

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

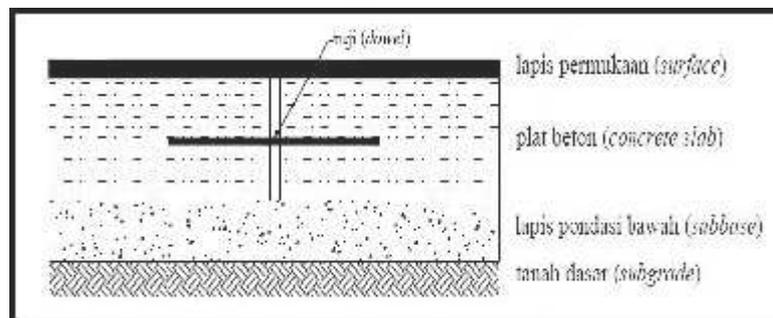
Perkerasan kaku atau beton semen adalah suatu konstruksi (perkerasan) dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan ikatnya terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. (Mulyono. 2004)

Pada saat ini dikenal ada 5 jenis perkerasan beton semen yaitu:

1. Perkerasan beton semen tanpa tulangan dengan sambungan (*joined plain concrete pavement*).
2. Perkerasan beton semen bertulang dengan sambungan (*joined reinforced concrete pavement*).
3. Perkerasan beton semen tanpa tulangan (*continuously reinforced concrete pavement*).
4. Perkerasan beton semen prategang (*prestressed concrete pavement*).
5. Perkerasan beton semen bertulang fiber (*fiber reinforced concrete pavement*).

3.1.1 Komponen Konstruksi Perkerasan Kaku

Pada konstruksi perkerasan beton semen, sebagai konstruksi utama adalah berupa satu lapis beton semen mutu tinggi. Sedangkan lapis pondasi bawah (subbase) berupa cement treated subbase maupun granular subbase berfungsi sebagai konstruksi pendukung atau pelengkap.



Gambar 3.1 Struktur Beton Semen (Sumber. Pd T-14-2003)

Adapun komponen konstruksi perkerasan beton semen (*rigid pavement*) adalah sebagai berikut:

a. Tanah Dasar (*subgrade*)

Tanah dasar adalah bagian dari permukaan badan jalan yang dipersiapkan untuk menerima konstruksi di atasnya yaitu konstruksi perkerasan. Tanah dasar ini berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas yang telah disalurkan/disebarkan oleh konstruksi perkerasan. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam penyiapan tanah dasar (*subgrade*) adalah lebar, kerataan, kemiringan melintang keseragaman daya dukung dan keseragaman kepadatan.

b. Lapis Pondasi (*subbase*)

Lapis pondasi ini terletak di antara tanah dasar dan pelat beton semen mutu tinggi. Pada umumnya fungsi lapisan ini tidak terlalu struktural, maksudnya keberadaan dari lapisan ini tidak untuk menyumbang nilai struktur perkerasan beton semen. Fungsi utama dari lapisan ini adalah sebagai lantai kerja yang rata. Apabila subbase tidak rata, maka pelat beton juga tidak rata.

c. Tulangan

Pada perkerasan beton semen terdapat dua jenis tulangan, yaitu tulangan pada pelat beton untuk memperkuat pelat beton tersebut dan tulangan sambungan untuk menyambung kembali bagian-bagian pelat beton yang telah terputus atau diputus.

d. Sambungan atau Joint

Fungsi dari sambungan atau joint adalah mengendalikan atau mengarahkan retak pelat beton akibat susut maupun lenting agar teratur, baik bentuk maupun lokasinya sesuai yang kita kehendaki (sesuai desain). Dengan terkontrolnya retak tersebut, maka retak akan tepat terjadi pada lokasi yang teratur dimana pada lokasi tersebut telah kita beri tulangan sambungan.

Pada sambungan melintang terdapat 2 jenis sambungan yaitu sambungan susut dan sambungan lenting. Sambungan susut diadakan dengan cara memasang bekisting melintang dan dowel antara pelat pengecoran sebelumnya dan pengecoran berikutnya. Sedangkan sambungan lenting diadakan dengan cara memasang bekisting memanjang dan tie bar. Pada setiap celah sambungan harus

diisi dengan *joint sealent* dari bahan khusus yang bersifat *thermoplastic*. Sebelum *joint sealent* dicor atau dituang, maka celah harus dibersihkan terlebih dahulu dari segala kotoran.

