

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

2.1.1. Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI-03-2847-2019). Beton disusun dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

2.1.2. Mutu Beton

Berdasarkan Departemen PU (Spesifikasi Umum (2018) untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan pada divisi 7) mutu beton di kelompokkan menjadi :

Tabel 2. 1 Mutu Beton

Jenis Beton	f_c' (MPa)	Uraian
Mutu tinggi	$f_c' \geq 45$	Umumnya digunakan untuk beton pratekan seperti tiang pancang beton pratekan, gelagar beton pratekan, pelat beton pratekan, diafragma pratekan, dan sejenisnya.
Mutu sedang	$20 \leq f_c' < 45$	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma non pratekan, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan beton semen.
Mutu rendah	$15 \leq f_c' < 20$	Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, dan trotoar
	$f_c' < 15$	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton.

(Sumber: Spesifikasi Umum 2018-Divisi 7)

2.1.3 Pengertian Beton Bertulang

Beton bertulang adalah material komposit dimana tulangan baja disusun ke dalam beton sedemikian rupa, berfungsi menahan gaya tarik pada struktur. Kedua material tersebut bekerja sama untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada elemen tersebut. Kombinasi kedua material menjadikan beton bertulang mempunyai sifat yang sangat kuat terhadap gaya tekan dan tarik.

1.2 Material Pembentuk Beton

2.2.1. Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat menepati 70% volume beton, sehingga sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton. Agregat sesuai dengan SNI 03-1750-1990 tentang Agregat Beton, Mutu dan Cara Uji.

a. Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 1969:2008 agregat kasar yaitu kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No. 4) sampai 40 mm (No. 1 1/2 inci).

Tabel 2. 2 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	% Berat Butir yang Lewat Ayakan		
	Ukuran Maks 10mm	Ukuran Maks 20mm	Ukuran Maks 40mm
76	-	-	100-100
38	-	100-100	95-100
19,6	100-100	95-100	35-70
9,6	50-85	30-60	10-40
4,8	0-10	0-10	0-5

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

syarat-syarat agregat kasar yang akan dicampur sebagai adukan beton adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Dari kadar agregat yang lemah bila diuji dengan cara digores menggunakan batang tembaga, maksimum 5%.
2. Agregat kasar terdiri dari butiran pipih dan panjang, hanya bisa dipakai jika jumlah butiran pipih dan panjang tidak melebihi dari 20% berat agregat seluruhnya.
3. Butir-butir agregat harus bersifat kekal (tidak pecah atau hancur) oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, contohnya zat-zat reaktif dan alkali.
5. Lumpur yang terkandung dalam agregat kasar tidak boleh lebih dari 1% berat agregat kasarnya, apabila lebih dari 1% maka agregat kasar tersebut harus dicuci terlebih dahulu dengan air yang bersih.

b. Agregat Halus

Berdasarkan SNI 1970:2008, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi ‘alami’ batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4).

Tabel 2. 3 Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan	Pasir Kasar Gradasi 1	Pasir Sedang Gradasi 2	Pasir Agak Halus Gradasi 3	Pasir Halus Gradasi 4
9,6	100-100	100-100	100-100	100-100
4,8	90-100	90-100	92-100	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 03-2834-2000)

Agregat halus yang digunakan didalam adukan beton harus memnuhi syarat sebagai berikut:

1. Pasir halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butirannya harus bersifat kekal.
3. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat keringnya.
4. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak

2.2.2. Semen

Menurut SNI 15-2049-2015 semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain dibedakan menjadi 5 jenis/tipe yaitu:

- a. Semen Portland tipe I, yaitu semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Semen Portland tipe II, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Semen Portland tipe III, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Semen Portland tipe IV, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya membutuhkan kalor hidrasi rendah.
- e. Semen Portland tipe V, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.2.3. Air

Air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yang tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, garam atau bahan-bahan organis lainnya yang dapat merusak beton atau tulangnya. (SNI 2847-2019).

Air merupakan bahan yang diperlukan untuk proses reaksi kimia dengan semen untuk pembentukan pada semen. Air juga digunakan untuk pelumas antara beton menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata.

Air pada campuran beton akan berpengaruh pada:

- a. Sifat *workability* adukan beton.
- b. Besar kecilnya nilai susut beton.
- c. Kelangsungan reaksi dengan semen portland sehingga menghasilkan kekuatan dalam selang beberapa waktu.
- d. Perawatan keras adukan beton guna menjamin pengerasan yang baik.

