

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Beton

Beton berdasarkan SNI-03-2847-2007 didefinisikan sebagai campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk masa padat. Paulus (1989) mendefinisikan beton sebagai campuran dari dua bagian yaitu agregat dan pasta. Pasta terdiri dari semen *portland* dan air, yang mengikat agregat halus dan agregat kasar menjadi suatu massa yang menyerupai batuan ketika pasta tersebut mengeras akibat reaksi antara semen dan air. Beton akan bertambah kekuatannya seiring dengan penambahan umur.

Hidrasi beton merupakan reaksi antara kalsium silikat dan kalsium aluminat dengan air yang menghasilkan fase terhidrasi, hal ini menyebabkan masa terhidrasi untuk mengisi ruang sehingga menghasilkan masa kaku yang saling mengunci (*interlocking*) yang mana porositasnya merupakan fungsi dari faktor air semen dari campuran beton (Newman & Choo, 2003). Semakin rendah suatu faktor air semen maka semakin tinggi kuat tekan suatu beton dan semakin tahan pula beton tersebut terhadap penetrasi bahan-bahan yang dapat merusak (Newman & Choo, 2003). Bahan penyusun beton terdiri dari semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air.

1. Semen

Semen adalah bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. Semen sendiri dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu semen non hidrolis dan semen hidrolis.

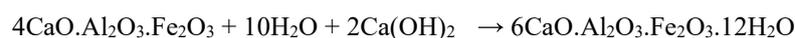
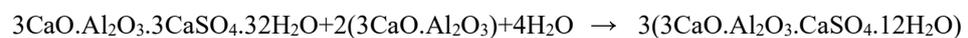
Semen non hidrolis adalah semen yang tidak dapat mengeras dengan air, akan tetapi perlu udara untuk dapat mengeras, contoh utama dari jenis semen non-hidrolis adalah kapur. Sedangkan untuk semen hidrolis mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras didalam air, semen hidrolis antara lain meliputi, tetapi tidak terbatas pada bahan-bahan sebagai berikut : kapur hidrolis, semen teras, semen terak, semen alam, semen *portland*.

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen, terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Berdasarkan SK SNI 15-2049-2004, Semen *Portland* dibagi menjadi 5 (lima jenis) berdasarkan jenis dan penggunaannya, antara lain :

- a. Jenis I yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- e. Jenis V yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Proses hidrasi yang terjadi pada semen *portland* dapat dinyatakan dalam persamaan kimia sebagai berikut :



Pada reaksi hidrasi semen, C_3S dan C_2S bereaksi dengan air membentuk Trikalsium silikat hidrat yang di sebut dengan gel tobermorite atau gel kalsium silikat hidrat (*CSH gel*) dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Reaksi hidrasi C_3A

dengan adanya kalsium sulfat membentuk kalsium trisulfoaluminat hidrat (disebut dengan Aft atau *ettringite*), atau kalsium monosulfoaluminat hidrat (disebut dengan AFm atau *monosulfate*). Tanpa adanya kalsium sulfat, C₃A bereaksi dengan air dan kalsium hidrosida membentuk tetrakalsium aluminat hidrat dan C₄AF bereaksi dengan air membentuk kalsium aluminoferrit hidrat.

Di dalam penelitian ini, digunakan 3 merk semen berbeda yaitu semen merk Holcim, Tiga Roda dan Gresik.

Semen Holcim merupakan semen yang dibuat menggunakan proses kering yang memiliki keuntungan produksi yang lebih besar, hemat energi dan panjang kiln yang digunakan lebih pendek. (Firdaus, 2007). Komposisi bahan dalam semen Holcim, Gresik, dan Tiga Roda dapat dilihat pada Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.1 Jenis bahan baku semen Holcim (Firdaus, 2007)

Jenis-Jenis Bahan Baku	Perbandingan Berat (%)
Batu kapur	80-85
Tanah Liat	6-10
Pasir Silika	6-10
Pasir Besi	1
Gypsum	3-5

Tabel 3.2 Jenis bahan baku semen Gresik (Gilank, 2012)

Bahan Baku	Perbandingan Berat (%)
Baru Kapur CaCO ₃	80,00
Tanah Liat 2SiO ₂ .Al ₂ O ₃ .2H ₂ O	15,00
Pasir Silika SiO ₂	4,00
Pasir Besi FeO ₃	1,00

