

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pakerasan Kaku

Perkerasan kaku berfungsi untuk menjembatani lapisan tanah dasar yang kekuatannya lebih rendah dibandingkan dengan pelat betonnya. Karena itu beban yang bekerja di atas pelat hamper seluruhnya dipikul oleh pelat betonnya, sehingga pada perkerasan kaku terjadi momen lentur (Concrete Information, 1967).

3.1.1 Jenis Perkerasan Kaku

- a. Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan Tipe ini tidak menggunakan sistem penulangan besi, kecuali pada bagian-bagian konstruksi tertentu seperti misalnya pada bagian sambungan memanjang atau melintang. Keuntungan tipe perkerasan ini dibanding tipe lainnya antara lain cukup sederhana pelaksanaannya karena tidak menggunakan penulangan.
- b. Perkerasan Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan Tipe ini menggunakan sistem penulangan maka panjang ruas antar sambungan melintang biasanya lebih panjang berkisar antara 10 meter sampai 15 meter
- c. Perkerasan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan Tipe ini mempunyai sistem penulangan yang menerus sepanjang perkerasan. Dengan demikian sistem sambungan melintang tidak dibutuhkan untuk tipe ini. Fungsi dan pada penulangan ini adalah untuk mengurangi terjadinya keretakan-keretakan akibat penyusutan (*shrinkage cracking*).

3.2 Beton

Menurut (SNI 2847:2013), beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture). Bahan – bahan dasar beton, yaitu: 1. Air, 2. Semen – portland, 3. Agregat (pasir dan kerikil) yang setelah dicampur merata (warnanya seragam) menghasilkan suatu campuran yang plastis (antara cair dan padat)

sehingga dapat dituang ke dalam cetakan, untuk membentuknya menjadi bentuk yang diinginkan setelah menjadi keras / padat (Tjokrodimuljo,1992).

3.2. Beton Normal

Beton normal adalah yang cukup berat dengan berat jenis 2400 kg/m^3 , kuat tekan $f'_c = 15 \text{ MPa}$ sampai $f'_c = 40 \text{ MPa}$ dan dapat menghantarkan panas. Agregat dalam bahan penyusun beton paling berpengaruh terhadap berat beton yang tinggi.

3.3 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982, dalam Tjokrodimuljo, 1996). Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus.

Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adonan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen dan jika ditambah lagi dengan kerikil/batu pecah disebut beton. Bahan-bahan tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan yang pasif yaitu kerikil dan pasir (disebut agregat, agregat kasar dan agregat halus). Kelompok yang pasif disebut bahan pengisi sedangkan yang aktif disebut perekat/pengikat.

Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat dan juga untuk mengisi rongga-rongga antar butir agregat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. Walaupun semen hanya mengisi kira-kira 10% saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah. Semen *portland* secara garis besar terdiri dari 4 (empat) senyawa kimia utama untuk menyusun semen Portland, yaitu:

- a) Trikalsium silica ($3\text{CaO} - \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S . Semakin tinggi kadar C_3S pada komposisi semen semakin tinggi pula kualitas semen tersebut dan memiliki kekuatan tinggi dan pengerasan lebih cepat

- b) Dikalsium silica ($2\text{CaO} - \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S . yaitu senyawa mineral semen dengan jumlah 32 sampai 52% berat semen.
- c) Trikalسيوم aluminat ($3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3A .
- d) Tetrakalsium aluminoforit ($4\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF .

Semen Portland yang dipakai harus memenuhi syarat (SII 0013-81) dibagi menjadi 5 tipe dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jenis Semen Portland di Indonesia Sesuai SII 0013-81

Jenis semen	Karakteristik umum
Jenis I	Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti disyaratkan pada jenis- jenis lain
Jenis II	Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang
Jenis III	Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi
Jenis IV	Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah
Jenis V	Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat

(Sumber: Tjokrodinuljo (1996))

Semen *Portland* memiliki sifat-sifat yang penting yaitu:

1. Kehalusan butiran (*fineness*)

Reaksi antara semen dan air dimulai dari permukaan butiran-butiran semen, sehingga semakin luas permukaan butiran semakin cepat proses hidrasinya. Secara umum semen berbutir halus dapat meningkatkan *kohesi* pada beton segar dan dapat pula mengurangi pemisahan air (*bleeding*).