2.2.4. Tulangan

Besi tulangan atau besi beton (*reinforcing bar*) adalah batang baja yang berbentuk menyerupai jala baja yang digunakan sebagai alat penekan pada beton bertulang dan struktur batu bertulang untuk memperkuat dan membantu beton di bawah tekanan. Besi tulangan secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik struktur.

Menurut SNI 2052:2014, baja berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku billet dengan cara canai panas (*hot rolling*)

Tabel 2. 4 Ukuran Baja Tulangan Beton Polos

No	Penamaan	Diameter nominal (d)	Luas penampang nominal (A)	Berat nominal per meter
		mm	cm ²	kg/m
1	P.6	6	0,2827	0,222
2	P.8	8	0,5027	0,395
3	P.10	10	0,7854	0,617
4	P.12	12	1,131	0,888
5	P.14	14	1,539	1,21
6	P.16	16	2,011	1,58
7	P.19	19	2,835	2,23
8	P.22	22	3,801	2,98
9	P.25	25	4,909	3,85
10	P.28	28	6,158	4,83
11	P.32	32	8,042	6,31
12	P.36	36	10,17	7,99
13	P.40	40	12,56	9,86
14	P.50	50	19,64	15,4

(Sumber : SNI 2052:2014)

2.2.5 Besi Hollow

Besi *hollow* adalah salah satu jenis besi beton yang digunakan untuk konstruksi bangunan. Disebut besi *hollow* karena sesuai dengan namanya, besi ini berbentuk batangan berongga. Dengan penampang berbentuk segi empat, besi *hollow* juga disebut pipa kotak.

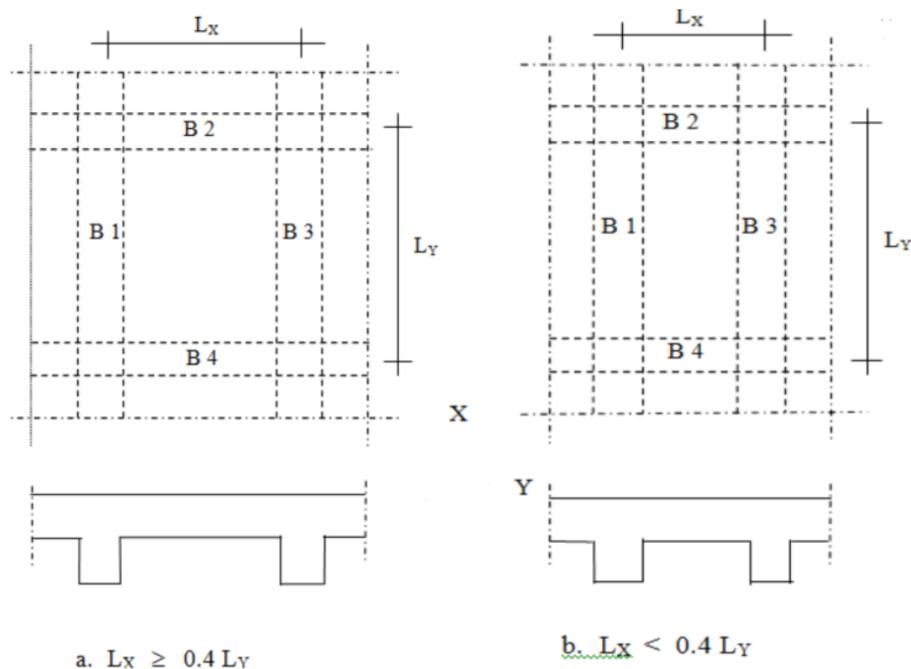
Menurut penelitian Penggunaan Baja Ringan/*Cold-Formed Type Hollow* Sebagai Tulangan Pada Balok Beton Bertulang Dalam Memikul Beban Lentur oleh Budi Hastono (2013). didapatkan balok yang menggunakan profil *hollow* baja ringan sebagai pengganti tulangan baja memiliki kuat lentur lebih besar 20,3% dibandingkan menggunakan baja tulangan polos diameter 12 mm dan kuat lentur lebih besar 28,5% dibandingkan penggunaan tulangan baja ulir diameter 12 mm pada balok beton bertulang. Hal ini terjadi karena profil baja ringan 4x2 ternyata memiliki kuat tarik lebih besar daripada baja ulir diameter 12 mm.

