

BAB III

LANDASAN TEORI

A. Beton

1. Definisi Beton

Beton merupakan bahan dari campuran antara *Portland cement*, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dengan tambahan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis (Sutikno, 2003). Beton yang banyak dipakai pada saat ini adalah beton normal, yaitu beton yang mempunyai berat isi 2200–2500 kg/m³.

2. Material Penyusun Beton

Bahan penyusun dalam pembuatan beton adalah perekat hidrolis (*Portland cement*), agregat halus, agregat kasar dan air.

a) Semen

Semen *portland* adalah bahan pengikat hidrolis berupa bubuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, (bahan ini tertuma terdiri dari silika-silika kalsium yang bersifat hidrolis), dengan batu gips sebagai bahan tambahan.

Semen *portland* adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembuatan beton. Menurut ASTM C-150,1985, semen *portland* didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya, (Mulyono, 2003).

Semen *portland* yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SNI.0013-81, atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986 dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut (PB. 1989:3.2-8). Komposisi utama semen portland ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi utama semen *Portland*

Nama Kimia	Rumus Kimia	Singkatan	% Berat
<i>Tricalcium Silicate</i>	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	50
<i>Dicalcium Silicate</i>	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	25
<i>Tricalcium Aluminate</i>	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	12
<i>Tetracalcium Aluminoferrite</i>	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	8
<i>Gypsum</i>	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	CSH_2	3,5

Sumber : Mulyono (2007)

Peraturan Beton 1989 (SKBI.1.4.53.1989) membagi semen *Portland* menjadi lima tipe (SK.SNI T-15-1990-03:2) yaitu:

1. Tipe I, semen *Portland* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
2. Tipe II, semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Tipe IV, Semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, Semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. (Mulyono, 2007).

b) Agregat Halus

Pasir merupakan bahan pengisi yang digunakan dengan semen untuk membuat adukan. Selain itu juga pasir berpengaruh terhadap sifat tahan susut, keretakan dan kekerasan pada batako atau produk bahan bangunan campuran semen lainnya. Pada pembuatan beton normal ini digunakan pasir yang lolos ayakan kurang dari 5 mm (ASTM E 11-70) dan harus bermutu baik yaitu pasir yang bebas dari lumpur, tanah liat, zat organik, garam florida dan garam sulfat. Selain itu juga pasir harus bersifat keras, kekal dan mempunyai susunan butir (*gradasi*) yang baik. Menurut Persyaratan Bangunan Indonesia (1982: 23) agregat

halus sebagai campuran untuk pembuatan beton bertulang harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Pasir harus terdiri dari butir-butir kasar, tajam dan keras.
2. Pasir harus mempunyai kekerasan yang sama.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 %, apabila lebih dari 5 % maka agregat tersebut harus dicuci dulu sebelum digunakan. Adapun yang dimaksud lumpur adalah bagian butir yang melewati ayakan 0,063 mm.
4. Pasir harus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.
5. Pasir harus tidak mudah terpengaruh oleh perubahan cuaca.
6. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat untuk beton.

c) Agregat Kasar

Agregat kasar pada umumnya berbutir lebih besar dari 4,80 mm, contoh agregat kasar seperti, kerikil, kerikil, batu pecah, atau split. Kerikil sebagai hasil desintregasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecahan batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Menurut SNI 03 – 2847 – 2002, bahwa agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang akan dipakai untuk membuat campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut ini.

- a. Kerikil atau batu pecah harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori serta mempunyai sifat kekal (tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan). Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali jika agregat kasar digunakan untuk membuat beton yang akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah. Agregat yang reaktif terhadap alkali boleh untuk membuat beton dengan semen yang kadar alkalinya dihitung setara Natrium Oksida tidak lebih dari 0,6 %, atau dengan menambahkan bahan yang dapat mencegah

terjadinya pemuaiian yang dapat membahayakan oleh karena reaksi alkali-agregat tersebut.

- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton seperti bahan-bahan yang reaktif sekali dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dengan laruta NaOH.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan apabila mengandung lebih dari 1%, agregat kasar tersebut harus dicuci.
- e. Ukuran butir agregat kasar maksimum tidak boleh lebih daripada 1/5 jarak terkecil antarabidang-bidang samping cetakan, 1/3 dari tebal pelat beton, 3/4 dari jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

Karakteristik Agregat kasar meliputi beberapa hal sebagai berikut :

Agregat kasar adalah butiran yang ukurannya sudah melebihi 4,75 mm (No.4 ASTM C33). Karakteristik agregat kasar yang perlu diperhatikan diantaranya :