3.2. Beton

Beton menurut (SK SNI T-15-1990-03) adalah campuran antara semen *Portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk masa padat (*admixture* atau *additive*). Beton normal adalah beton yang memiliki berat jenis 2.200 – 2.500 kg/m³ dan memiliki kuat tekan 15 Mpa sampai 40 Mpa.

3.3. Material Pembentuk Beton

Berikut ini akan dijabarkan mengenai bahan-bahan pembentuk beton yang juga dipakai sebagai bahan beton yang akan diteliti pada penelitian ini. Adapun material-material dalam pembentuk beton adalah sebagai berikut.

3.3.1 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 yang digunakan untuk bahan beton adalah semen *Portland*, berupa semen *hidrolik* yang berfungsi sebagai bahan perekat bahan susun beton. Dengan jenis semen tersebut diperlukan air guna berlangsungnya reaksi kimiawi pada proses hidrasi. Pada proses hidrasi semen mengeras dan mengikat bahan susun beton membentuk masa padat.

Semen *portland* secara garis besar terdiri dari 4 (empat) senyawa kimia utama untuk menyusun semen Portland, (PUBI-1982) yaitu:

- a) *Trikalsium silica* ($3\text{CaO} - \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S .
- b) *Dikalsium silica* ($2\text{CaO} - \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S .
- c) *Trikalsium aluminat* ($3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3S .

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 type yaitu adalah sebagai berikut : (Tjokrodinuljo, 1996).

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 lebih tinggi terhadap sulfat.

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 gr/cm^3 s/d 3,16 gr/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.

3.3.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton (Tjokrodinuljo, 1992). Menghasilkan beton yang baik memerlukan agregat yang baik pula (dengan pembagian gradasi yang baik), sehingga dapat memberikan stabilitas volume dan keawetan yang tinggi.

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: (Tjokrodinuljo, 1992)

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 dengan susunan agregat yang saling mengunci.

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 dan gradasi yang telah ditentukan (SNI 03-2461-1991).

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

Agregat ringan dalam standar ini terdiri dari 2 (dua) macam yaitu:

1. Agregat Ringan buatan yang merupakan hasil proses pengembangan, pemanasan atau sintering dari bahan terak tanur tinggi, lempung, diatome, abu terbang, batu sabak, batu obsidian.
2. Agregat ringan alami di peroleh secara alami, seperti batu apung dan sconia, batu letusan gunung atau batuan lahar.

Adapun persaratan gradasi pada agregat halus yang diadopsi dari *British Standar* yang terdapat pada (SNI T-15- 1990 -03) dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Pembagian Zona Untuk Agregat Halus

Lubang Ayakan(mm)	Persen Berat Butir Lewat Ayakan			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 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	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber. SNI T-15- 1990 -03)

b. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar antara 5 mm dan 40 mm atau agregat yang tertahan pada saringan 4,75 mm (No.4). Sifat dari agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton dan daya tahan beton terhadap tekanan, cuaca dan efek-efek perusak lainnya.

Untuk ukuran agregat kasar dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Ukuran Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maksimum		
	40	20	12.5
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12.5	-	-	90-100
10	10-35	25-55	40-85
4.8	0-5	0-10	0-10

(Sumber. SNI T-15- 1990 -03)

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

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.

3.3.3. Persyaratan Agregat

Agregat untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut : (Tjokrodinuljo,1996)

- 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 3.3.

Tabel 3.3. Persyaratan kekerasan agregat kasar untuk beton.