1.3 Pelat Beton

Pelat merupakan elemen horizontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur. Di dalam konstruksi beton bertulang, pelat digunakan untuk mendapatkan permukaan datar. Sebuah pelat beton bertulang merupakan sebuah bidang datar yang lebar, yang mempunyai arah horizontal dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar atau mendekati sejajar. Pelat biasanya ditumpu oleh gelagar atau balok beton bertulang (biasanya pelat dicor menjadi satu kesatuan dengan gelagar tersebut), oleh dinding pasangan batu bata atau dinding beton bertulang, oleh batang-batang struktur baja, secara langsung oleh kolom-kolom, atau tertumpu secara menerus oleh tanah.

2.3.1. Jenis Pelat Beton

Berikut ini merupakan dua jenis pelat :



Gambar 2. 1 Jenis Pelat Beton

a. Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat yang didukung pada empat tepinya, sehingga lenturan yang timbul dua arah. Rasio bentang pelat dua arah dapat ditentukan dengan rumus:

$$1 < \frac{l_y}{l_x} < 2$$

dengan :

L_y = bentang pelat terbesar

L_x = bentang pelat terkecil

b. Pelat Satu Arah

Pelat satu arah adalah pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sehingga lenturan hanya timbul dalam satu arah. Rasio bentang pelat satu arah dapat ditentukan dengan rumus:

$$\frac{l_y}{l_x} \geq 2$$

dengan :

L_y = bentang pelat terbesar

L_x = bentang pelat terkecil

2.3.2. Desain Plat Satu Arah

Peraturan SNI 2847:2013 memberikan beberapa batasan tentang desain pelat satu arah:

- Desain dilakukan dengan menggunakan asumsi lebar 1 meter.
- Menghitung momen terfaktor dengan analisis tampang:

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

Maka:

$$M_n = C_c \times z = T_s \times z$$

$$M_n = C_c \times z = a.b.0,85 f_c' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = T_s \times z = A_s.f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

- Menghitung momen terfaktor dengan rumus:

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

Maka tahanan momennya adalah:

$$R_n = \frac{Mu}{b.d^2} = \frac{\Phi.Mn}{b.d^2}$$

Nilai rasio penulangan adalah:

$$\rho = \frac{0,85 . f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0,85.f_c'}} \right)$$

dengan:

M_n = momen nominal (N-mm)

M_u = momen terfaktor (N-mm)

C_c = gaya tekan beton (N)

T_s = gaya tarik tulangan baja (N)

z = lengan momen (mm)

d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan (mm)

a = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)

R_n = tahanan momen

b = lebar asumsi 1 m

ρ = rasio penulangan

ϕ = faktor reduksi kekuatan

f_y = kekuatan leleh tulangan (MPa)

f_c = kekuatan tekan beton (MPa)

- d. Ketebalan minimum pelat satu rah yang menggunakan $f_y = 400$ MPa sesuai dengan Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2. 5 Tebal Minimum Pelat

Jenis Komponen Struktur	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Pelat Satu Arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Pelat Rusuk	L/16	L/18,5	L/21	L/8

(Sumber : SNI 2847-2019)

Untuk f_y selain 400 MPa, maka nilai dalam Tabel 2.5 harus dikalikan dengan $\{0,4 + (f_y / 700)\}$.

- e. Selimut beton untuk struktur pelat tidak boleh kurang dari 20 mm, untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah.
- f. Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang beton. namun tidak kurang dari 0,0014
- g. Jarak antar tulangan, s , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$S = \frac{1000}{A_s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

dengan: s = jarak antar tulangan (mm)

A_b = luas bruto (mm^2)

d = diameter tulangan (mm)

- h. Syarat spasi tulangan utama dan tulangan susut dan suhu adalah:
 - Tulangan utama, dipilih nilai terkecil
 - $s \leq 3h$ (h = tebal pelat)
 - $s \leq 450$ mm
 - Tulangan susut dan suhu, dipilih nilai terkecil
 - $s \leq 3h$ (h = tebal pelat)
 - $s \leq 450$ mm

2.3.3. Pelat Beton Berongga

Pelat beton bertulang berongga merupakan pelat beton konvensional dimana di antara tulangan pelat atas dan bawahnya terdapat sebuah rongga yang biasanya berbentuk silinder ataupun balok yang panjangnya menyesuaikan dengan panjang pelat itu sendiri. Umumnya pelat beton tersebut diproduksi dengan cara dicetak dalam bentuk lembaran, sehingga biasa disebut beton pracetak. Pelat beton bertulang berongga juga merupakan salah satu terobosan yang menjadi teknologi alternatif dalam upaya mengurangi berat sendiri struktur dan menghemat material

beton. Pada penelitian kali ini, dibuat beton bertulang berongga yang berukuran 84 x 44 x 9 cm, berikut merupakan contoh pelat beton bertulang berongga.