2. Waktu ikatan

Waktu ikatan adalah waktu dimana sejak air dicampurkan dengan semen hingga semen mengeras. Waktu ikat dibagi menjadi dua, yaitu waktu ikatan awal (*initial time*) dan waktu ikatan akhir (*final setting time*). Waktu dari

ikatan awal dan waktu sampai pastinya menjadi masa yang keras disebut waktu ikatan akhir (*final setting time*).

3. Panas hidrasi

Panas hidrasi didefinisikan sebagai kuantitas panas dalam kalori/gram pada semen yang terhidrasi. Waktu berlangsungnya dihitung sampai proses hidrasi berlangsung secara sempurna pada temperatur tertentu. Panas hidrasi untuk semen dengan panas hidrasi rendah tidak lebih dari 60 kalori/gram sampai pada tujuh hari pertama dan 70 kalori/gram sampai 28 hari.

4. Berat jenis

Berat jenis semen Portland berkisar pada $3,12 \text{ g / cm}^3$ s/d $3,16 \text{ g / cm}^3$, nilai berat jenis ini digunakan dalam hitungan perbandingan campuran beton.

5. Perubahan volume (Kekekalan)

Kekekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campurannya dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi.

3.4 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini menempati sebanyak 60 % - 80 % dari volume mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Berdasarkan ukuran besar butirnya, agregat yang dipakai dalam adukan beton dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

Agregat menurut SNI 03-2847 2002 menyebutkan, agregat adalah material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah sebagai hasil disintegrasi alami yang dihasilkan dari industri pemecah batu yang mempunyai butir terbesar 0,5 mm untuk agregat halus. Sedangkan agregat kasar mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai dengan 40 mm.

Tujuan digunakannya agregat dalam campuran beton yaitu sebagai berikut:

1. Menghemat penggunaan semen *Portland*.
2. Menghasilkan kekuatan besar pada beton.

3. Mengurangi penyusutan pada perkerasan beton.
4. Dengan gradasi agregat yang baik dapat tercapai beton padat.
5. Sifat dapat dikerjakan (*workability*) dapat diperiksa pada adukan beton dengan gradasi yang baik.

a. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang berbutir kecil antara 0,15 mm dan 5 mm. Dalam pemilihan agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Karena sangat menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Pasir sebagai bahan pembentuk mortar bersama semen dan air, berfungsi mengikat agregat kasar menjadi satu kesatuan yang kuat dan padat (Tjokrodinuljo, 1996).

Berdasarkan ASTM C 125-03 "*Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*" agregat halus adalah agregat yang lolos saringan 4,75 mm (No. 4) dan tertahan pada saringan 75 mm (No. 200). Menurut PBI 1971 (NI-2) pasal 33, syarat-syarat agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras, bersifat kekal dalam arti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan.
2. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % terhadap jumlah berat agregat kering. Apabila kandungan lumpur lebih dari 5 %, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.

Pada SNI 03-2461-1991 Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktur digunakan sebagai acuan bagi produsen/perencana dan pelaksana pekerjaan beton dalam menilai mutu agregat ringan yang memenuhi persyaratan.

Adapun persyaratan gradasi pada agregat halus yang diadopsi dari *British Standar* yang terdapat pada SNI T – 15-1990-03 dapat dilihat pada table 3.2

Tabel 3.2. Batasan Susunan Butiran Agregat Halus

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos saringan			
	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4
10,00	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

(Sumber : Tjokrodimuljo (1996))

Keterangan:

- Daerah 1 : Pasir kasar
 Daerah 2 : Pasir agak kasar
 Daerah 3 : Pasir agak halus
 Daerah 4 : Pasir halus

b. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar antara 5 mm dan 40 mm. Sifat dari agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap cuaca dan efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan semen (Tjokrodimuljo,1996).

Berdasarkan ASTM C 125-03 “*Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*” agregat kasar adalah suatu agregat yang tertahan pada saringan 4,75 mm (No. 4). Sifat-sifat dari agregat kasar yang perlu untuk diketahui antara lain ketahanan (*hardness*), bentuk dan tekstur permukaan (*shape and texture*

surface), berat jenis agregat (*specific gravity*), ikatan agregat kasar (*bonding*), modulus halus butir (*finenes modulus*), dan gradasi agregat (*grading*).

Menurut PBI 1971 (NI-2) pasal 3.4 syarat-syarat agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20 % dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % yang ditentukan terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1 % maka agregat kasar harus dicuci.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
4. Kekerasan butir-butir agregat kasar yang diperiksa dengan bejana penguji dari Rudelof dengan beton penguji 20 ton, yang harus memenuhi syarat-syarat:
 - a. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24 % berat.
 - b. Tidak terjadi pembubukan sampai 19-30 mm lebih dari 22 % berat. Kekerasan ini dapat juga diperiksa dengan mesin *Los Angeles*. Dalam hal ini tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50 %.
5. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat 1 PBI 1971, harus memenuhi syarat sebagai berikut:
 - a. Sisa diatas ayakan 31,5 mm harus 0 % berat.
 - b. Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90 % dan 98 % berat.
 - c. Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan, maksimum 60 % dan minimum 10 % berat.

Batasan susunan butiran agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos Saringan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	22-55
4,8	0-5	0-10

(Sumber: Tjokrodimuljo (1996))

Susunan untuk butiran (gradasi) yang baik akan dapat menghasilkan kepadatan (*density*) dan porositas (*voids*) minimum. Sifat penting dari suatu agregat (baik kasar maupun maksimum halus) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan.

Bentuk dari partikel agregat kasar dapat mempengaruhi kebutuhan air, *workability*, kemampuan untuk diangkut (*mobility*), *bleeding*, kemampuan untuk membentuk hasil akhir yang baik (*finishability*) dan kekuatan. Partikel yang lebih bulat (*rounded*) memberikan *workability* yang lebih baik dibandingkan dengan partikel yang bentuknya pecah atau bersudut. Hal ini disebabkan karena sedikitnya bidang kontak antar partikel yang dialami oleh partikel bulat, sehingga gaya gesek antar partikel menjadi lebih kecil dan aliran campuran beton menjadi lebih mudah.

Bentuk agregat juga mempengaruhi kuat tekan pada beton. Campuran yang menggunakan agregat dengan bentuk pecah dan bersudut akan menghasilkan beton dengan kekuatan yang lebih tinggi karena kekuatan ikatan antar partikelnya besar. Kekuatan ikatan yang besar tersebut dikarenakan bidang kontak antara partikel dengan pasta yang besar.

3.4.1 Persyaratan Agregat

Agregat untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Butir-butirnya tajam, kuat dan bersudut. Ukuran kekuatan agregat dapat dilakukan dengan pengujian ketahanan aus dengan mesin Los Angeles, atau dengan bejana *Rudeloff*. Persyaratan menurut Standar Bidang Pekerjaan Umum seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Persyaratan kekerasan agregat kasar untuk beton.