Tabel 3.3 Jenis bahan baku semen Tiga Roda (Anonim, 2015)

Bahan Baku	Perbandingan Berat (%)
CaO	64,39
SiO ₂	20,75
Al ₂ O ₃	5,11
Fe ₂ O ₃	3,17
MgO	6
CaO bebas	0,79
Alkali total	0,39

2. Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen (Sukirman, 2003). Menurut ukurannya, agregat di bedakan menjadi dua yaitu agregat halus dan agregat kasar.

a. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,75 mm. Agregat halus juga disebut dengan pasir. Adapun syarat-syarat halus yang baik digunakan untuk bahan campuran beton, antara lain sebagai berikut:

- 1) agregat halus tidak boleh mengandung kadar lumpur lebih dari 5%,
- 2) agregat halus tidak mengandung zat organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan diatas endapan tidak boleh gelap dari warna standar atau pembanding,
- 3) agregat halus memiliki modulus butir halus antara 1,50-3,80,
- 4) agregat halus tidak boleh reaktif terhadap alkali,

- 5) kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% dan jika di pakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%.

b. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 4,75 mm. Agregat kasar juga disebut kerikil, batu pecah, ataupun split. Adapun syarat-syarat halus yang baik digunakan untuk bahan campuran beton antara lain, sebagai berikut :

- 1) agregat kasar tidak boleh mengandung kadar lumpur maksimum 1%,
- 2) agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali,
- 3) agregat kasar memiliki ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $\frac{1}{3}$ tebal pelat beton, $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan,
- 4) agregat kasar tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%,
- 5) agregat kasar memiliki kekekalan maksimum 12% bagian yang hancur jika diuji dengan natrium sulfat dan jika diuji dengan magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 18%.

c. Pemeriksaan sifat agregat

Pada pengujian ini dilakukan pemeriksaan sifat agregat yang bertujuan mengetahui sifat atau karakteristik agregat yang diperoleh. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1) Analisis gradasi butiran

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butir dari suatu agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran butir yang sama (seragam) maka volume porinya besar dan kemampatannya rendah. Sebaliknya, apabila ukuran butirnya bervariasi maka volume porinya rendah dan kemampatannya tinggi. Sehingga, hal tersebut perlu diadakan pemeriksaan gradasi agregat dalam

pembuatan beton. Pasir dikelompokkan berdasarkan gradasi kekasaran butirannya menjadi beberapa daerah seperti Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Gradasi kekasaran pasir

Lubang (mm)	% Berat Butir Lolos Saringan			
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
10	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	70-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Mulyono, 2004.

Dengan :

Daerah gradasi 1 = Pasir kasar

Daerah gradasi 2 = Pasir agak kasar

Daerah gradasi 3 = Pasir halus

Daerah gradasi 4 = Pasir agak halus

Modulus halus butir adalah suatu indeks yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar butir-butir agregatnya. Secara matematis nilai modulus halus butir dan modulus butir campuran dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$MHB = \frac{\sum \% \text{ berat tertahan kumulatif}}{\sum \% \text{ berat tertahan}}$$

$$W = \frac{K-C}{C-P} \times 100\% \dots \dots \dots (3. 1)$$

dengan :

MHB = modulus halus butir

W = persentase berat agregat halus terhadap berat agregat kasar

K = modulus halus butir agregat kasar

P = modulus halus butir agregat halus

C = modulus halus butir agregat campuran

2) Berat jenis dan penyerapan air

Berat jenis adalah perbandingan berat tersebut terhadap volume benda itu sendiri. Sedangkan penyerapan berarti tingkat atau kemampuan untuk menyerap air. Nilai yang disarankan untuk berat jenis lebih dari 2,50 dan penyerapan kurang dari 3%. Secara matematis nilai berat jenis dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$B_j = \frac{w_b}{w_a} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan :

B_j = berat jenis

W_a = berat air dengan volume air sama dengan volume butir agregat (gram)

W_b = berat butir agregat (gram)

3) Pengujian Kadar Air

Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang tergantung dalam agregat dengan agregat dalam keadaan kering. Jumlah air yang terkandung di dalam agregat perlu diketahui, karena akan mempengaruhi jumlah air yang diperlukan didalam campuran beton. Agregat yang banyak mengandung air, akan membuat FAS yang ada didalam campuran beton semakin banyak. Kadar air dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$KA = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan :

KA = kadar air (%)

W₁ = berat basah (gram)

W₂ = berat kering oven (gram)

4) Pengujian Berat Satuan

Berat satuan agregat adalah rasio antara berat agregat dan isi/volume. Berat isi agregat diperlukan dalam perhitungan bahan campuran beton. Perhitungan berat satuan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$B_{sat} = \frac{w_b}{V_t} \dots \dots \dots (3.4)$$

Dengan :

B_{sat} = berat satuan (kg/cm³)

W_b =berat butir-butir agregat dalam bejana (kg)

$V_t = V_b + V_p$

V_t = volume total bejana (m³)

V_b = volume butiran agregat dalam bejana (m³)

V_p =Volume pori terbuka antar butir-butir agregat dalam bejana

5) Pemeriksaan kadar lumpur

Lumpur adalah gumpalan atau lapisan yang menutupi permukaan agregat dan lolos ayakan No.200. kandungan lumpur pada permukaan butrian agregat akan mempengaruhi kekuatan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga mengurangi kekuatan dan ketahanan beton. Klasifikasi kadar lumpur agregat halus dan kasar terdapat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Klasifikasi kadar lumpur pada agregat

Agregat Halus (Pasir)	Agregat kasar (Kerikil)
Bersih (0%-3%)	Bersih (<1%)
Sedang (3%-5%)	
Kotor (5%-7%)	

Sumber : SK SNI S-04-1989-F

6) Pengujian keausan

Pemeriksaan keausan agregat adalah untuk mengetahui angka keausan suatu agregat, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan yang aus lolos saringan No. 12 terhadap berat mula-mula dalam persen (%) dan juga sebagai acuan untuk menentukan ketahan agregat kasar terhadap keausan dengan

menggunakan mesin abrasi Los Angeles. Persyaratan untuk kekuatan agregat normal seperti pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Persyaratan kekuatan agregat kasar untuk beton normal

Kelas dan Mutu Beton	Bejana <i>Rudeloff</i> maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 2mm (%)		Mesin Los Angeles maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1,7 mm (%)
	Ukuran butir 19-30 (mm)	Ukuran butir 9,5-19 (mm)	
Kelas I mutu B0 dan B1	30	32	50
Kelas II mutu K-125 ($f_c' = 10$ MPa) sampai ($f_c' = 20$ MPa)	22	24	40
Kelas III mutu di atas K-225 ($f_c' = 20$ MPa)	14	16	27

Sumber : Tjokrodinuljo, 2007

3. Air

Air sangat diperlukan dalam proses pencampuran beton. Air diperlukan dalam proses hidrasi semen. Air yang digunakan dalam campuran tidak boleh memiliki kandungan alkali, asam sulfat, minyak, zat organik dan bahan lainnya yang dapat merusak beton dan tulangan beton.

Faktor air semen adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas semen. Kadar air semen yang terlalu banyak akan menyebabkan segregasi pada campuran beton. Selain itu kadar air yang berlebih akan menyebabkan rongga pada beton yang dapat menurunkan kuat tekan beton. Faktor air semen yang rendah akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi akan tetapi campuran beton dengan faktor air semen yang rendah akan memiliki *workability* yang rendah, oleh karena itu pada semen dengan FAS rendah perlu diberi tambahan salah satunya adalah *superplasticizer*.

Menurut SNI S-04-1989-F, Air sebagai bahan campur beton untuk bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut.

- a. Air harus bersih
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh dari 2 gram per liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung *khlorida* (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton pra-tegang kandungan *khlorida* tidak boleh dari 0,05 gram per liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO₃) lebih dari 1 gram/liter.