Pengaplikasian pelat beton berongga dalam dunia industri sudah dilakukan, contohnya ialah sebagai konstruksi pelat lantai yang sudah ada dalam bentuk beton precast dan diaplikasikan untuk pemasangan dinding kedap suara. Pengaplikasian pada konstruksi plat lantai dalam bentuk beton *pre-cast* di perusahaan PT. Beton Elemenindo Perkasa yang juga merupakan produk utama dari perusahaan tersebut difungsikan sebagai plat lantai.

Penggunaan beton berongga ini lebih ringan 3 x lipat dibandingkan dengan sistem pengecoran konvensional dan mempercepat proses konstruksi karena hanya menggunakan ring balok dinding untuk pemasangannya. Tulangan yang dipakai dalam pengerjaan plat lantai berongga diprusahaan ini, digunakan tulangan PC Wire berdiameter 5 mm dan 7 mm. Sedangkan untuk pengerjaan tulangan plat beton berongga yang dibuat dalam penelitian kali ini menggunakan tulangan berdiameter 8 mm. (Sumber : Website PT. Beton Elemenindo Perkasa)



Gambar 2. 2 Pelat Beton Berongga PT. Beton Elemenindo Perkasa

2.3.4. Kriteria perencanaan susut dan suhu

Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:

- a. Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 300 Mpa 0,0020
- b. Pelat dengan menggunakan batang tulangan ulir atau jarring kawat las (polos atau ulir) Mutu 400 Mpa 0,0018

- c. Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 400 Mpa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35% $0,0018 \times 400/f_y$ (SNI 2847-2002, pasal 9.12.2.1)
- d. Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari 5 kali tebal pelat, atau 450 mm. (SNI 2847-2002, pasal 9.12.2.2)

1.4 Workability

Segala aspek yang berhubungan dengan beton segar yang berhubungan dengan peranan, dari pada saat pemilihan material penyusun hingga sampai finishing disebut dengan *workability*.

Workability beton dapat didefinisikan sebagai cara mudah dimana beton dapat dipindahkan dari *mixer* hingga struktur yang akan dibebankan kepada campuran beton tersebut. *Workability* ini diartikan sebagai kemampuan beton untuk dicampur, dipindahkan, dan sebagainya dengan kehilangan sifat homogenitasnya (menyatunya campuran semua material yang menyusun beton tersebut) secara minimum.

Workability biasa dibagi menjadi tiga karakteristik independen yang umum digunakan, yaitu:

1. *Consistency*, *workability* tergantung dari komposisi penyusun beton segar tersebut, karakter fisik dari campuran semen dan agregat
2. *Mobility*, peralatan untuk pencampuran (*mixing*), perpindahan tempat (*transporting*) dan pemadatan (*compacting*); ukuran dan jarak dari perkerasan beton
3. *Compactibility*, besar serta bentuk dari struktur yang menjadi beban. Untuk kemudahan pekerjaan (*workability*) yang baik maka diperlukan porsi semen yang tinggi, jumlah material bermutu yang cukup, sedikitnya agregat bertipe coarse, dan jumlah air yang tinggi. Komposisi partikel yang seimbang sangat dibutuhkan untuk mendapatkan sifat plastis dalam campuran beton.

Workability biasanya tidak dipengaruhi oleh banyaknya campuran semen dalam suatu campuran beton namun *workability* ini sangat dipengaruhi oleh banyaknya air yang terkandung dalam campuran beton tersebut. Tingkat

workability akan menurun apabila penambahan semen dalam campuran beton tidak diiringi dengan penambahan air yang cukup.

1.5 Slump

Menurut SNI 1972 : 2008 *slump* beton merupakan penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat. Cara uji ini merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai *slump*. Dalam kondisi laboratorium, dengan material beton yang terkendali secara ketat, nilai *slump* umumnya meningkat sebanding dengan nilai kadar air campuran beton, dengan demikian berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Tetapi dalam pelaksanaan di lapangan harus hati-hati, karena banyak faktor yang berpengaruh terhadap perubahan adukan beton pada pencapaian nilai *slump* yang ditentukan, sehingga hasil *slump* yang diperoleh di lapangan tidak sesuai dengan kekuatan beton yang diharapkan.

