

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Beton.

Beton adalah hasil campuran antara air, semen, pasir dan kerikil yang memiliki perbandingan tertentu yang disesuaikan dengan fungsi dan tujuan pembuatan beton tersebut. Pada prinsipnya beton tersebut direkatkan oleh semen yang dicampur dengan air yang mengikat agregat kasar maupun agregat halus. Perekatan pasta semen pada agregat ini dengan cara mengisi rongga-rongga sehingga harus diperhitungkan dan memiliki perbandingan yang baik sehingga beton yang dihasilkan pun memiliki kualitas yang baik.

Beton juga merupakan salah satu bahan yang tidak bisa dihilangkan dalam pembangunan. Beton juga memiliki peranan penting dalam menentukan umur dan kekuatan suatu bangunan. Hal itu terjadi karena beton memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari beton menurut Kardiyono (2007) adalah :

1. Harganya relatif murah karena bahan-bahannya tersedia di alam bebas kecuali semen.
2. Biaya perawatannya murah karena beton adalah elemen yang awet, tahan aus, dan tahan api.
3. Kuat tekan beton sangat tinggi.
4. Beton segar sangat mudah untuk dipindahkan, dicetak dan dibentuk.

Selain memiliki kelebihan, beton juga memiliki kekurangan menurut Nugaha

dan Antoni (2007) kekurangannya adalah:

1. Kuat tariknya rendah.
2. Berat sendiri beton yang sangat besar yaitu kisaran antara 1800 kg/m³ sampai 2400 kg/m³.
3. Beton cenderung retak karena semennya hidraulis.
4. Kualitasnya sangat sangat tergantung pada pelaksanaan dilapangan.
5. Struktur beton konvensional sulit dipindahkan.

Bahan penyusun beton meliputi air, semen Portland, agregat kasar dan halus serta bahan tambah, dimana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan, bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Factor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan) serta umur beton (Tjokrodimuljo, 2007).

1. Umur Beton.

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat (linier) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan tekan beton pada kasus-kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Untuk struktur yang mengkehendaki kekuatan awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah

kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I (OPC-I). laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya (Mulyono, 2005).

2. Kekuatan Tekan Beton.

Kuat tekan mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kekuatan tekan beton didapatkan dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang yang menerima beban. Kekuatan tekan beton dinotasikan sebagai berikut (SNI 1974-2011).

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan ;

$f'c$ = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa).

P = Beban maksimum (N).

A = Luas penampang benda uji (mm^2).

Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus diproduksi sedemikian rupa sehingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan yang lebih rendah dari $f'c$ seperti yang telah disyaratkan. Kriteria

penerimaan beton tersebut harus pula sesuai dengan standar yang berlaku. Menurut standar Nasional Indonesia, kuat tekan harus memenuhi $0,85 f'_c$ untuk kuat tekan rata-rata dua silinder dan memenuhi $f'_c + 0,82 (s)$ untuk rata-rata empat buah benda uji yang berpasangan. Jika tidak memenuhi, maka diuji mengikuti ketentuan selanjutnya (Mulyono, 2005).

3. Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton.

Faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton ada beberapa, untuk faktor paling utama yaitu :

- a. Proporsi bahan-bahan penyusunnya.
- b. Metode pencampuran.
- c. Perawatan.
- d. Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat (Mulyono, 2005).

4. Faktor Air Semen (FAS).

Menurut SNI 03-2834-2000, faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air dan berat semen dalam beton. 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 rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65.

B. Semen.

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan. Jika bahan semen diuraikan susunan senyawanya secara kimia, akan terlihat jumlah oksida yang membentuk bahan semen itu. Unsur-unsur tersebut kurang lebih seperti berikut :

Tabel 1. Komponen Mayor Semen

Jenis Bahan	Nama Kimia	Persen (%)
Batu Kapur (CaO)	Kalsium dioksida	60 - 65
Pasir Silikat (SiO ₂)	Silikon dioksida	17 - 25
Tanah Liat (Al ₂ O ₃)	Aluminium dioksida	3 - 8
Bijih Besi (Fe ₂ O ₃)	Besi (III) oksida	0,5 - 6
Magnesia (MgO)	Magnesium oksida	0,5 - 4
Sulfur (SO ₃)	Sulfur trioksida	1 - 2

(SNI 15-2049-2004)

Di dalam semen, oksida-oksida tersebut tidak terpisah satu dari yang lainnya melainkan merupakan senyawa-senyawa yang disebut senyawa semen. Unsur utama senyawa semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu:

1. Trikalsium silikat (C₃S).
2. Dikalsium silikat (C₂S).

3. Trikalsium Aluminat (C_3A).

4. Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF).

Selain itu terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil (Neville dan Brooks, 2010).

1. Semen Pozzollan.

Semen pozzollan adalah sejenis bahan yang mengandung silisium atau aluminium, yang tidak mempunyai sifat penyemenan. Butirannya halus dan dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu ruang serta membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai sifat semen (Mulyono, 2005).

Semen pozzollan adalah bahan ikat yang mengandung silika amorf, yang apabila dicampur dengan kapur akan membentuk benda padat yang keras. Bahan yang mengandung pozzollan adalah adalah teras, semen merah, abu terbang, dan bubukkan terak tanur tinggi (SNI T-15-1990-03: 2).

Pozzollan adalah bahan yang mengandung silika atau senyawa alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen (SNI 15-0302-2004).

2. Semen Portland.

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Semen Portland dihasilkan dengan cara menggiling terak semen terutama yang terdiri atas kalsium silikat 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 (SNI 15-2049-2004).

Semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Pemilihan tipe semen ini kelihatan mudah dilakukan karena semen dapat langsung diambil dari sumbernya (pabrik).

3. Semen Portland Pozzolan.

Suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogenya antara semen Portland dengan pozzolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen Portland dan pozzolan bersama-sama atau mencampur secara merata bubuk semen Portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6% sampai dengan 40% massa semen Portland pozzolan (SNI 15-0302-2004).

Semen Portland pozzolan adalah campuran semen Portland dan bahan-bahan yang bersifat pozzolan seperti terak tanur tinggi dan hasil residu PLTU. Semen jenis ini biasanya digunakan untuk beton yang diekspos terhadap sulfat. Menurut (SK.SNI T-15-1990-03), semen Portland-pozzolan dihasilkan dengan mencampurkan bahan semen Portland

dan pozzolan (15-40% dari berat total campuran), dengan kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ dalam pozzolan minimum 70% (SK.SNI T-1991-03).