Kekuatan Beton	Mesin Los Angeles Maksimum bagian yang hancur (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.
- c. Sifat-sifat fisis dan mekanis agregat menurut (SNI.03-2461-1991) meliputi:
1. Gradasi agregat halus, agregat kasar dan gabungan yang diuji harus memenuhi persyaratan gradasi.
 2. Keseragaman gradasi ditentukan berdasarkan besarnya modulus kehalusan yang harus di uji secara periodik tidak boleh berbeda lebih dari 7% terhadap nilai modulus kehalusan yang telah di tentukan

Tabel 3.4 Persyaratan Agregat Kasar, Halus, Dan Gabungan

UKURAN (mm)	PERSENTASE LOLOS ANGKA (%BERAT)								
	(25.0)	(19.0)	(12.5)	(9.50)	(4.75)	(2.36)	(1.18)	(0.60)	(0.30)
Agregat Halus (4.75 -8)	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5-25

Agregat Kasar									
(25.8-4.75)	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-
(19.0-4.75)	100	90-100	-	10-50	0-15	-	-	-	-
(12.5-4.75)		100	90-100	40-80	0-20	0-10	-	-	-
(9.50-4.75)		-	-	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-
Kombinasi Agregat Halus dan Kasar									
(12.5-8)	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15
(9.50-8)	-	-	100	100	65-90	35-65	-	10-25	5-15

(Sumber. SNI 03-2461-1991)

3.3.4. Air

Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat, agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang memenuhi persyaratan bahan bangunan, memenuhi syarat untuk bahan campuran beton.

Kekuatan beton dan daya tahannya berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal adukan beton, serta kekuatan betonnya setelah mengeras. Air yang berlumpur terlalu banyak dapat diendapkan dulu sebelum dipakai, dalam kolam pengendap. Adanya garam-garam, timah, seng, tembaga dan timah hitam dengan jumlah cukup besar pada air adukan akan menyebabkan pengurangan kekuatan beton.. (Tjokrodilmuljo, 1997). Secara umum pemakaian air untuk beton harus memenuhi syarat sebagai berikut ini.

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

- 3 Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- 4 Tidak mengandung Chlorida (*Cl*) lebih dari 0,5 gram/liter.
- 5 Tidak mengandung senyawa sulfat (*SO₄*) lebih dari 1 gram/liter.

3.4 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 :

3.4.1 Analisa Saringan.

Analisa saringan adalah suatu usaha untuk mendapatkan distribusi ukuran butir agregat dengan menggunakan analisis saringan. 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. (SK SNI 03-3423-1994)

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. 3.2 Saringan standar SNI (Sumber.SNI 03-3423-1994).

3.4.2 Pemeriksaan Berat Isi

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

Berat bersih benda uji :

$$W_3 = W_2 - W_1 \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

W_1 = Berat tempat (gr)

W_2 = Berat tempat + benda uji (gr)

W_3 = Berat benda uji (gr)

Berat isi tempat (W_4) :

$$W_4 = \frac{1}{4} \cdot D^2 \cdot T \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

D = Diameter tempat (gr)

T = Tinggi tempat (gr)

W_4 = Berat isi tempat (gr)

Berat isi lepas (W_5) :

$$W_5 = W_3 + W_4 \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana :

W_5 = Berat isi lepas (gr)

3.4.3 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. (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)

3.4.4 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. (SNI 03-4142-1996)

Persentase kadar lumpur :

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

Dimana :

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

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

3.5 Perancangan Beton (*Mix Design*)

Dalam pembuatan beton perlu dilakukannya perancangan (*Mix Disgn*) Perancangan campuran beton bertujuan untuk mengetahui komposisi dan proporsi bahan - bahan penyusun pada beton. 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 (SNI 03-2834-2000).

Biasanya beton dirancang untuk mencapai :

- Mudahnya pengerjaan (*workability*) adukan beton yang dalam praktek ditentukan dengan tingginya Slump
- Kekuatan tekan (*Compressive Strength*) pada umur tertentu bagi beton yang sudah mengeras.
- Kekentalan yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, pemadatan, dan perataan) dengan mudah dapat mengisi acuan dan menutup permukaan secara serba sama (homogen);
- Keawetan (*Durability*) bagi beton yang sudah mengeras

Adapun pedoman awal untuk perkiraan proporsi takaran campuran dapat dilihat pada Tabel 3.5.