Kekuatan Beton	Mesin Los Angeles Maksimum bagian yang hancur, menembus ayakan 1,7 mm (No. 12) %
Kelas I (sampai 100 Kg/cm ²)	50
Kelas II (sampai 100 Kg/cm ² – 200 Kg/cm ²)	40
Kelas III (di atas 200 Kg/cm ²)	27

(Sumber *Tjokrodinuljo*, 1996)

- b. Tidak mengandung tanah atau kotoran lain yang lewat ayakan 0,075 mm (No. 200). Pada agregat halus jumlah kandungan kotoran ini harus tidak lebih dari 5% untuk beton sampai 10 MPa (100 Kg/cm²), dan 2,5% untuk beton mutu yang lebih tinggi. Pada agregat kasar kandungan kotoran ini dibatasi sampai maksimum 1 persen. Jika agregat mengandung kotoran lebih dari batas-batas maksimum tersebut maka harus dicuci dengan air bersih.

3.5 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat dan perawatan beton, untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Tetapi tidak berarti air harus memenuhi persyaratan air minum. maka dapat dilakukan pemeriksaan secara visual yang menyatakan bahwa air tidak berwarna, tidak berbau, dan cukup jernih. Menurut *Tjokrodinuljo* (1996).

Secara umum pemakaian air untuk beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Air harus bersih, Tidak mengandung lumpur (enadapan atau benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.

2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organic dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung senyawa sulfat (SO_4) lebih dari 1 gram/liter.
4. Air keruh harus diendapkan minimal 24 jam atau disaring sehingga memenuhi syarat yang digunakan.

3.6 Pengujian Material

Pengujian material ini mencakup jumlah serta jenis agregat yang baik dari agregat halus dan agregat kasar yang persyaratannya haluslah sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan, sehingga hasil pengujian material ini dapat digunakan untuk kepentingan perencanaan, antara lain:

3.6.1 Analisa Saringan

Analisa saringan adalah suatu usaha untuk mendapatkan distribusi ukuran butir agregat dengan menggunakan analisis saringan (Sumber SK SNI 03-3423-1994). Analisa saringan agregat ialah penentuan persentase berat butir agregat yang lolos dari saringan agregat yang satu dengan saringan agregat yang lain, kemudian data yang dapat digambarkan pada grafik pembagian butir.

Analisa saringan dengan rumus yang diperoleh persamaan:

$$\text{Persentase (\%)} \text{ tertahan} = \frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat bahan kering}} \times 100 \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\text{Persentase (\%)} \text{ lolos} = 100\% - \text{Persentase (\%)} \text{ tertahan} \dots\dots\dots(3.2)$$



Gambar. 3.1 Saringan Standar SNI (Sumber SNI 03-3423-1994)

3.6.2 Pemeriksaan Berat Isi

Pengujian berat isi dimaksud untuk menentukan berat isi agregat halus dan agregat kasar atau campuran dari kedua agregat (Sumber SNI 03-4142-1996).

Berat bersih benda uji:

$$W3 = W2 - W1 \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana:

$W1$ = Berat tempat (gr)

$W2$ = Berat tempat + benda uji (gr)

$W3$ = Berat benda uji (gr)

Berat isi tempat ($W4$):

$$W4 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot T \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

D = Diameter tempat (gr)

T = Tinggi tempat (gr)

$W4$ = Berat isi tempat (gr)

Berat isi lepas ($W5$):

$$W5 = W3 + W4 \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana :

$W5$ = Berat isi lepas (gr)

3.6.3 Pemeriksaan Berat Jenis

Pengujian berat jenis ini dilaksanakan dengan tujuan sebagai pegangan dalam pengujian untuk mencari angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan (Sumber SNI 03-4142-1996).

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis (bulk)} : \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\text{Berat jenis permukaan jenuh} : \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\text{Berat jenis Semu (apparent)} : \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$\text{Penyerapan (absorption)} : \frac{B_j - B_k \times 100}{B_k} \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana:

B_j = Berat benda uji kering oven (gr)

B_k = Berat benda uji kering permukaan (gr)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

3.6.4 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur ini dilakukan untuk mengetahui persentase jumlah bahan dalam agregat melalui saringan 200 (0,075 mm). Jumlah bahan agregat yang lolos dalam saringan 200 adalah bahan yang telah melewati atau lolos saringan No. 200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian tidak keruh lagi (Sumber SNI 03-4142-1996).