4. Penyimpanan Semen.

Agar semen tetap memenuhi syarat meskipun disimpan dalam waktu lama, cara penyimpanan semen perlu diperhatikan (PBI, 1989). Semen harus terbebas dari bahan kotoran dari luar. Semen dalam kantong harus disimpan dalam gudang tertutup, terhindar dari basah dan lembab, dan tidak tercampur dengan bahan lain. Urutan penyimpanan harus diatur sehingga semen yang lebih dahulu masuk gudang terpakai lebih dahulu.

Semen curah harus disimpan di dalam silo yang terbuat dari baja atau beton dan harus terhindar dari kemungkinan tercampur dengan bahan lainnya. Untuk menghindari pecahnya kantong semen, tinggi maksimum timbunan zak semen adalah 2 meter atau sekitar 10 zak. Jarak bebas antara bidang dinding dan semen sekitar 50 cm, sedangkan jarak bebas antara lantai dan semen sekitar 30 cm (Mulyono, 2005).

C. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen. Air yang dapat diminum dapat digunakan sebagai campuran beton, dapat juga berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ dan lainnya), air laut maupun air limbah asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (78%

adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garam dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20% (Mulyono, 2005).

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan, tetapi dalam kenyataan jika nilai faktor air semen kurang dari 35% beton segar tidak dapat dikerjakan dengan sempurna sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (*consistency*) agar dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton sehingga menimbulkan pori-pori (*capillary poreous*) di dalam beton yang sudah mengeras (Slamet, 2008).

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton meliputi kandungan lumpur maksimal 2 gr/lt, kandungan garam yang dapat merusak beton maksimal 15 gr/lt, tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gr/lt serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gr/lt. Secara umum air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton, apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Tjokrodinuljo, 2007).

D. Agregat.

Agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolik (SNI 03-2847-2002).

a. Agregat halus.

Agregat halus adalah butiran mineral alami yang butirannya lebih kecil dari 4,8 mm dan biasanya disebut pasir (Wuryati dan Candra, 2001). Agregat halus dibedakan menjadi 3 jenis, antara lain:

- a) Pasir galian, yaitu merupakan pasir yang diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali dari dalam tanah yang mana pada umumnya berbentuk tajam, bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam yang membahayakan.
- b) Pasir sungai, yaitu pasir yang langsung diperoleh dari sungai. Pasir ini biasanya berbentuk bulat dan berbutir halus, hal ini disebabkan karena terjadinya proses gesekan. Karena agregat ini bulat maka daya lekat antara butirnya pun agak berkurang.
- c) Pasir laut, yaitu pasir yang diambil dari pantai. Pasir jenis ini mempunyai bentuk yang hampir sama dengan pasir sungai akan tetapi pasir jenis ini mengandung banyak garam, sehingga tidak dianjurkan untuk memakai pasir jenis ini dalam membuat bangunan.

Kualitas pasir yang digunakan untuk campuran adukan beton harus memenuhi syarat-syarat yang ditentukan dalam PBI-1971/NI-2,

diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Pasir harus terdiri dari butir-butir yang bersih dari bahan-bahan organik, rumput, dan bahan kimia lainnya.
- b. Harus terdiri dari butiran yang tajam, keras dan bersifat kekal, artinya tidak dapat dihancurkan dengan jari dan pengaruh cuaca. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (berdasarkan berat kering).
- c. Tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
- d. Pasir laut tidak boleh digunakan dalam sebuah konstruksi karena mengandung kadar garam terlalu tinggi.
- e. Harus terdiri dari butiran yang bervariasi dan bila diayak dengan ayakan 150 maka harus memenuhi syarat:
 - a) Sisa butiran diatas ayakan 4 mm, minimal 2% dari berat.
 - b) Sisa butiran diatas ayakan 1 mm, minimal 10% dari berat.
 - c) Sisa butiran diatas ayakan 0,25 mm berkisar antara 80% sampai 90% dari berat.

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir merapi.

b. Agregat kasar.

Menurut Sukirman (2003) agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat. Ditinjau dari asal kejadiannya agregat kasar dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Batuan Beku (*igneous rock*).

Batuan beku berbentuk Kristal dan terbentuk dari proses pembekuan

magma.

2. Batuan Sedimen (*sedimentary*)

Batuan yang berbentuk baik dari perbandingan bahan atau material yang tidak larut dari pecahan batuan yang ada atau sisa anorganik dari binatang laut.

3. Batuan *Metamorf*

Batuan yang berasal dari batuan sedimen atau batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperature dari kulit bumi. Berdasarkan pengolahannya agregat dibedakan atas:

1) Agregat Alam

Agregat alam adalah agregat yang dapat dipakai langsung sebagai bahan perkerasan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi dan degradasi (Degradasi adalah perubahan gradasi karena adanya penghancuran). Bentuk partikel dari agregat alam ditentukan dari proses pembentukannya. Aliran air sungai membentuk partikel bulat dengan permukaan yang licin. Degradasi agregat dibukit-bukit membentuk partikel yang bersudut dengan permukaan yang kasar. Dua bentuk agregat alam yang sering digunakan adalah pasir dan kerikil.

2) Agregat yang mengalami proses pengolahan

Proses pengolahan diperlukan karena agregat yang berasal dari gunung atau bukit, sungai masih banyak dalam bentuk

bongkahan besar sehingga belum dapat langsung digunakan sebagai agregat konstruksi. Tujuan dari pengolahan ini adalah:

- 1) Bentuk partikel bersudut, di usahakan berbentuk kubus.
- 2) Partikel kasar sehingga memiliki gaya gesekan yang baik.
- 3) Gradasi sesuai dengan yang diinginkan.

Proses pemecahan agregat sebaiknya menggunakan mesin pemecah batu (*crusher stone*) sehingga ukuran-ukuran partikel dapat dikontrol.

3) Agregat Buatan.

Agregat ini dibuat dengan alat khusus, yaitu agar mempunyai daya tahan tinggi dan ringan untuk digunakan konstruksi.

c. Gradasi Agregat

SNI 03-2834-1992 mengklarifikasikan distribusi ukuran butir agregat halus menjadi empat daerah atau zone yaitu: zone 1 (kasar), zone 2 (agak kasar), zone 3 (agak halus), dan zone 4 (halus) sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2 dibawah ini :