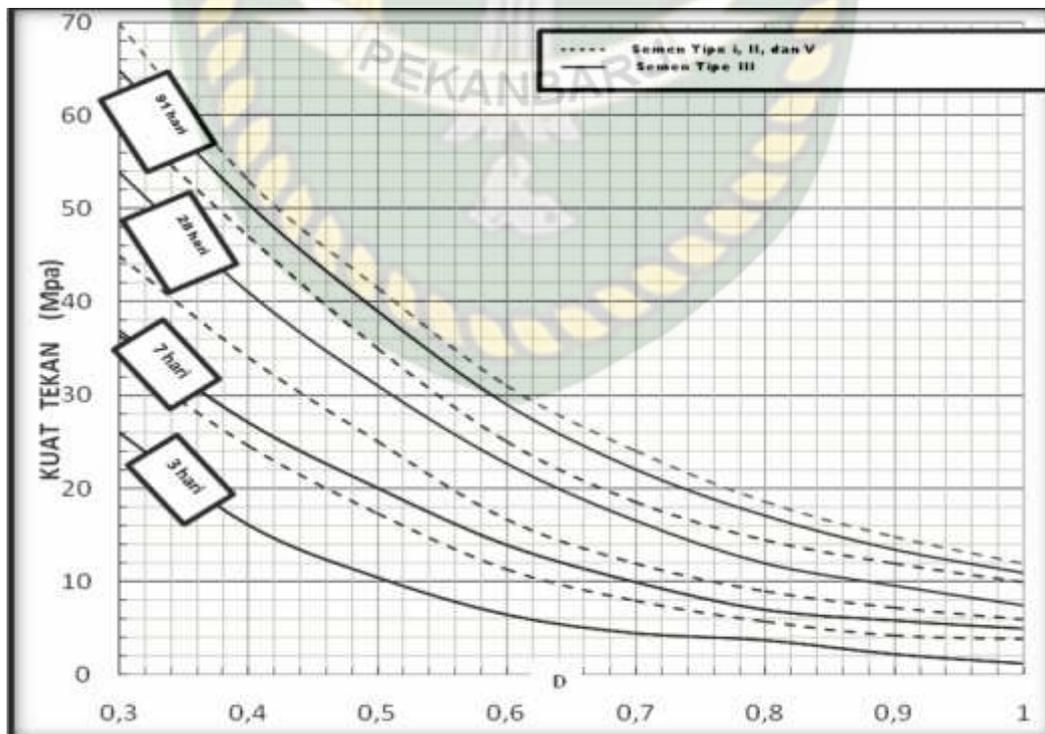
Tabel 3.5 Pedoman Awal Untuk Perkiraan Proporsi Takaran Campuran
(Sumber. Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

Jenis Beton	Mutu beton		Ukuran agregat maks, (mm)	Rasio air/semen maks terhadap berat	Kadar semen Min. (Kg/m ³) dari campuran
	(Mpa)	Kg/cm ²			
Mutu Tinggi	50	K600	19	0,35	450
			37	0,4	395
	45	K500	25	0,4	430
			19	0,4	455
	38	K450	37	0,425	370
			25	0,425	405
			19	0,425	430
	35	K400	37	0,45	350
			25	0,45	385
			19	0,45	405
Mutu Sedang	30	K350	37	0,475	335
			25	0,475	365
			19	0,475	385
	25	K300	37	0,5	315
			25	0,5	345
			19	0,5	365
	20	K250	37	0,55	290
			25	0,55	315
			19	0,55	335
Mutu Rendah	15	K175	37	0,6	265
			25	0,6	290
			19	0,6	305
	10	K125	37	0,7	225
			25	0,7	245
			19	0,7	260

3.5.1 Faktor Air Semen

Menurut (SNI 03-2834-1993), faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air bebas dan berat semen dalam beton. Faktor air semen dan kepadatan mempengaruhi kekuatan beton. Faktor air semen berfungsi untuk memungkinkan reaksi kimia dalam mengikat dan berlangsungnya pengerasan, juga sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar lebih mudah dalam pencetakan beton.

Kekuatan beton tergantung pada perbandingan faktor air semennya. Semakin tinggi nilai faktor air semen, semakin rendah mutu kekuatan beton, namun demikian, nilai faktor air semen yang semakin rendah tidak selalu kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas – batas dalam hal ini, nilai faktor air semen yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai faktor air semen minimum yang diberikan sekitar 0.4 dan maksimum 0.65 (Mulyono, 2004).



(Sumber. SNI 03-2834-1993)

Gambar 3.3 Hubungan kuat tekan dan faktor air semen dengan benda uji silinder.