Persentase kadar lumpur:

$$\text{Persentase kadar lumpur} = \frac{B_k \text{ sebelum} - B_k \text{ sesudah}}{B_k \text{ sebelum}} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana:

B_k sebelum = Berat benda uji kering sebelum dicuci (gr)

B_k sesudah = Berat benda uji kering sesudah dicuci (gr)

3.7 Rancangan Campuran Beton (*Mix Desain*)

Tujuan perencanaan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan baku beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang memenuhi kriteria *workabilitas*, kekuatan, *durabilitas* dan penyelesaian akhir.

Proporsi yang dihasilkan oleh rancangan pun harus optimal, dalam arti penggunaan bahan yang minimum dengan mempertimbangkan kriteria teknis.

Perencanaan campuran beton merupakan suatu hal kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik bahan penyusunnya. Karena itu, sifat dan karakteristik masing-masing bahannya tersebut akan menyebabkan produksi beton yang dihasilkan cukup bervariasi. Selanjutnya perlu diketahui beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi rancangan campuran beton, diantaranya adalah kondisi dimana pekerjaan dilaksanakan, kekuatan beton yang direncanakan, kemampuan pelaksana, tingkat pengawasan, peralatan yang digunakan, dan tujuan peruntukan bangunan.

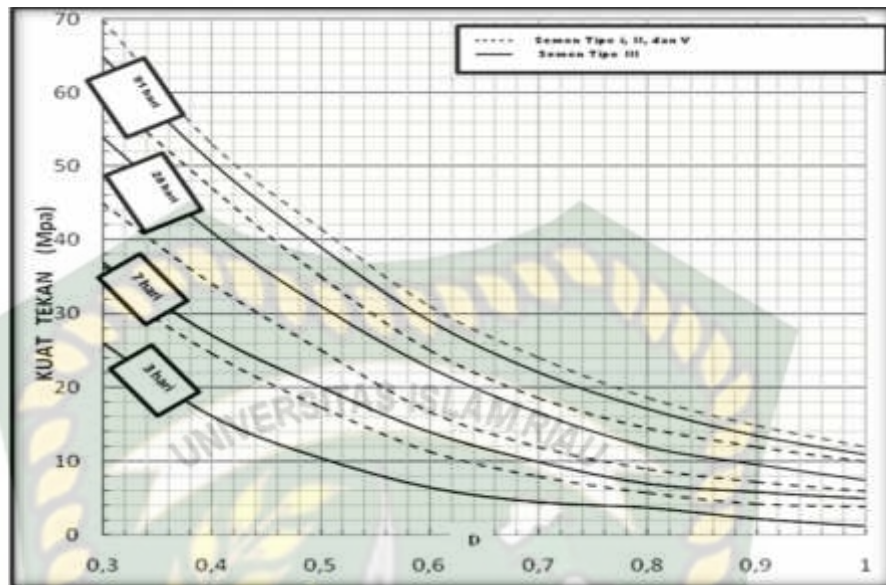
Ada beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi pekerjaan pembuatan rancangan campuran beton, diantaranya adalah kondisi dimana bangunan akan dikerjakan, kekuatan beton yang akan direncanakan, keterampilan pekerja, pengawasan yang dapat diberikan, peralatan yang akan digunakan dan tujuan penggunaan bangunan serta faktor – faktor lainnya.