B. Bahan Tambah (*Superplasticizer*)

Superplasticizer merupakan bahan tambah yang seringkali digunakan dalam campuran beton, *superplasticizer* merupakan salah satu dari bahan tambahan pendispersi. *Superplasticizer* bekerja dengan melekat pada permukaan partikel semen sehingga menyebabkan partikel semen lebih terdistribusi lebih merata pada saat kondisi cair, hal ini menyebabkan campuran lebih cair sehingga kebutuhan air dalam campuran berkurang (Newman & Choo, 2003). Oleh karena sifatnya tersebut, *superplasticizer* digunakan dengan tujuan antara lain:

- (a) Meningkatkan kelecakan campuran beton
- (b) Meningkatkan *workability* campuran
- (c) Mengurangi kebutuhan air atau faktor air semen
- (d) Meningkatkan mutu beton

Penggunaan *superplasticizer* berkisar antara 0,6% - 1,5% dari berat semen dengan pengurangan air berkisar antara 12% - 30%. Pada dasarnya *superplasticizer* tidak berpengaruh terhadap kekuatan beton secara langsung, akan tetapi penambahan *superplasticizer* memungkinkan suatu campuran beton dengan faktor air semen yang relatif kecil memiliki *workabilitas* yang baik, sehingga campuran dengan faktor air semen yang baik tersebut dapat dipadatkan dan dikerjakan dengan baik. Seperti yang

sudah diketahui sebelumnya bahwa semakin kecil kandungan air semen dalam suatu campuran maka akan makin padat dan makin tinggi kuat tekan suatu beton.

C. Karakteristik Beton

Karakteristik beton sendiri akan mempengaruhi besarnya kuat tekan yang akan dihasilkan. Di dalam penelitian ini, pengujian karakteristik beton meliputi penyerapan dan kuat tekan.

1. Penyerapan

Penyerapan air pada beton merupakan salah satu pengaruh dalam menghasilkan kuat tekan beton yang baik. Semakin banyak penyerapan yang dihasilkan, maka kuat tekan beton yang dihasilkan akan menurun. Penyerapan dapat dihitung dengan Persamaan 3.5 berikut.

$$P_A = \frac{B_b - B_a}{B_a} \times 100 \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan:

P_A = Penyerapan air (%)

B_a = Berat awal beton (kg)

B_b = Berat setelah perendaman (kg)

2. Kuat Tekan

Beton dengan kinerja baik dapat dilihat dari kuat tekan yang dihasilkan. Semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan, maka beton tersebut memiliki mutu beton yang baik. Faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah proporsi campuran, pengadukan pada saat pembuatan, pembuatan, pemadatan dan perawatan beton itu sendiri. Kuat tekan silinder beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 berikut.

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3.6)$$

dengan :

f_c' = kuat tekan silinder beton (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = luas bidang tekan (mm^2)

D. Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton biasanya menjadi parameter dalam menentukan kualitas beton. Faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan beton antara lain:

1. Agregat, agregat merupakan salah satu penyusun utama beton sehingga kualitas agregat seperti permukaan, gradasi, ukuran, porositas, ketahanan terhadap abrasi, berat jenis, penyerapan dan lain-lain, menentukan kuat tekan beton.
2. Faktor air semen, merupakan perbandingan antara air dan semen dalam suatu campuran beton. Semakin besar faktor air semen maka semakin besar rendah kuat tekan beton, hal ini disebabkan karena beton dengan faktor air semen yang tinggi akan memiliki pori-pori yang tinggi sehingga kuat tekan yang dihasilkan rendah. Sedangkan beton dengan faktor air semen yang rendah akan memiliki kuat tekan yang tinggi karena beton dengan faktor air semen rendah lebih padat dibandingkan beton dengan faktor air semen yang tinggi.
3. Umur beton, semakin lama terjadinya proses hidrasi yaitu proses antara semen dan air maka kuat tekan beton semakin besar.
4. Perawatan beton (*curing*), perawatan beton adalah proses yang bertujuan untuk menjaga suhu pada saat proses hidrasi.
5. Kadar semen, semakin tinggi kadar semen dalam beton, maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan.
6. *admixture*, penggunaan bahan tambah seperti *pozzolan* dan *superplasticizer* yang membantu meningkatkan workabilitas dan proses hidrasi semen dapat meningkatkan kuat tekan beton.
7. Jenis semen, tiap jenis semen yang digunakan untuk tujuan khusus seperti semen yang memiliki ketahanan terhadap sulfat, semen yang memiliki suhu hidrasi yang rendah dll dapat mempengaruhi kuat tekan tergantung dengan pemanfaat jenis semen tersebut.
8. Porositas, beton yang memiliki porositas tinggi akan memiliki kuat

tekan yang rendah begitu juga beton yang lebih padat akan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi.