

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007), beton adalah campuran antara semen *portland*, agregat kasar, agregat halus, air dan terkadang ditambahkan dengan menggunakan bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan tambah kimia, serat sampai dengan bahan non kimia pada perbandingan tertentu. Menurut SNI 2847-2013, beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, menggunakan bahan tambahan atau tidak menggunakan bahan tambahan (*admixture*).

Kuat tekan beton merupakan tolok ukur utama untuk mengetahui seberapa besar mutu beton yang dihasilkan. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton diantaranya faktor air semen, bahan tambah, tingkat hidrasi, rongga udara, porositas agregat. 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.

B. Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal. 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. Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa.

Beton mutu tinggi bermanfaat pada pracetak dan pratekan. Pada bangunan tinggi mengurangi beban mati. Kelemahannya adalah kegetasannya. Produksi beton mutu tinggi memerlukan pemasok untuk mengoptimalkan 3 aspek yang mempengaruhi kekuatan beton : pasta semen, agregat, dan lekatan semen-agregat. Ini perlu perhatian pada semua aspek produksi, yaitu pemilihan material, *mix design*, penanganan dan penuangan.

C. Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton terdiri dari agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), semen, dan air

1. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai pengisi campuran untuk mortar atau beton. 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 $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ tebal pelat beton, $3/4$ 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 3.1 berikut.

Tabel 3.1 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.

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

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

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 (%)

W_1 = berat basah (gram)

W_2 = 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 butiran agregat akan mempengaruhi kekuatan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga mengurangi kekuatan dan ketahanan beton. Klasifikasi kadar lumpur agregat halus dan kasar adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 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 ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi Los Angeles. Persyaratan untuk kekuatan agregat normal adalah sebagai berikut.

Tabel 3.3 Persyaratan kekuatan agregat kasar untuk beton normal

Kelas dan Mutu Beton	Bejana Rudeloff 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 : Tjokrodimuljo, 2007

2. 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, C_3A bereaksi dengan air dan kalsium hidrosida membentuk tetrakalsium aluminat hidrat dan C_4AF bereaksi dengan air membentuk kalsium aluminoferrit hidrat.

Di dalam penelitian ini menggunakan merk semen Tiga Roda.

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 *klorida* (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton pra-tegang kandungan *klorida* tidak boleh dari 0,05 gram per liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO_3) lebih dari 1 gram/liter.

D. Bahan Tambah Kimia (*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. 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.

E. Bahan Tambah (Limbah Karbit)

Limbah karbit merupakan pembuangan sisa-sisa dari proses penyambungan logam yang menggunakan gas karbit sebagai bahan bakar. Limbah las karbit memiliki kandungan oksida silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3) yang cukup tinggi, sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik beton. Komposisi kimia limbah karbit adalah 60 % mengandung Calsium (CaO), $\text{SiO}_2 = 1,48\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,09\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9,07\%$ dll, diketahui bahwa unsur pembentuk utama dari semen adalah kalsium yang berasal dari batu kapur, dengan begitu maka limbah karbit hasil pengelasan merupakan material pembentuk semen (Rajiman, 2015).

F. Karakteristik Beton

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

1. Nilai FAS

Nilai faktor Air Semen pada beton merupakan salah satu pengaruh penting dalam menghasilkan kuat tekan beton yang baik. Semakin banyak faktor air semen, maka kuat tekan beton yang dihasilkan akan menurun. Faktor air semen dan kuat tekan beton dapat ditulis menurut Duff Abrams (1919, dalam Shetty, 1997) dengan Persamaan 3.5 berikut.

$$f_c = \frac{A}{B^x} \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan:

f_c = kuat tekan beton

X = perbandingan volume antara air dan semen (faktor air semen)

A, B = konstanta

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)

G. Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton

1. Faktor air semen

Faktor air semen perlu dihitung agar campuran air dan semen menjadi pasta yang baik, artinya tidak kelebihan air dan tidak kelebihan semen.

Apabila faktor air semen tinggi, berat air tinggi, sehingga kelebihan air akibatnya air akan keluar membawa sebagian pasta semen, pasta tidak cukup mengikat agregat dan mengisi rongga yang menyebabkan beton tidak kuat. Hal ini perlu dipahami oleh pembuat beton. Terkadang karena menginginkan jumlah pasta yang besar dengan menambahkan air tanpa perhitungan, sehingga beton menjadi encer.

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas-batas dalam hal ini.

Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65. Rata-rata ketebalan lapisan yang memisahkan antar partikel dalam beton sangat bergantung pada faktor air semen yang digunakan dan kehalusan butir semennya.

Pada praktiknya, untuk mengatasi kesulitan pengerjaan karena rendahnya nilai FAS ini, ditambahkan bahan tambah *admixture concrete* yang bersifat menambah keenceran.

2. Pemisahan kerikil (Segregasi)

Beton dikatakan mengalami pemisahan apabila agregat kasar terpisah dari campuran selama pengangkutan, pengecoran dan pemadatan sehingga sukar dipadatkan, berongga-rongga tidak homogen, beton yang berongga-rongga kurang kuat / mudah pecah.

3. Umur beton

Kuat tekan pada beton akan meningkat sesuai dengan bertambahnya umur beton. Ditinjau dari pemakaiannya beton termasuk bahan yang tahan lama. Standar hubungan antara umur dan kuat tekan beton ditetapkan waktu beton berumur 28 hari dengan nilai kuat tekan beton 100%.

4. *Bleeding*

Bleeding adalah pemisahan air dan campuran beton yang merembes kepermukaan beton waktu diangkat, dipadatkan atau setelah dipadatkan

Bleeding terjadi karena :

1. Pemakaian air berlebihan
2. Semennya yang kurang
3. Agregat kasar turun karena beratnya sendiri dan air naik kepermukaan dengan sendirinya akibat gaya kapilaritas

Bleeding dapat mengakibatkan permukaan beton rusak dan apabila penguapan terjadi lebih cepat.

5. Perawatan (*Curing*)

Perawatan beton (*curing*) adalah proses atau langkah untuk menjaga tingkat kelembaban dan temperatur ideal untuk mencegah hidrasi yang berlebihan sehingga menghindari terjadinya retak dan berkurangnya kekuatan beton. Beberapa metode perawatan beton yang biasa dipakai untuk benda uji kubus/silinder yaitu:

1. Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab
2. Menaruh beton segar diatas genangan air
3. Menaruh beton segar didalam air