Untuk mengatasi kesulitan dalam pemadatan adukan beton dapat dilakukan dengan pemadatan alat getar (vibrator).

Tabel 3.6 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (Mpa)				Bentuk uji
		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	

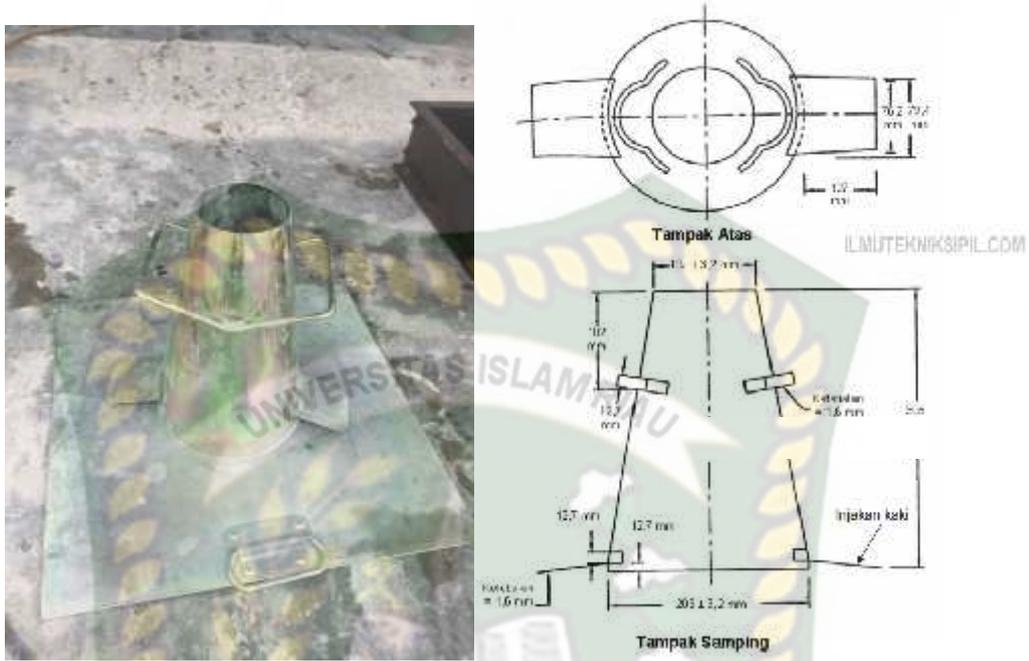
(Sumber. SNI 03-2834-1993)

3.5.2 Slump

Slump adalah penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat (SNI-1972:2008). Percobaan slump beton adalah suatu cara untuk mengukur kelecikan adukan beton, yaitu kecairan/kekentalan adukan yang berguna dalam pekerjaan beton. Semakin rendah nilai slump maka menunjukkan bahwa adukan tersebut semakin kental. Pemeriksaan slump beton dimaksudkan untuk mengetahui konsistensi beton dan sifat mudah dikerjakan (*workability*) sesuai dengan syarat yang telah ditetapkan. semakin besar nilai slumpnya akan semakin mudah dikerjakan.

Peralatan *slump tests* yang terdiri dari (SNI 1972 : 2008) :

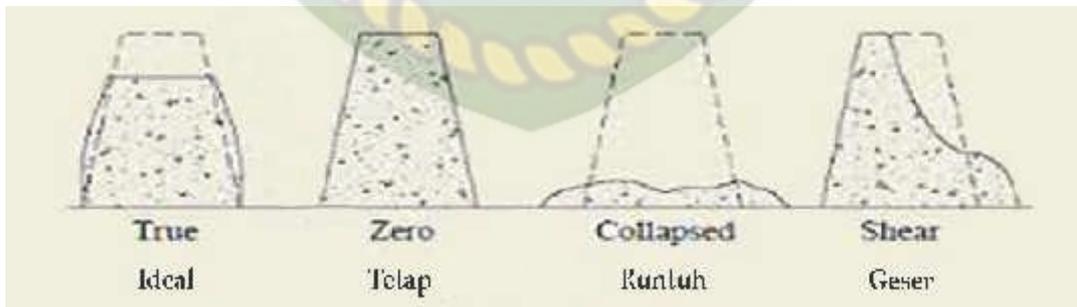
1. Kerucut terpancung dengan diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm.
2. Bidang atas yang tidak meresap air
3. Tongkat baja $\phi 16$ mm, panjang 60 cm dengan ujung yang dibulatkan
4. Mistar ukur dari baja.



