yang dapat mempertahankan *workability* dari adukan beton itu. *Superplasticizer* atau *high range water reducer* berfungsi untuk bisa mengontrol dan menghasilkan nilai *slump* yang optimal pada beton segar, sehingga bisa dihasilkan kinerja pengecoran beton yang baik. Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan kadar *superplasticizer* akan optimum digunakan pada kadar 2% dari berat semen.

d. *Filler pasir kuarsa*, kuarsa adalah bahan galian yang terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. kuarsa juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama, seperti kuarsa dan *feldspar*. Hasil pelapukan kemudian tercuci dan terbawa oleh air atau angin yang terendapkan di tepi-tepi sungai, danau, atau laut. Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , dan K_2O , berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya, kekerasan 7 (skala Mohs), berat jenis

2,65, titik lebur 17150° C, bentuk Kristal hexagonal, panas spesifik 0,185, dan konduktivitas panas $12-1000^{\circ}$ C. (Nugraheni, 2011). Dalam penelitian ini digunakan *filler* pasir kuarsa dengan ukuran diameter *mesh* 200 atau sekitar 0,074 mm.

3.3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton dapat diartikan sebagai kemampuan beton menahan gaya tekan. Nilai kuat tekan ini diperoleh dari perbandingan antara beban yang dapat ditahan beton hingga hancur dengan luas penampang beton yang diuji.

Menurut Tjokrodinuljo (2010) pada dasarnya kuat tekan beton tergantung pada tiga hal, yaitu :

1. kekuatan pasta (air dan semen),
2. daya rekat antara pasta dan permukaan butir-butir agregat, dan
3. kuat tekan agregat

Dari ketiga butir di atas, biasanya secara lebih rinci diuraikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut :

- a. Umur beton, kuat tekan beton akan bertambah seiring dengan bertambahnya umur beton. Yang dimaksudkan umur disini dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kekuatan beton ini

akan sangat cepat di awal dan berangsur-angsur melambat. Laju kenaikan ini akan sangat kecil saat beton berumur 28 hari. Secara umum dianggap bahwa pada umur 28 hari tidak ada lagi kenaikan kekuatan beton. Oleh karena itu, sebagai standar kuat tekan beton diambil saat umur beton 28 hari.

- b. Faktor air-semen (fas), hubungan antara fas dan kuat tekan beton secara umum adalah semakin rendah nilai fas, semakin tinggi kuat tekan betonnya. Namun, jika demikian maka beton akan semakin sulit dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai dimana nilai fas dapat optimal untuk mendapatkan kuat tekan beton yang maksimum.
- c. Kepadatan beton, kekuatan beton akan berkurang jika kepadatan beton berkurang. Beton yang kurang padat berarti memiliki banyak rongga sehingga membuat kuat tekannya berkurang.
- d. Jumlah pasta semen, pasta semen disini berfungsi untuk merekatkan agregat-agregat dan juga sekaligus untuk mengisi pori-pori dari agregat. Jika pasta semen jumlahnya kurang maka agregat tidak seluruhnya terselimuti pasta dan akan semakin banyak pori yang kosong, sehingga kuat tekan beton akan menjadi berkurang. Akan tetapi jika jumlahnya berlebih, maka kuat tekan akan didominasi oleh pasta semen yang juga tidak baik untuk kuat tekan beton. Oleh karena itu,

diperlukan perhitungan yang tepat untuk jumlah pasta semen yang digunakan.

- e. Jenis semen, semen *Portland* yang biasa digunakan ada beberapa jenis sesuai dengan kebutuhan. Oleh karena itu perlu diperhatikan tipe yang akan digunakan dalam pembuatan campuran adukan beton.
- f. Sifat agregat, baik agregat halus maupun agregat kasar memiliki beberapa sifat yang mempengaruhi kuat tekan beton, yaitu :
 1. Kekasaran permukaan, semakin kasar permukaan agregat maka kuat tekan beton yang dihasilkan lebih baik, karena memiliki daya rekat yang lebih baik.
 2. Bentuk agregat, agregat yang bersudut seperti batu pecah membuat butir-butir agregat saling mengunci dan sulit digeser, sehingga menghasilkan kuat tekan beton yang lebih baik dibandingkan dengan beton yang tidak bersudut seperti kerikil.
 3. Kuat tekan agregat, karena sekitar 70 persen volume beton terisi agregat, sehingga kuat tekan beton didominasi oleh kuat tekan agregat. Oleh karena itu untuk memperoleh beton yang memiliki kuat tekan yang tinggi dibutuhkan pula agregat yang memiliki kuat tekan yang tinggi.

3.4. Modulus Elastisitas Beton

Sifat elastisitas suatu bahan sangat erat hubungannya dengan kekakuan suatu bahan dalam menerima beban. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang. Semakin besar modulus elastisitas semakin kecil lendutan yang terjadi. Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan beton menahan beban yang besar dengan kondisi regangan yang terjadi kecil. Untuk beton normal biasanya memiliki modulus elastisitas antara 25 kN/mm² sampai dengan 36 kN/mm².(Chu-Kia Wang dan Charles G.Salmon. 1986).

Untuk memperoleh nilai modulus elastisitas dilakukan pengujian langsung di laboratorium dengan mengamati perubahan panjang dengan *compressometer*. Untuk memperoleh nilai modulus elastisitas beton digunakan perhitungan secara umum yang dapat dituliskan pada persamaan 3-5, 3-6, dan 3-7 sebagai berikut :

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3-5)$$

$$f = \frac{P_{maks}}{A_0} \quad (3-6)$$

$$\varepsilon = \frac{0,5 \times \Delta P}{P_0} \quad (3-7)$$

Keterangan :

E = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

f = tegangan (MPa)

ϵ = regangan

P_{maks} = Beban maksimum benda uji (N)

P_o = Panjang awal benda uji (mm)

A_o = luas tampang benda uji (mm²)

ΔP = perubahan panjang benda uji (mm)