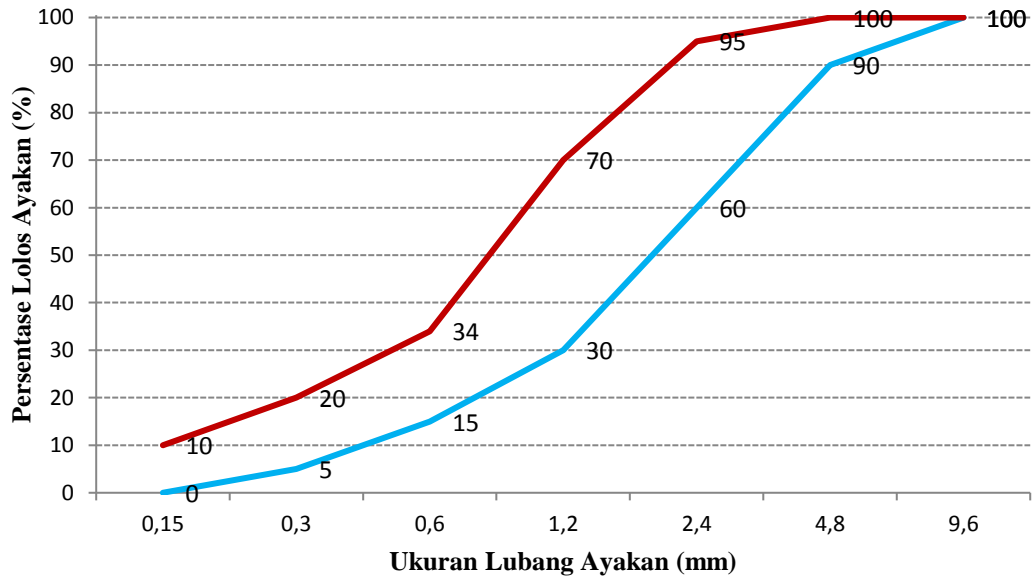
Tabel 2. Batas-batas gradasi Agregat halus

Ukuran Saringan (mm)	Presentase berat yang lolos saringan (%)			
	Gradasi Zone I	Gradasi Zone II	Gradasi Zone III	Gradasi Zone IV
9,60	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50

0,15	0-10	0-10	0-10	0-15
------	------	------	------	------

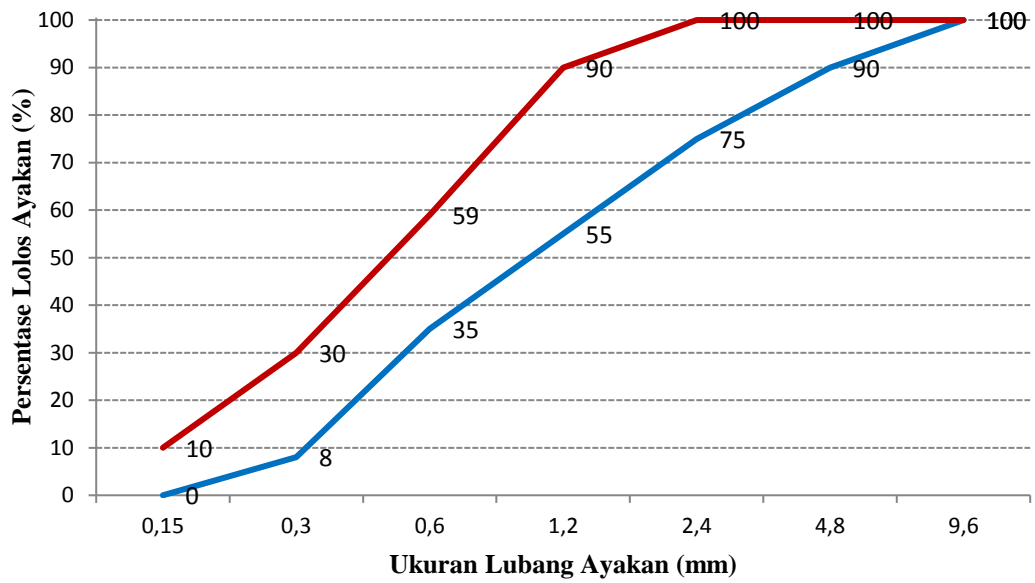
(SNI 03-2843-1992)

Berikut ini adalah batas-batas gradasi agregat halus zone I



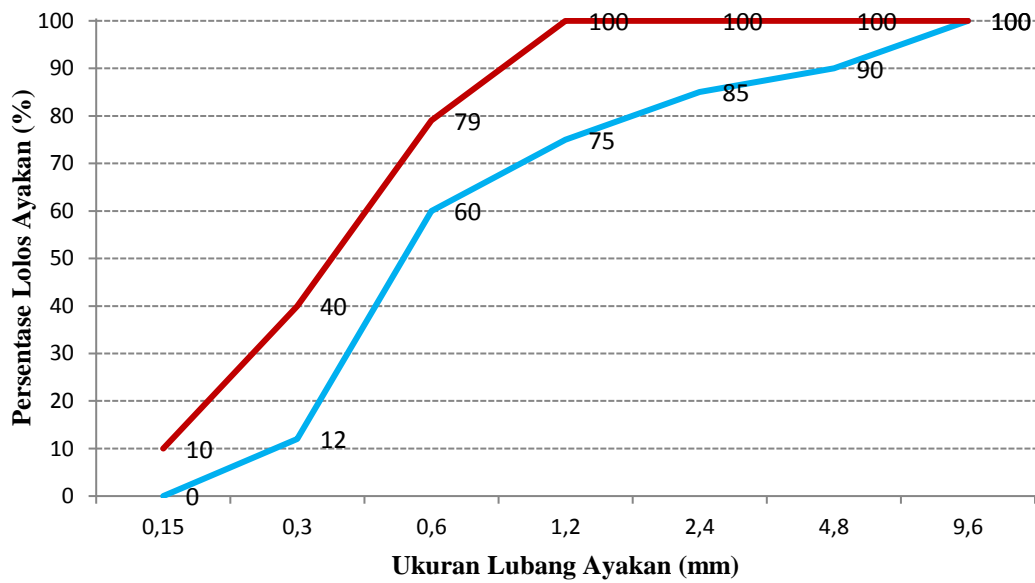
Gambar 1. Grafik Gradasi Agregat Halus zone I (kasar)

Berikut ini adalah batas-batas gradasi agregat halus zone II



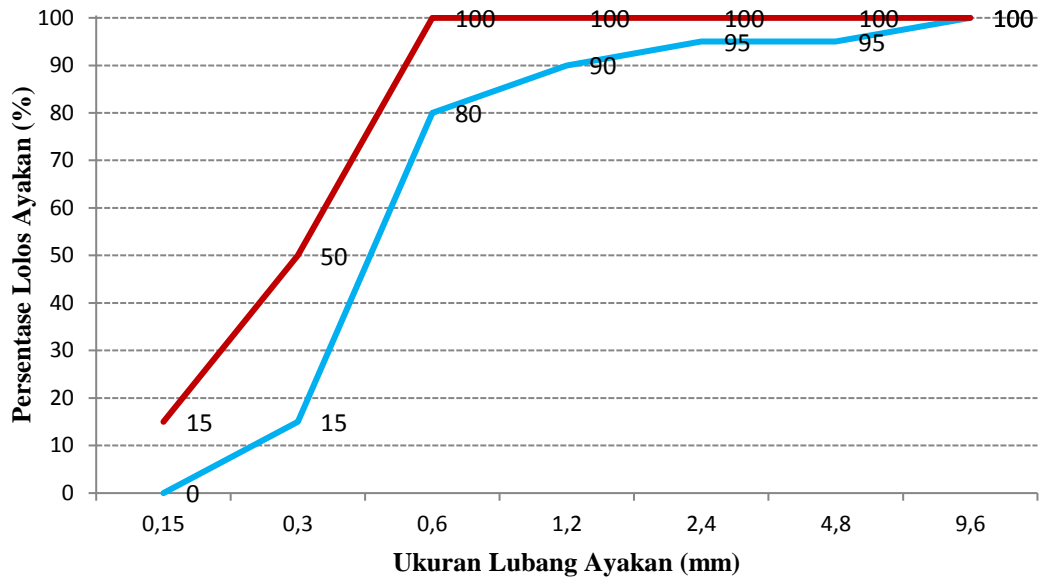
Gambar 2. Grafik Gradasi Agregat Halus Zone II (Agak Kasar)

Berikut ini adalah batas-batas gradasi agregat halus zone III



Gambar 3. Grafik Gradasi Agregat Halus Zone III (Halus)

Berikut ini adalah batas-batas gradasi agregat halus zone IV



Gambar 4. Grafik Gradasi Agregat Halus Zone IV (Agak Halus)

Menurut BS (*British Standard*), gradasi agregat kasar (kerikil/batu) yang baik sebainya masuk dalam batas, batas yang tercantum dalam tabel dibawah ini :

Tabel 3. syarat Agregat Kasar Menurut BS

Ukuran saringan (mm)	Presentase berat yang lolos saringan		
	40,0 mm	20,0 mm	12,5 mm
40,0	95-100	100	100
20,0	30-70	95-100	100
12,5	-	-	90-100
10,0	10-35	25-55	40-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Ukuran agregat dalam prakteknya secara umum digolongkan ke dalam 3 kelompok yaitu:

- A. Batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm.
- B. Kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.
- C. Pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

Butiran yang lebih kecil dari 0,15 mm dinamakan *silt* atau tanah (Tjokrodimuljo, 2007).

4) Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (*Finnes Modulus*) atau biasa disingkat MHB adalah suatu indek yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat (Abrams, 1918). MHB didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal di atas satu set ayakan (38; 19; 9,6; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3 dan 0,15 mm), kemudian angka tersebut dibagi dengan seratus (Ilsley 1942).

Makin besar nilai MHB suatu agregat berarti semakin besar butiran agregatnya. Umumnya agregat halus mempunyai MHB sekitar 1,50-3,80 dan kerikil mempunyai nilai MHB 5-8. Nilai ini juga dapat dipakai sebagai dasar untuk mencari perbandingan dari campuran agregat. Untuk agregat campuran nilai MHB yang biasa dipakai sekitar 5,0-6,0. Hubungan ketiga nilai MHB tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$W = \frac{K-C}{C-P} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dengan :

W = Presentase 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.

E. Perancangan Campuran

Kriteria dasar perancangan beton adalah kekuatan tekan dan hubungannya dengan faktor air semen yang digunakan. Kriteria ini sebenarnya kontadiktif dengan kemudahan pengerjaan karena menurut Abram, 1920 (Neville, 1981) untuk menghasilkan kekuatan yang tinggi penggunaan air dalam campuran beton harus minimum. Jika air yang digunakan sedikit, akan timbul kesulitan dalam pengerjaan sesuai dengan pendapat Feret (1896) yang mempertimbangkan pengaruh rongga (*voids*) (Mulyono,2005).

1. Mix SNI 03-2834-2000

Perencanaan komposisi campuran adukan beton normal metode mix desain lama menggunakan SNI 03-2834-2000 yaitu :

a. Langkah penentuan kuat tekan diisyaratkan

Penentuan kuat tekan beton yang diisyartkan ($f'c$) pada umur 28 hari, penentuan perencanaan campuran beton harus didasarkan pada data-data sifat bahan yang akan dipergunakan dan susunan campuran beton yang diperoleh dari perencanaan ini harus dibuktikan melalui campuran coba yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kekuatan yang diisyaratkan.

- b. Langkah penentuan deviasi standart (sd)

Faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30 benda uji.

Tabel 4. Faktor pengali (sd)

Jumlah pengujian Kurang dari 15	Faktor pengali
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

- c. Langkah perhitungan margin

Margin adalah nilai tambah yang dihitung berdasarkan nilai standar deviasi (sd), maka dilakukan dengan rumus :

$$M = 1,64 \times (sd) \dots\dots\dots(3)$$

Dengan :

M = Nilai tambah (MPa).

1,64 = Tetapan statistic yang nilainya tergantung pada presentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5 %.

(sd) = Deviasi standar rencana.

- d. Langkah menetapkan kuat tekan beton rerata

Kuat tekan beton rerata yang direncanakan dengan rumus sebagai berikut :

$$f'_{cr} = f'_c + M \dots\dots\dots(4)$$

Dengan :

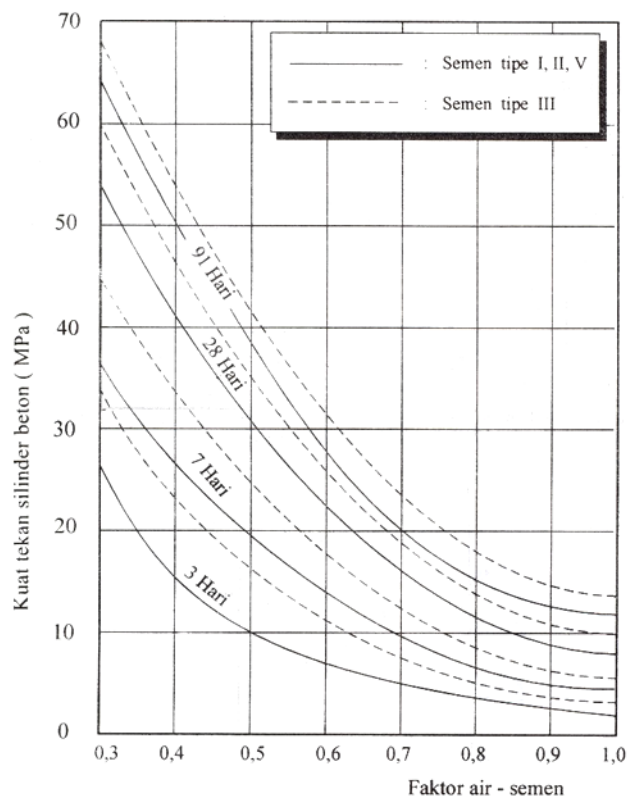
f_{cr} = Kuat tekan rerata (MPa).

f_c = Kuat tekan yang diisyaratkan (MPa).