Gambar 3.4 Cetakan *Slump* Beton (Sumber. SNI 1972:2008)

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.

Nilai slump = tinggi alat slump - tinggi beton setelah terjadi penurunan.



Gambar 3.5 Type Hasil Pengujian *Slump* (Sumber.ACI 238)

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 3.7. Nilai – nilai *slump* untuk berbagai pekerjaan

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

(Sumber. PBI, 1971)

3.6 Perawatan Beton

Proses hidrasi merupakan proses perubahan kimia yang selalu diiringi dengan peningkatan temperatur yang kemudian menyebabkan beton berubah dari kondisi plastis menjadi keras secara tahap demi tahap (*gradual*). Kemungkinan tercapainya kekuatan beton keras sebagaimana yang direncanakan sangat bergantung pada baik atau tidaknya perawatan beton setelah pengecoran dan pemadatan beton selesai. (Pusjatan, 2008)

Tindakan perawatan beton bertujuan untuk memberikan kesempatan semen berhidrasi dengan kecepatan tertentu, dimana temperatur yang terjadi tidak menyebabkan penguapan air pencampur secara berlebihan. Selain karena temperatur yang tinggi, air pencampur juga bisa hilang karena panas matahari dan hembusan angin.

Bila perawatan kurang baik, kerugian yang akan terjadi tidak hanya terhadap kekuatan beton, tetapi juga terhadap keawetan, kedapannya terhadap air, serta stabilitas dimensi struktur. Pekerjaan perawatan beton harus segera dimulai setelah beton mulai mengeras, dengan menyelimutinya dengan bahan yang dapat menyerap air atau dengan merendam didalam bak yang telah berisi air.

Perawatan beton dilakukan minimal 7 hari untuk beton biasa, dan minimal 3 hari untuk beton berkekuatan awal tinggi. Secara umum dapat dikatakan bahwasemakin lama beton dibiarkan mengeras dengan proses perawatan yang baik, maka akan menghasilkan beton dengan kualitas yang semakin baik.

3.7. Metode Perawatan Beton

Terdapat berbagai macam metode curing beton yang umum dilakukan baik dengan pembasahaan sederhana, penguapan dan menggunakan membran. Pemilihan cara yang tepat dalam melakukan pemeliharaan beton merupakan hal yang harus diperhatikan karena sangat berpengaruh terhadap biaya yang akan dikeluarkan dan sangat berpengaruh terhadap nilai kuat tekan dan kuat lentur yang akan diperoleh. (Pusjatan, 2008)

3.7.1. Perawatan Dengan Pembasahan

Menaruh beton segar dalam ruangan yang lembab (dilakukan pada beton uji). Menaruh beton segar dalam genangan air (dilakukan pada beton uji). Menyelimuti permukaan beton dengan air. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah. Menyirami permukaan beton secara *continue*.

3.7.2. Perawatan Dengan Penguapan / *Steam*

Perawatan dengan penguapan biasanya dilakukan untuk produksi beton pracetak. Sebelum perawatan dengan penguapan dilaksanakan, beton harus dipertahankan terlebih dahulu dan berada pada suhu 10°-30°C selama beberapa jam. Perawatan dengan penguapan dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Perawatan dengan tekanan yang rendah berlangsung selama 10-12 jam dengan tekanan berkisar antara 40°-55°C
2. Perawatan dengan tekanan tinggi berlangsung selama 10-16 jam dengan tekanan pada suhu 65°-95°C, dengan suhu akhir 40°-55°C.

3.7.3. Perawatan Dengan Selimut Kedap Air

Metode ini dilakukan dengan menyelimuti permukaan beton dengan bahan lembaran kedap air yang bertujuan mencegah kehilangan kelembaban air permukaan beton. Beton harus basah pada saat lembaran kedap air ini dipasang. Lembaran bahan ini aman untuk tidak terbang atau pindah karena tertiuip angin dan apabila ada kerusakan atau sobek harus segera diperbaiki selama periode

perawatan berlansung. Perawatan dengan menggunakan membran sangat berguna untuk perawatan pada lapisan perkerasan beton (*rigid pavement*).