3.7.1 Faktor –faktor yang Menentukan Proporsi Campuran

Komposisi dan proporsi campuran dari bahan - bahan penyusun beton ini diketahui melalui sebuah perancangan beton (*Mix design*). Komposisi dan proporsi bahan serta berat penakaran harus ditentukan sesuai dengan (Sumber SNI 03-2834-2000). Dimana nilainya ditentukan oleh factor-faktor berikut:

a. Faktor Air Semen (FAS)

Nilai perbandingan air terhadap semen atau yang disebut factor air-semen (*fas*) mempunyai pengaruh yang kuat secara langsung terhadap kekuatan beton. Harus dipahami secara umum bahwa semakin tinggi nilai (*fas*) semakin rendah mutu kekuatan beton. Umumnya nilai faktor air semen minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Sumber Mulyono, 2004).



Gambar 3.2 Hubungan kuat tekan dan faktor air semen (Sumber SNI 03-2834-1993)

Tabel 3.5 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (Mpa)				Bentuk	
		Pada Umur (hari)					
		3	7	28	91		
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder	
	Batu pecah	19	27	37	45		
Semen Tahan Sulfat Tipe II	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus	
	Batu pecah	23	32	45	54		
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder	
	Batu pecah	25	33	44	48		
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus	
	Batu pecah	30	40	53	60		

(Sumber SNI 03-2834-1993)

b. Tipe Semen

Penggunaan tipe semen yang berbeda, yaitu semen Portland tipe I, II, IV dengan semen Portland yang memiliki kekuatan awal yang tinggi (tipe III) akan memerlukan nilai factor air-semen yang berbeda.

c. Keawetan (*durability*)

Pertimbangan keawetan akan memerlukan nilai-nilai kekuatan minimum, factor air-semen maksimum, dan kadar semen minimum.

d. Workabilitas dan Jumlah Air (*Slump*)

Suatu nilai *slump* tertentu yang diharapkan dapat memberi kemudahan pengerjaan sesuai dengan jenis konstruksi yang dikerjakan berpengaruh terhadap jumlah air yang dibutuhkan. Untuk mencegah penggunaan adukan beton yang terlalu kental atau terlalu encer, dianjurkan untuk menggunakan nilai-nilai *slump* dalam batas-batas yang telah ditentukan.

Untuk itu dianjurkan menggunakan nilai – nilai *slump test* yang terletak didalam batas – batas yang ditujukan untuk berbagai pekerjaan beton yang dapat dilihat pada Tabel 3.7

Tabel 3.6 Nilai – nilai *slump* untuk berbagai pekerjaan

No.	Elemen Struktur	<i>Slump Maks</i> (cm)	<i>Slump Min</i> (cm)
1	Plat pondasi, pondasi telapak Bertulang	12,5	5,0
2	Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi di bawah Tanah	9,0	2,5
3	Plat (lantai), balok, kolom dan Dinding	15,0	7,5
4	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5	Pembetonan massal	7,5	2,5

(Sumber PBI, 1971)

Pengukuran *slump* harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji. Untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dilakukan dua kali pemeriksaan dengan adukan yang sama

dan dilaporkan hasil rata - rata. Pengambilan benda uji harus dari contoh beton segar yang mewakili campuran beton.

e. Pemilihan Agregat

Ukuran maksimum agregat ditetapkan berdasarkan pertimbangan ketersediaan material yang ada

f. Kadar Semen

Kadar semen yang diperoleh dari hasil perhitungan rancangan selanjutnya dibandingkan dengan ketentuan kadar semen minimum berdasarkan pertimbangan durabilitas, dan dibandingkan juga dengan batas kadar semen maksimum untuk mencegah terjadinya retak akibat panas hidrasi yang tinggi.

3.7.2 Variabilitas

Pengertian variabilitas dalam kekuatan beton tercermin melalui nilai standar deviasi. Asumsi yang digunakan dalam perencanaan bahwa kekuatan beton akan terdistribusi normal selama masa pelaksanaan.

Secara umum rumusan mengenai kekuatan tekan dengan mempertimbangkan variabilitas ditulis sebagai berikut:

$$f'_{cr} = f'_c + k.S$$

dengan pengertian:

f'_{cr} = kekuatan tekan rencana rata-rata

f'_c = kekuatan tekan rencana

S = nilai tekan rencana

k = konstanta yang diturunkan dari distribusi normal

Nilai k biasanya diambil 1.64 untuk bagian yang ditolak/cacat yang diijinkan 5%.