M = Nilai tambah (MPa).

e. Langkah pemilihan faktor air semen (fas)

Menetapkan nilai faktor air semen (fas) dapat dilakukan dengan menentukan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur tertentu, berikut ini gambar hubungan fas dengan kuat tekan :



Gambar 5. Hubungan fas dengan Kuat Tekan Rata-rata

f. Langkah penetapan fas maksimum

Agar beton yang diperoleh awet maupun bertahan terhadap pengaruh kondisi lingkungan perlu ditetapkan nilai fas maksimum. Apabila nilai fas maksimum ini lebih rendah daripada nilai fas yang diperoleh dari langkah e, maka nilai fas maksimum ini digunakan untuk langkah selanjutnya.

Tabel 5. Persyaratan Nilai fas Maksimum

Jenis pembetonan	fas Maksimum	Semen minimum (kg/m³)
Beton di dalam ruang bangunan: a. Keadaan sekeliling non-korosif	0,60	275
b. Keadaan sekeliling korosif akibat kondensasi atau uap korosi	0,52	325
Beton di luar ruang bangunan: a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55	325
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60	275
Beton di luar ruang bangunan: a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55	325

g. Langkah penetapan nilai *slump*

Menetapkan nilai slump dengan memperhatikan jenis pekerjaan atau jenis strukturnya supaya proses pembuatan, pangangkutan, penuangan, pemadatan mudah dilaksanakan.

Tabel 6. Penetapan Nilai *slump*

Pemakaian beton	Maksimum (cm)	Minimum (cm)
------------------------	----------------------	---------------------

Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, Kaison, dan Struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, Balok, Kolom, dan Dinding	15,0	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

h. Langkah penetapan besar butir agregat maksimum

Menentukan ukuran agregat maksimum berkaitan dengan jenis pekerjaan konstruksi beton, ukuran maksimum agregat kasar tidak melebihi diantara berikut :

- a) $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi cetakan.
- b) $\frac{1}{3}$ ketebalan pelat lantai.
- c) $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundle tulangan, atau tendon-tendon pratekan atau selongsong-selongsong.

i. Langkah penetapan kadar air bebas

Kadar air bebas yang dibutuhkan tiap m³ adukan beton berdasarkan dari ukuran agregat maksimum, jenis agregat, dan nilai slump. Berikut tabel perkiraan kebutuhan air :

Tabel 7. Perkiraan Kebutuhan Air Tiap m³ Beton (liter)

Ukuran agregat maksimum (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Alami	150	180	205	225
	Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Pecah	155	175	190	205

Apabila digunakan jenis agregat halus dan agregat kasar yang berbeda (alami dan pecah), maka perkiraan kebutuhan jumlah air tiap m³ beton harus disesuaikan menggunakan persamaan berikut;

$$A = 0,67 \times A_h + 0,33 \times A_k \dots\dots\dots(5)$$

Dengan;

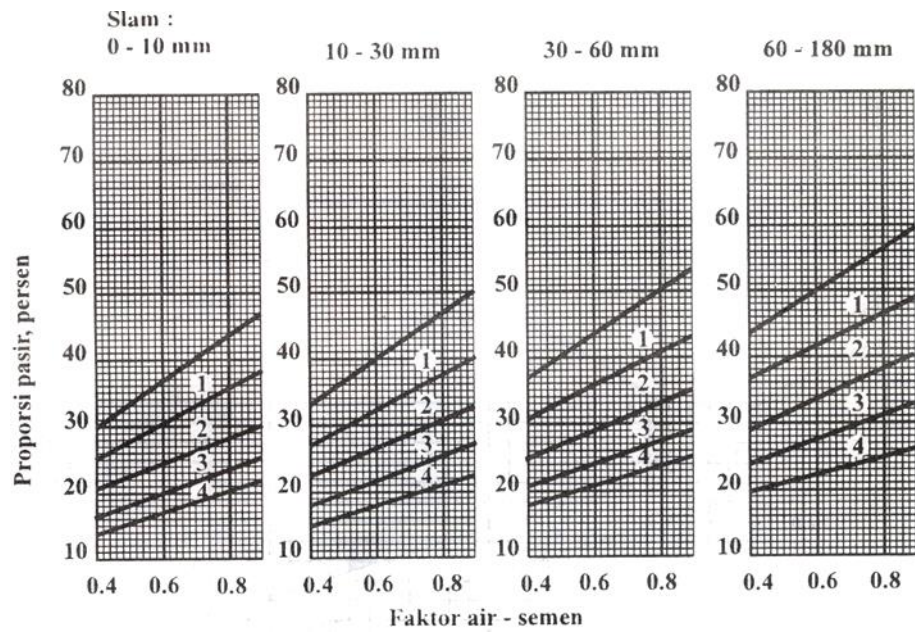
A = Perkiraan kebutuhan air tiap m³ beton

A_h = Kebutuhan air berdasarkan jenis agregat halus

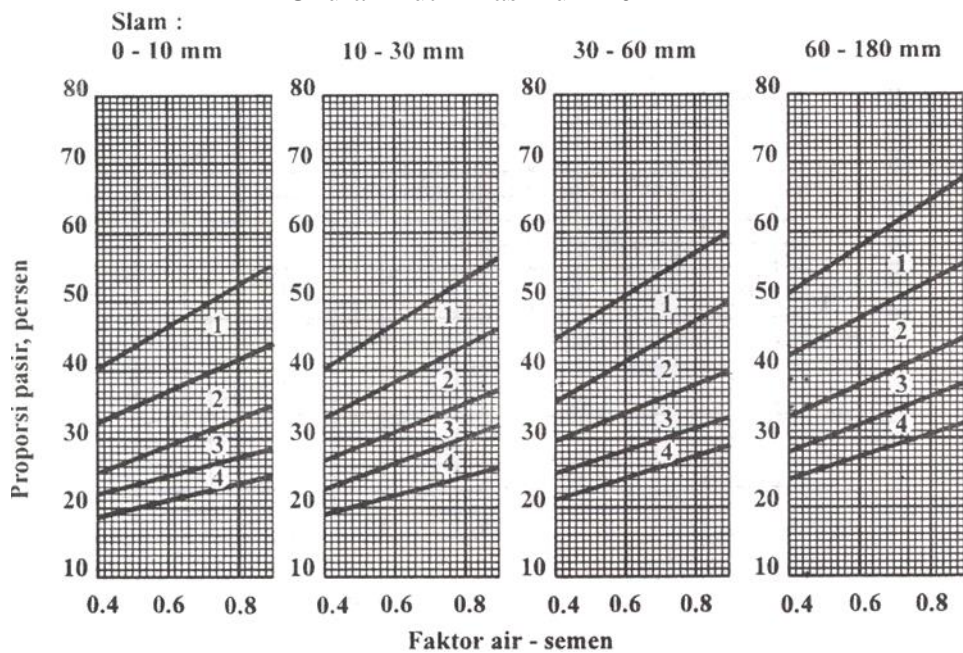
A_k = Kebutuhan air berdasarkan jenis agregat kasar