- a) Gradasi Agregat Kasar adalah distribusi dari ukuran agregat atau proporsi dari macam-macam ukuran butir agregat berdasarkan analisa saringan. Syarat gradasi menurut *British Standard* (BS).
- b) Modulus Halus Butir (HMB), Spesifikasi modulus halus butiran agregat kasar menurut ASTM, yaitu 5,5%-8,5%.
- c) Absorpsi dan Berat Jenis (*Specific Gravity*), Spesifikasi agregat untuk beton normal menurut ASTM adalah berat jenis agregat kasar yaitu 1,60–3,20 kg/liter.
- d) Berat volume agregat kasar, spesifikasi berat volume agregat kasar menurut ASTM, yaitu 1,6-1,9 kg/liter.
- e) Kadar Air Agregat Kasar, spesifikasi kadar air agregat kasar menurut ASTM, yaitu 0,5%-2,0%.
- f) Persentase Keausan, spesifikasi keausan agregat beton menurut ASTM, yaitu 15%-50%.

- g) Kadar Lumpur, kadar lumpur agregat beton menurut spesifikasi ASTM, yaitu 0,2%-1,0%.

Klasifikasi *Agregat kasar* meliputi beberapa hal sebagai berikut :

- a) Agregat Ringan adalah agregat yang dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat 1100 kg/m³ atau kurang.
- b) Agregat Halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami bantuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.
- c) Agregat Kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari bantuan atau berupabatu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm. Agregat Kasar, adalah agregat dengan ukuran butiran butiran lebih lebih besar besar dari dari saringan saringan No.88 (2,36 mm)
- d) Bahan Pengisi (filler), adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan no. 30 (0,06 mm).

Agregat kasar yang digunakan dalam pembuatan beton harus diketahui tingkat keausannya karena tingkat keausan agregat kasar berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia, agregat kasar perlu diuji tingkat keausannya.

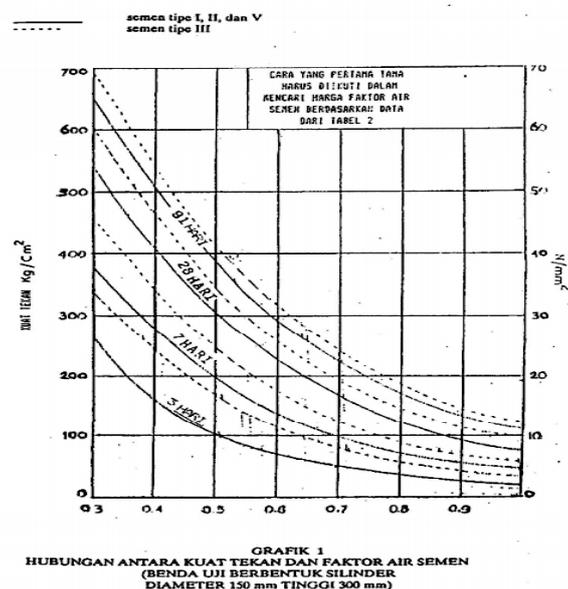
Tabel 3.2 Persyaratan kekerasan agregat kasar

Kekuatan Beton	Maksimum bagian yang hancur dengan mesin <i>Los Angeles</i> , Lolos Ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I (sampai 10 MPa)	50
Kelas II (10 Mpa – 20 MPa)	40
Kelas III (diatas 20 MPa)	27

Sumber: Tjokrodinuljo (2007)

d) Air

Air merupakan salah satu bahan dasar dalam pembuatan beton yang memiliki harga paling murah diantara bahan yang lain. Penggunaan air digunakan untuk mereaksikan semen sehingga menghasilkan pasta semen yang berfungsi untuk mengikat agregat. Selain itu, fungsi air untuk membasahi agregat dan memberi kemudahan dalam pengerjaan. Namun penggunaan air juga sangat berpengaruh pada kuat tekan beton. Penggunaan fas yang terlalu tinggi mengakibatkan bertambahnya kebutuhan air sehingga mengakibatkan pada saat kering beton mengandung banyak pori yang nantinya berdampak pada kuat tekan beton yang rendah. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan bahwa penggunaan fas yang terlalu tinggi menurunkan kuat tekan beton, sebaliknya penggunaan fas yang rendah justru meningkatkan kuat tekan beton namun kemudahan pekerjaan akan semakin sulit sehingga dibutuhkan bahan tambah kimia.