Nilai $k.S$ dinamakan nilai tambah (*margin*) yang merupakan juga nilai keamanan dalam perancangan.

Hitungan nilai/margin, $M = k.S$ dimana $k = 1.64$

Hitungan kuat rata-rata, $f'_{cr} = f'_c + M$

Tabel 3.7 Deviasi standar sebagai ukuran mutu pelaksanaan

Volume Pekerjaan	Mutu Pelaksanaan (Mpa)		
	Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil (<1000 m ³)	$4.5 < sd \leq 5.5$	$5.5 < sd \leq 6.5$	$6.5 < sd \leq 8.5$
Sedang (1000 - 3000 m ³)	$3.5 < sd \leq 4.5$	$4.5 < sd \leq 5.5$	$5.5 < sd \leq 7.5$
Besar (≥ 3000 m ³)	$2.5 < sd \leq 3.5$	$3.5 < sd \leq 4.5$	$4.5 < sd \leq 6.5$

(Sumber SNI 03-2843-2000)

3.8 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul beton per satuan luas. Kuat tekan beton normal antara 20 – 40 MPa. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh: faktor air semen (*water cement ratio* = w/c), sifat dan jenis agregat, jenis campuran, workability, perawatan (*curing*) beton dan umur beton. Faktor air semen (*water cement ratio* = w/c) sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Semakin kecil nilai w/c nya maka jumlah airnya sedikit yang akan menghasilkan kuat tekan beton yang besar. Sifat dan jenis agregat yang digunakan juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Semakin tinggi tingkat kekerasan agregat yang digunakan akan dihasilkan kuat tekan beton yang tinggi. Selain itu susunan besar butiran agregat yang baik dan tidak seragam dapat memungkinkan terjadinya interaksi antar butir sehingga rongga antara agregat dalam kondisi optimum yang menghasilkan beton padat dan kuat tekan yang tinggi.

Untuk memperoleh beton dengan kekuatan seperti yang diinginkan, maka beton masih perlu dilakukan perawatan dengan tujuan agar proses hidrasi pada semen berjalan dengan sempurna. Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kondisi dengan kelembaban tertentu. Apabila beton terlalu cepat mengering, akan timbul retak-retak pada permukaannya. Retak-retak ini akan menyebabkan kekuatan beton turun, juga akibat kegagalan mencapai reaksi hidrasi kimiawi penuh.

Kuat tekan beton mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton dianggap mencapai 100 % setelah beton berumur 28 hari. Menurut SNI T-15-1991, perkembangan kekuatan beton dengan bahan pengikat PCC tipe 1 berdasarkan umur beton disajikan pada Tabel 3.8 sebagai berikut:

Tabel 3.8 Nilai perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur beton

Jenis Semen	Umur Beton (hari)						
	3	7	17	21	28	90	56
Semen Portland Biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan Kekutan awal Tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

(Sumber SNI T-15-1991)

Kuat tekan beton dihitung dengan rumus:

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.11)$$

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas bidang tekan benda uji (mm²)

Apabila jumlah benda uji lebih dari satu, maka kuat tekan beton rata-rata dihitung dengan rumus :

$$f'_c \text{ rata-rata} = \frac{\sum f'_c}{N} \dots\dots\dots (3.12)$$

f'_c rata-rata = Kuat tekan beton rata-rata (MPa)

N = Jumlah benda uji (buah)

Pengujian dilakukan dengan posisi benda uji yang diberikan tekanan pada benda uji silinder maupun kubus. Sedangkan parameter dalam pengujian adalah dengan memberikan beban penekanan pada benda uji menggunakan alat uji tekan (*Compreseion Testing Machine*) hingga benda uji mengalami keretakan. Apabila telah tampak keretakan pada benda uji pada sisi benda uji maka penekanan dihentikan dan dicatat besar tekanan maksimum yang dapat ditahan oleh masing-masing benda uji.