j. Langkah perhitungan perbandingan agregat

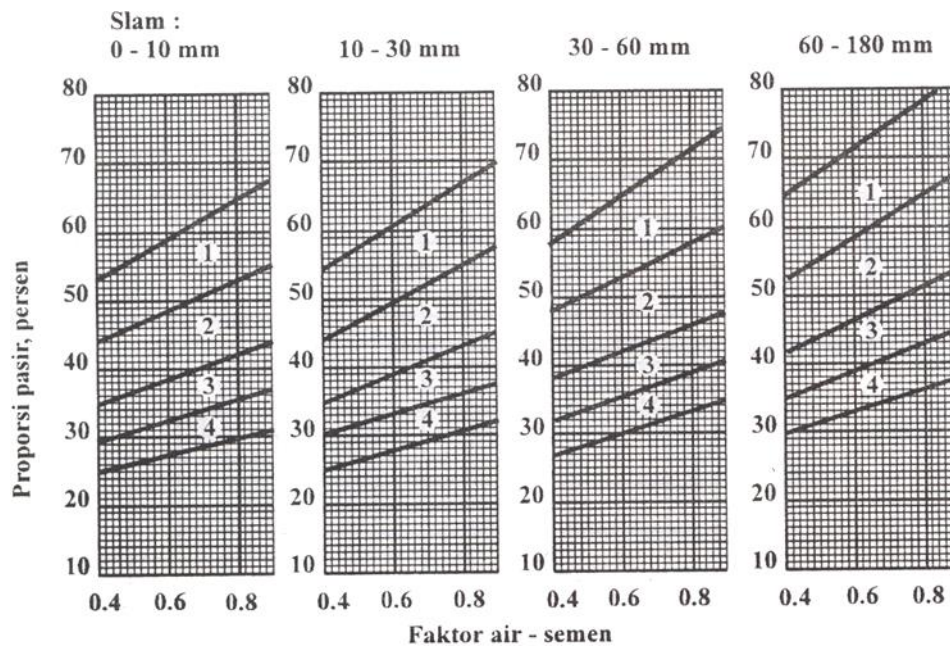
Menentukan perbandingan antara agregat halus dengan agregat campuran berdasarkan ukuran butiran maksimum agregat kasar, nilai slump, fas dan daerah gradasi agregat halus dengan menggunakan gambar berikut :



Gambar 6. Grafik Presentasi Agregat Halus Terhadap Agregat Campuran dengan Ukuran Butir Masimum 40 mm



Gambar 7. Grafik Presentasi Agregat Halus Terhadap Agregat Campuran dengan Ukuran Butir Maksimum 20 mm



Gambar 8. Grafik Presentasi Agregat Halus Terhadap Agregat Campuran dengan Ukuran Butir Maksimum 10 mm

k. Langkah perhitungan berat jenis agregat gabungan

Berat jenis agregat campuran dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$B_{jc} = \frac{P}{100} \times B_{jh} + \frac{K}{100} \times B_{jk} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan;

B_{jc} = Berat jenis agregat campuran

P = Presentase agregat halus terhadap agregat campuran

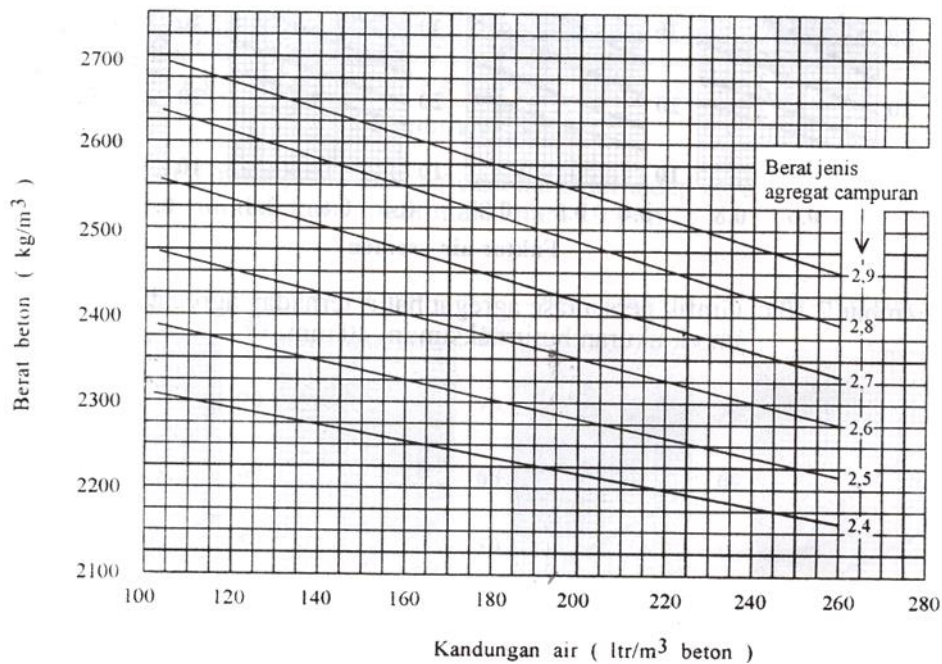
B_{jh} = Berat jenis agregat halus

K = Presentase agregat kasar terhadap agregat campuran

B_{jk} = Berat jenis agregat kasar

1. Langkah perhitungan berat jenis beton

Menentukan berat jenis beton berdasarkan hasil hitungan berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap m³ beton dengan gambar berikut :



Gambar 9. Grafik Hubungan Kandungan air, Berat Jenis Campuran dan Berat Beton.

F. Pengerjaan Beton

Komposisi yang baik akan menghasilkan kuat tekan yang tinggi, tetapi jika pelaksanaannya tidak dikontrol dengan baik, kemungkinan dihasilkan beton tidak sesuai dengan rencana akan semakin besar. Cara pengerjaan ini akan menentukan kualitas beton yang akan dibuat.

1. Persiapan

Sebelum penuangan beton dilaksanakan, hal-hal berikut harus terlebih dahulu diperhatikan (SNI 2847-2013).