Gambar 3.1 Hubungan faktor air semen dengan kuat tekan

e) Pengujian Pendahuluan

Sebelum dilaksanakan pembuatan benda uji beton perlu dilakukan pengujian pendahuluan. Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa bahan susun

beton yang digunakan dalam pembuatan beton. Seperti pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar. Beberapa pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pemeriksaan gradasi agregat

Gradasi agregat ialah distribusi dari ukuran agregat, bertujuan untuk mengetahui jenis distribusi butiran agregat. Distribusi ini dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu sebagai berikut.

- a. Gradasi sela (*gap grade*) jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada, maka gradasi ini akan menunjukkan satu garis horizontal dalam grafiknya.
- b. Gradasi menerus (*continous grade*) jika agregat yang semua ukuran butirannya ada dan terdistribusi dengan baik.
- c. Gradasi seragam (*uniform grade*) agregat yang mempunyai ukuran yang sama didefinisikan sebagai agregat seragam. Agregat ini terdiri dari batas yang sempit dari ukuran fraksi, dalam diagram terlihat garis yang hampir tegak/vertikal.

Untuk mengetahui gradasi tersebut dilakukan pengujian melalui analisa ayak sesuai standar dari BS 812, ASTM C-33, C136, ASHTO T.27 atau pun standar Indonesia (SNI). (Mulyono, 2004).

2. Pengujian kekuatan agregat

Butir-butir agregat dapat bersifat kurang kuat karena dua sebab, yaitu karena terdiri dari bahan butiran yang lemah atau terdiri dari bahan butiran yang kuat tetapi tidak terikat satu sama lain dengan kuat. Kekuatan agregat dapat diperiksa dengan pengujian yang sesuai. (Tjokrodinuljo, 2010)

Untuk menguji kekuatan agregat dapat menggunakan bejana *Rudelloff* atau *Los Angeles Test*. Mesin uji *Los Angeles Test* berupa silinder baja yang tertutup pada kedua sisinya dengan diameter 71 cm dan panjang 50 cm. Silinder bertumpu pada sebuah sumbu horizontal tempat berputar. Pada silinder terdapat lubang untuk memasukkan benda uji dan tertutup rapat sedemikian sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu. Dibagian dalam silinder terdapat *blade* baja melintang penuh setinggi 8,9 cm. Silinder ini dilengkapi dengan bola-bola baja yang memiliki diameter 4,68 cm dan berat masing-masing antara 390-445 gram,

atau sesuai dengan gradasi benda uji. Untuk mengetahui nilai *Los Angeles*, silinder diputar dengan kecepatan 30-33 rpm. (Mulyono, 2004).

3. Pengujian serapan air agregat

Pada saat terbentuknya agregat kemungkinan ada terdapat udara yang terjebak dalam lapisan agregat, atau terjadi karena dekomposisi mineral pembentuk akibat perubahan cuaca, maka terbentuklah lubang atau rongga kecil di dalam butiran agregat (pori). Pori di dalam agregat mempunyai variasi yang cukup besar dan menyebar diseluruh bagian butiran. Persentase berat air yang mampu diserap agregat di dalam air disebut sebagai serapan air. Serapan air dihitung dari banyaknya air yang mampu diserap oleh agregat pada kondisi jenuh permukaan kering (JPK) atau *Saturated Surface Dry (SSD)*, (Mulyono, 2004).

Resapan efektif dinyatakan dengan banyaknya jumlah air yang diperlukan agregat dalam kondisi kering udara (W_{KU}) menjadi *SSD* (W_{SSD}), dinyatakan dalam rumus berikut.

$$R_{ef} = \frac{W_{SSD} - W_{KU}}{W_{SSD}} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

Resapan efektif (R_{ef}) dipakai untuk menghitung berat air yang akan diserap (W_{sr}) oleh agregat (W_{ag}) dalam adukan beton dengan rumus berikut.

$$W_{sr} = R_{ef} \times W_{ag} \dots \dots \dots (3.2)$$

Sehingga kelebihan air dalam campuran beton yang merupakan kontribusi dari agregat dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$A_{Kel} = \frac{W_{BSH} - W_{SSD}}{W_{SSD}} \times 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

Air lebihan ini dipakai untuk menghitung berat tambahan (W_{tam}) terhadap campuran beton, dengan rumus berikut.

$$W_{tam} = A_{Kel} \times W_{ag} \dots \dots \dots (3.4)$$

Kelebihan (W_{agr}) dan berat pada kondisi *SSD* (W_{SSD}) dapat digunakan untuk menghitung banyaknya kandungan air (K_{air}) dalam agregat yang dinyatakan dalam rumus berikut.

$$K_{Air} = \frac{W_{Agr} - W_{SSD}}{W_{SSD}} \times 100\% \dots \dots \dots (3.5)$$

4. Pengujian kadar air agregat

Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat. Kadar air agregat dapat dibedakan menjadi empat jenis, sebagai berikut.