Gambar 3.3 Benda Uji dan Alat Tekan *Compression Testing Machine*,
(Sumber: SNI 4431:2011).

3.9 Kuat Lentur Beton

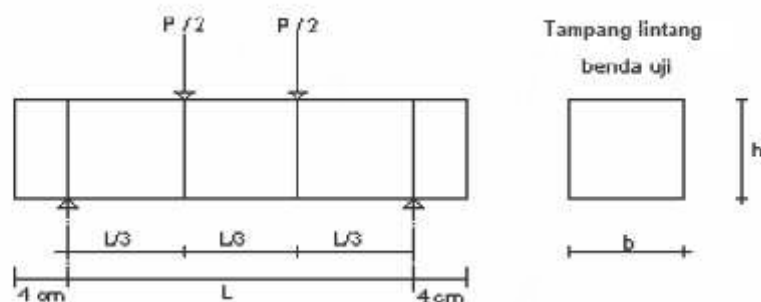
Kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam *Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas*. Cara pengujian yang digunakan adalah pembebanan tiga titik (*three point bending*) mengacu pada Standar Nasional Indonesia.



Gambar 3.4 Cara pengujian kuat lentur beton (Sumber SNI 4431:2011)

b. Potongan Memanjang

a. Potongan Melintang



Gambar 3.5 Cara pengujian kuat lentur beton (Sumber SNI 4431:2011)

3.9.1 Rumus – rumus perhitungan

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan adalah:

- a) Untuk pengujian dimana bidang patah teletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots(3.13)$$



Gambar 3.6 Patah pada 1/3 bentang tengah Rumus 1, (Sumber SNI 4431:2011)

- b) Untuk pengujian dimana patanya benda uji ada diluar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_1 = \frac{P.a}{b.h^2} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dengan pengertian:

σ_1 = kuat lentur benda uji (Mpa)

P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam ton sampai 3 angka di belakang koma)

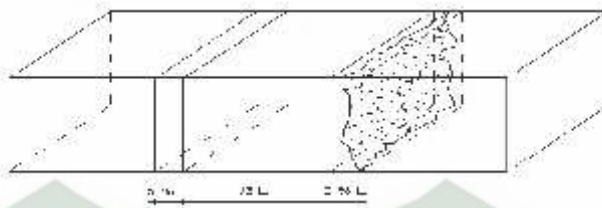
L = jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = lebar tampang lintang patah arah harozintal (mm)

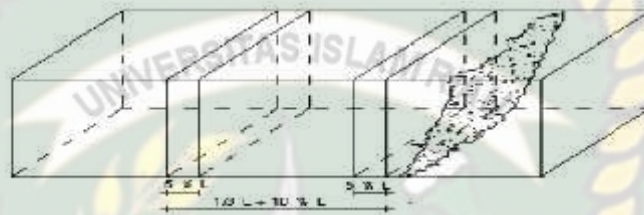
h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a = jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

Untuk benda uji yang patahnya di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik titik perletakan bagian tengah) dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak digunakan.



Gambar 3.7 Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang, Rumus 2 (Sumber SNI 4431:2011)



Gambar 3.8 Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada >5% dari bentang, (Sumber SNI 4431:2011)

3.10 Hubungan antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexible strength*) umur 28 hari, (Sumber. Pd T-14-2003). Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton dapat didekati dengan rumus berikut ini:

$$f_s = K \cdot (f'_c)^{0.5} \dots\dots\dots (3.15)$$

dimana: f_s = kuat lentur beton pada umur 28 hari (MPa)

f'_c = kuat tekan beton umur 28 hari (MPa)

K = konstanta, 0,7 untuk agregat tidak pecah dan 0,75 untuk agregat pecah