- a. Semua peralatan untuk pengadukan dan pengangkutan beton harus bersih.
- b. Ruang yang akan diisi beton harus bebas dari kotoran-kotoran yang mengganggu.
- c. Untuk memudahkan pembukaan acuan, permukaan dalam acuan boleh dilapisi dengan bahan khusus, antara lain lapisan minyak mineral, lapisan bahan kimia.
- d. Pasangan dinding bata yang berhubungan langsung dengan beton harus dibasahi air sampai jenuh.
- e. Tulangan harus dalam keadaan bersih dan bebas dari segala lapisan penutup yang dapat merusak beton atau mengurangi lekatan antara beton dan tulangan.
- f. Air yang terdapat pada ruang yang akan diisi oleh harus dibuang, kecuali apabila penuangan dilakukan dengan tremi atau telah seijin pengawas ahli.
- g. Semua kotoran, serpihan beton dan material lain kmenempel pada permukaan beton yang telah mengeras harus dibuang sebelum beton yang baru dituangkan pada permukaan beton yang telah mengeras tersebut.

Pada kasus-kasus tertentu, persiapan lebih detail harus juga dilakukan.

Untuk pengerjaan beton *pre-stessing* misalnya, persiapan akan bahan-bahan kimia seperti bonding *agent* untuk perekat antara lapisan beton yang baru dengan beton lama, ataupun *cement grouting* untuk memperbaiki bagian-

bagian yang keropos akibat kurangnya pemadatan karena terjadinya segregasi harus dilakukan (Mulyono, 2005).

2. Penakaran

Penakaran bahan-bahan penyusun beton dihasilkan dari hasil rancangan harus mengikuti ketentuan-ketentuan SNI 03-3976-1995 tentang Tata Cara Pengadukan dan Pengecoran Beton dan ASTM C.685 *Standard Made By Volumetric and Continous Mixing* sebagai berikut :

- a. Beton yang mempunyai kekuatan tekan (f'_c) lebih besar atau sama dengan 20 MPa proporsi penakarannya harus didasarkan atas penakaran berat.
- b. Beton yang mempunyai kekuatan tekan (f'_c) lebih kecil dari 20 MPa proporsi penakarannya boleh menggunakan teknik penakaran volume. Tekniknya harus didasarkan atas penakaran berat yang dikonversikan kedalam penakaran volume untuk setiap campuran bahan penyusunnya.

3. Pengadukan

Semua jenis bahan yang digunakan dalam pembuatan beton harus dilengkapi dengan :

- a. Sertifikasi mutu dari produsen.
- b. Jika tidak terdapat sertifikasi mutu, harus tersedia data uji dari laboratorium yang diakui.
- c. Jika tidak dilengkapi dengan sertifikasi mutu atau data hasiluji, harus berdasarakan bukti dari hasil pengujian khusus atau pemakaian nyata

yang dapat menghasilkan beton pengujian khusus atau pemakaiannya nyata yang dapat menghasilkan beton kekuatan, ketahanan, dan keawetannya memenuhi syarat.

Selain hal-hal di atas, bahan-bahan yang digunakan harus memenuhi syarat Standar Nasional Indonesia SK.SNI S-04-1989-F tentang Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam).. peralatan yang dipakai untuk mengaduk harus pula memenuhi syarat standar. standar pelaksanaan harus mengikuti ketentuan, syarat administrasi yang dinyatakan dalam rencana kerja dan syarat-syarat (RKS) dan harus tersedia rencana campuran beton serta rencana pelaksanaan pengecoran. Ketentuan lain mengenai peralatan adalah alat harus dalam keadaan bersih dan baik, putarannya sesuai dengan rekomendasi, peralatan angkut dan pengecoran dalam kondisi baik dan lancar (Mulyono, 2005).

4. Pengangkutan

Berdasarkan PBI 1989 dalam Mulyono (2005) alat angkut yang digunakan harus mampu menyediakan beton di tempat penyimpanan akhir dengan lancar tanpa mengakibatkan pemisahan dan bahan yang telah dicampur dan tanpa hambatan yang dapat mengakibatkan hilangnya plastisitas beton antara pengangkutan yang berurutan.

Alat angkutpun dibedakan menjadi dua, yakni alat angkut manual dan mesin. Alat angkut manual menggunakan tenaga manusia, dengan alat bantu sederhana (ember, dolak, gerobak dorong, talang) dan biasanya mempunyai kapasitas kecil. Alat angkut mesin biasanya dibutuhkan untuk

pengerjaan yang kapasitasnya besar dan jarak antara tempat pengolahan beton dan tempat pengerjaan struktur jauh. Contoh alat angkut ini adalah *truck mixer*, *belt conveyor*, dan *tower crane*.

5. Penuangan

Berdasarkan PBI (1989) dalam Mulyono (2005) hal yang perlu diperhatikan adalah: (1). Tinggi jatuh tidak boleh lebih dari 1,50 meter. Jika terjadi jarak yang lebih besar maka perlu ditambahkan alat bantu seperti tremi atau pipa. (2). Tidak dilakukan penuangan selama terjadi hujan agar kadar air tetap terjaga, kecuali jika pengecoran dilakukan di bawah atap. (3). Setiap kali penuangan, tebal lapisan maksimum 30 - 45 cm, agar pematatannya dapat dilaksanakan dengan mudah. (4). Penuangan hanya berhenti dititik momen sama dengan nol.

6. Pematatan

Pematatan dimaksudkan untuk menghilangkan rongga-rongga udara yang terdapat dalam beton segar. Pada pengerjaan beton dengan kapasitas kecil, alat pemadat dapat berupa kayu atau besi tulangan. Untuk pengecoran dengan kapasitas lebih besar dari 10 m³, alat pemadat mesin harus digubakan. Alat pemadat ini lebih dikenal dengan nama *vibrator* (Mulyono, 2005).

7. Perawatan

Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai *final setting*, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Berdasarkan SNI 2847-2013 perawatan beton antara lain yaitu :

- a. Beton (selain beton kekuatan awal tinggi) harus dirawat pada suhu di atas 10 °C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya 7 hari setelah pengecoran, kecuali jika dirawat sesuai dengan perawatan diperkuat.
- b. Beton kekuatan awal tinggi harus dirawat pada suhu 10 °C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya selama 3 hari pertama kecuali jika dirawat dengan perawatan dipercepat.

Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat. Perawatan tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedapannya terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur (Mulyono, 2005).

G. Non-Destructive Test

Sangat penting untuk melakukan pengujian struktur beton setelah beton mengeras, hal ini dilakukan untuk menentukan apakah struktur sudah sesuai dengan desain yang telah dilakukan. Ada beberapa bentuk metode pengujian kekuatan tekan beton yang dapat digunakan diantaranya pengujian-pengujian yang bersifat tidak merusak (*non destructive test*), setengah merusak (*semi destructive test*) dan yang merusak secara keseluruhan komponen-komponen yang diuji (*destructive test*). *Destructive test* inilah yang paling mendekati nilai kuat tekan beton sebenarnya dimana pengujian ini harus dilakukan dilaboratorium dengan menggunakan alat *compression testing machine*.