- a. Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair.
- b. Kadar air kering udara, yaitu kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi sedikit mengandung air dalam porinya dan masih dapat menyerap air.
- c. Jenuh Kering Permukaan atau JPK, yaitu keadaan dimana tidak ada air di permukaan agregat, tapi agregat tersebut masih mampu menyerap air. Pada kondisi ini, air di dalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton.
- d. Kondisi basah, yaitu kondisi dimana butir-butir agregat banyak mengandung air, sehingga akan menyebabkan penambahan kadar air campuran beton.

Dari keempat kondisi tersebut hanya dua kondisi yang sering dipakai yaitu kering tungku dan kondisi *SSD*. Kadar air biasanya dinyatakan dalam persen dan dapat dihitung sebagai berikut.

$$KA = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (3.6)$$

Jika agregat basah ditimbang beratnya (W_1), kemudian dikeringkan dalam tungku dengan suhu $100^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ sampai beratnya konstan (16-24 jam), kemudian ditimbang beratnya (W_2), maka kadar airnya (KA) dapat diketahui, (Mulyono, 2004).

5. Pengujian berat jenis agregat

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis dari agregat akan menentukan berat jenis betonnya, sehingga secara langsung menentukan banyaknya campuran agregat dalam campuran beton, (Mulyono, 2004).

6. Pengujian modulus halus butir agregat

Modulus halus butir (*finer modulus*) atau biasa disingkat MHB didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal diatas satu set ayakan (38; 19; 9,6; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3 dan 0,15 mm) kemudian nilai tersebut

dibagi dengan seratus, (Tjokrodinuljo, 2010). Semakin besar MHB suatu agregat maka semakin besar butiran agregatnya. Agregat halus memiliki MHB sekitar 1,50-3,8 dan kerikil sekitar 5-8, sedangkan untuk agregat campuran nilai MHB yang dipakai adalah 5,0-6,0. Hubungan ketiga MHB tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$W = K - C / C - P \times 100\% \dots\dots\dots (3.7)$$

7. Pengujian kadar lumpur agregat

Tanah liat dan lumpur yang sering terdapat dalam agregat, mungkin berbentuk gumpalan atau lapisan yang menutupi lapisan butiran agregat. Tanah liat dan lumpur pada permukaan butiran agregat akan mengurangi kekuatan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga dapat mengurangi kekuatan dan ketahanan beton. Lumpur dan debu halus hasil pemecahan batu adalah partikel berukuran 0,0075. Adanya lumpur dan tanah liat menyebabkan bertambahnya air pengaduk yang diperlukan dalam pembuatan beton, disamping itu pula akan menyebabkan berkurangnya ikatan antara pasta semen dengan agregat sehingga akan menyebabkan turunya kekuatan beton yang bersangkutan serta menambah penyusutan dan creep.

Proses pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat sebagai berikut :

1. Diambil benda uji lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap, kemudian ditimbang dan diambil sampel sebanyak ± 1000 gram (B_1).
2. Benda uji dicuci beberapa kali sampai bersih, ditandai dengan air cucian tampak jernih, setelah itu benda uji dikeluarkan dari gelas ukur pencuci dengan hati-hati jangan sampai benda uji tersebut ada yang hilang.
3. Kemudian benda uji dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap, kemudian ditimbang beratnya (B_2).
4. Hitung kadar lumpur dengan rumus sebagai berikut :

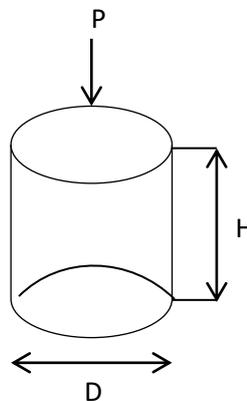
$$= \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\% \dots\dots\dots (3.8)$$

8. Pengujian berat satuan agregat

Berat satuan atau berat volume adalah perbandingan antara berat dan volume agregat termasuk pori-pori antar butirnya. Jadi berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat satuan kg/lt, atau t/m³.

f) Uji Tekan

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004). Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f'_c) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan.



Gambar 3.2 Benda uji silinder

Rumus yang digunakan pada gambar 3.2 untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan :

f'_c = Kuat Tekan, (MPa)

P = Beban tekan (kg)

A = Luas bidang tekan (cm²)

g) Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah kemiringan garis singgung dari kondisi tegangan nol ke kondisi tegangan 25-50% dari f'c pada kurva tegangan regangan beton. Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastisitas beton sebagai berikut :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3.10)$$

Dengan:

E_c = modulus elastisitas (Mpa)

f'c = kuat tekan beton (Mpa)