3.8. Beton Tanpa Dirawat

Suatu proses yang dilakukan setelah beton mulai mengeras dan dilepaskan dari cetakan. Dimana proses mengerasnya beton tersebut dibiarkan berada diluar ruangan atau didalam ruangan, baik yang terkena sinar matahari secara lansung ataupun tidak terkena sinar matahari secara lansung. Sehingga beton tersebut mengalami hidrasi atau penguapan air yang sangat cepat dibandingkan dengan beton yang melakukan perawatan. (Pusjatan, 2008)

Adapun efek yang dapat ditimbulkan apabila beton tidak dirawat :

1. Beton terlalu cepat kehilangan air semen pada saat-saat setting time.
2. Kekuatan beton yang direncanakan tinggi, tidak dapat tercapai.
3. Beton menjadi rapuh dan getas

3.9. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. 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 *Compression Machine* hingga benda uji mengalami keretakan.



Gambar 3.6 Alat Uji Tekan *Compression Machine* (Sumber. SNI 03-1974-1990)

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh : sifat dan jenis agregat, faktor air semen (*water cement ratio* = w/c), jenis campuran, workability, perawatan beton dan umur beton. Sifat dan jenis agregat yang digunakan juga sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Semakin tinggi tingkat kekerasan agregat yang digunakan maka semakin tinggi pula nilai yang dihasilkan. Selain itu dengan beragamnya ukuran agregat yang digunakan dapat memungkinkan terjadinya interaksi atau saling mengunci antar butir sehingga rongga antar agregat dalam kondisi optimum yang menghasilkan beton padat dan kuat tekan yang tinggi.

Menurut SNI T-15-1991, Perbandingan dan perkembangan kuat tekan beton pada berbagai umur dengan bahan pengikat PC type dapat dilihat pada Tabel 3.8 sebagai berikut..

Tabel 3.8. Nilai perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur beton

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
PC Biasa	0,4	0,65	0,88	0,95	1	1,2	1,35
PC dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,9	0,95	1	1,15	1,2

(Sumber. PBI 1971 N.I.2)

Nilai kuat tekan beton diperoleh dari persamaan 3.11 dan 3.12 :

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana:

- f_c = Kekuatan tekan (MPa)
- P = Beban tekan (N)
- A = Luas permukaan benda uji (mm^2)

Kuat rata – rata benda uji ($f_c'rk$)

$$f_c' r = \frac{\sum f_c}{n} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimana :

f_c = Kuat tekan hasil tes (kg/cm^2 , Mpa)

$f_c'r$ = Kuat tekan beton rata – rata (kg/cm^2 , Mpa)

n = Jumlah benda uji (buah)

3.10. Kuat Tarik Lentur

Kuat tarik lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) (SNI 03-4431-1997).

Sebuah balok yang diberi beban akan mengalami deformasi, dan oleh sebab itu timbul momen-momen lentur sebagai perlawanan dari material yang membentuk balok tersebut terhadap beban luar. Momen eksternal harus ditahan oleh bahan dari beton, dan harga maksimum yang dapat dicapai sebelum balok mengalami keruntuhan atau patah sama dengan momen penahan internal dari balok. Sistem pembebanan pada pengujian tarik lentur, yaitu benda uji dibebani sedemikian rupa sehingga hanya akan mengalami keruntuhan akibat lentur murni seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.7. Pengujian Kuat Tarik Lentur (Sumber. SNI 03-4431-1997).

Rumus kuat tarik lentur diperlihatkan pada :

Untuk pengujian dimana bidang patah terletak didaerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) (Pd T-14-2003). Maka kuat lentur beton dapat dihitung dengan rumus pada persamaan 3.13 sebagai berikut

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

dimana :

- f_r = Kuat Tarik Lentur [MPa]
- P = Beban pada waktu lentur [kN]
- l = Jarak dari perletakan ke gaya [mm]
- b = Lebar penampang balok [mm]
- h = Tinggi penampang balok [mm].