Namun ada beberapa kasus dimana tidak mungkin untuk menguji sampel beton dilaboratorium dengan mengharuskan pengambilan sampel uji beton atau beberapa kasus dimana butuh pembacaan kuat tekan beton secara langsung di lapangan. Kasus – kasus seperti inilah yang akan menggunakan *non destructive test*. Saat ini beberapa metode *non destructive test* (NDT) pada beton masih jarang digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton.

Metode yang umum dipakai pada *non destructive test* (NDT) adalah *hammer test* dan *ultrasonic pulse velocity* (UPV) test. *Hammer test* adalah salah satu metode NDT yang sering digunakan di Indonesia tetapi untuk UPV test masih jarang digunakan. UPV test adalah metode untuk memperkirakan kekuatan beton yang didasarkan pada hubungan kecepatan gelombang UPV melalui media beton (International Atomic Energy Agency,2002). Akan tetapi hasil dari metode *non destructive-test* ini belum mewakili kekuatan suatu

struktur, sehingga diperlukan hubungan/korelasi dengan pengujian kuat tekan yang lain (Mindess et al., 2003).

Sehingga penelitian ini dilakukan untuk memberikan nilai korelasi hasil pengujian kuat tekan beton di laboratorium dengan menggunakan alat *compression strength machine* dan pengujian yang bersifat tidak merusak (*non destructive test*) dengan menggunakan alat *hammer test*.

Penelitian ini dilakukan pada beberapa benda uji dengan beberapa mutu beton yang berbeda. Dari nilai korelasi ini bisa digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton jika *destructive test* tidak bisa dilakukan sehingga mampu meningkatkan penerapan metode NDT (*hammer test*) di Indonesia. Sehingga dengan mudah bisa mengetahui kualitas struktur darisuatu bangunan. (Martin Simatupang, 2016)

H. Uji Angka Pantul Beton

Uji angka pantul beton adalah suatu pengujian permukaan mutu beton tanpa merusak beton. Metode ini dapat digunakan untuk menilai keseragaman beton di lapangan, menggambarkan bagian dari struktur yang mempunyai kualitas jelek atau beton yang mengalami kerusakan, serta memperkirakan perkembangan kekuatan beton di lapangan. Metode uji ini dapat juga digunakan untuk memperkirakan kekuatan beton, untuk itu dibutuhkan korelasi antara kekuatan beton dan angka pantul.

Hubungan ini harus ditetapkan dari campuran beton dan alat yang telah ditetapkan. Hubungan beton dan angka pantul dibuat dari kekuatan beton yang biasa digunakan. Untuk memperkirakan kekuatan pada saat

pembangunan, tetapkan hubungan dengan menampilkan angka pantul pada benda uji yang dicetak dan mengukur kekuatan dari benda uji yang sama atau serupa. Untuk memperkirakan kekuatan pada struktur yang ada, tetapkan hubungan antara angka pantul yang diukur pada struktur dengan kekuatan inti beton yang diambil dari lokasi yang bersangkutan (ASTM C 805-02). Untuk campuran beton yang diketahui, angka pantul dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

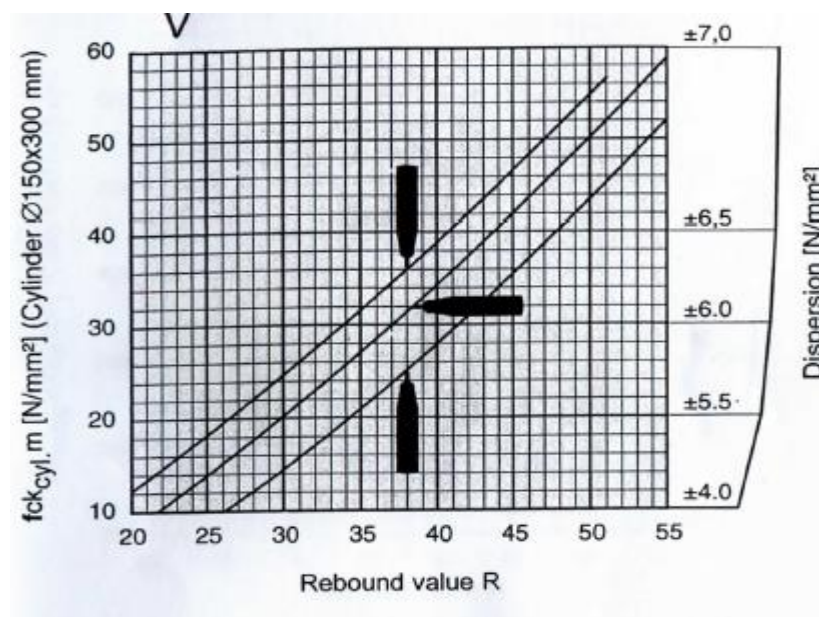
1. Kelembapan pada permukaan bidang uji.
2. Metode yang digunakan untuk memperoleh permukaan bidang uji (tipe bahan cetakan dan tipe penyelesaian akhir/finishing).
3. Kedalaman karbonasi.

Menurut ASTM C 805-02 disebutkan cara uji dan perhitungan angka pantul beton yaitu :

- 1) Pegang alat dengan kokoh sehingga posisi hulu palu tegak lurus dengan permukaan beton yang diuji.
- 2) Tekan alat secara perlahan ke arah permukaan uji sampai palu pantul menumbuk hulu palu.
- 3) Setelah tumbukan tahan tekanan pada alat dan apabila perlu tekan tombol pada sisi alat untuk mengunci hulu palu pada posisinya.
- 4) Baca dan catat angka pantul pada skala untuk angka yang terdekat.
- 5) Lakukan 10 titik bacaan pada setiap daerah pengujian dengan jarak masing-masing titik bacaan tidak boleh lebih kecil dari 25 mm.

- 6) Periksa permukaan beton setelah tumbukan, batalkan pembacaan jika tumbukan memecahkan atau menghancurkan permukaan beton karena terdapat rongga udara, dan ambil titik bacaan yang lain.

Hasil pembacaan yang berbeda lebih dari 6 satuan dari rata-rata 10 titik bacaan diabaikan dan tentukan nilai rata-rata dihitung dari pembacaan data yang memenuhi syarat. Bila lebih dari 2 titik bacaan memiliki perbedaan lebih dari 6 satuan dari nilai rata-rata, maka seluruh rangkaian pembacaan harus dibatalkan dan tentukan angka pantul pada 10 titik bacaan baru pada daerah pengujian.



Gambar 10. Grafik prediksi kuat tekan dengan *hammer test*

(Sumber : buku panduan *hammer test*)