Tabel 2. 6 Penetapan Nilai Slump

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (Mm)	
	Maks	Min
Dinding, plat pondasi dan pondasi	75	25
Balok dan Dinding Beton	100	25
Kolom	100	25
Perkerasan jalan dan lantai beton	75	25
Pembetonan messa	50	25

(Sumber : ACI committee 211)

2.6 Prosedur Pengujian di Laboratorium

2.6.1 Konsistensi Semen

Konsistensi normal semen adalah suatu kondisi pasta semen dalam keadaan standar basah yang airnya merata dari ujung satu hingga ujung lainnya. Konsistensi normal semen berguna untuk menentukan waktu mulainya peningkatan semen dengan air. Metode pengujian konsistensi normal sesuai dengan standar ASTM C

187 dengan menggunakan metode coba-coba menggunakan sejumlah pasta semen yang dibuat dari 500 gram semen dengan persentase air yang berbeda.

Konsistensi normal pasta semen didapatkan ketika jarum alat vicat berdiameter 10 mm dengan penurunan 10 ± 1 mm. Air pada konsistensi normal berkisar 22% dan 28%.

2.6.2 Waktu Ikat Semen

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Waktu pengikatan semen merupakan waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras.

Waktu ikat semen terbagi atas 2 yaitu waktu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Pengujian waktu ikat dapat dilakukan apabila nilai konsistensi normal semen tercapai. Syarat nilai konsistensi normal yaitu apabila jarum penetrasi mencapai angka 10 ± 1 mm sedangkan waktu ikat awal 25 ± 1 mm.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen cukup kau untuk menahan tekanan standar pengujian waktu ikat semen adalah SNI 15-2049-2004.

2.6.3 Berat Jenis Semen

Semen portland merupakan salah satu bahan hidrolis yang dibuat dari campuran bahan yang mengandung oksida utamanya: kalsium, silika, alumina, dan besi. Umumnya semen portland dibuat dalam suatu industri berteknologi modern dengan pengaturan komposisi yang akurat, sehingga terjamin mutunya. Namun demikian perbedaan pengaturan komposisi yang akurat, sehingga terjamin mutunya. Salah satu pengujian yang dapat mengindikasikan kepada hal tersebut adalah dengan pengujian berat jenisnya. Berat jenis semen portland komposit pada umumnya bernilai < 3 .

$$\text{Berat Jenis Semen} = \frac{\text{Berat Semen}}{(V^2 - V^1)d}$$

2.6.4 Pengujian Analisa Saringan

Pengujian yang dilakukan harus mengikuti langkah kerja dan acuan yang dipakai, sehingga hasil yang diinginkan dari pengujian tersebut dapat sesuai dengan nilai yang seharusnya. Adapun proses pada pengujian ini sebagai berikut:

a. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Analisa Saringan Agregat adalah pengujian untuk mendapatkan data berupa presentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan dan dari data tersebut dikonversikan pada grafik pembagian butir. Dari Pengujian yang dilakukan, akan didapat data berupa Modulus Halus Butir (MHB) ialah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekerasan butir-butir agregat. Semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar ukuran butir-butir agregatnya. Berikut merupakan rumus yang digunakan pada pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.

$$MHB = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100}$$

b. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerikil atau batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5 mm – 20 mm. Agregat kasar ialah agregat yang semua butirnya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (SII.0052, 1980) atau 4,75 mm (ASTM C33, 1995) atau 5 mm (BS.812, 1976). Umumnya agregat kasar memiliki MHB sekitar 5,0 – 8,0.

Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan sebagai berikut:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100}$$

2.6.5 Berat Jenis Penyerapan Agregat

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat adalah rasio atau perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan. Sedangkan penyerapan adalah kemampuan agregat

untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh permukaan kering (SSD = *Saturated Surface Dry*). Penyerapan air adalah persentase berat air yang dapat diserap terhadap berat agregat kering. Standar laboratorium untuk penyerapan akan diperoleh setelah merendam agregat yang kering kedalam air selama (24 ± 4) jam.

Pengujian berat jenis penyerapan agregat halus Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui berat jenis penyerapan agregat halus yang digunakan untuk menentukan nilai volume yang diisi oleh agregat. Pengujian ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

- 1) Berat jenis kering (*Bulk dry spesific graffity*)

$$\frac{B_2}{(B_3 + 500 - B_1)}$$

- 2) Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD spesific graffity*)

$$\frac{500}{(B_3 + 500 - B_1)}$$

Penyerapan

$$\frac{500 - B_2}{B_2} \times 100\%$$

Keterangan :

B_1 = Berat piknometer + Air + Benda Uji

B_2 = Berat uji kering oven

B_3 = Berat piknometer + Air

- b. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk mengetahui berat jenis penyerapan agregat kasar yang digunakan untuk menentukan nilai volume yang diisi oleh agregat. Pengujian ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

- 1) Berat jenis kering (*Bulk dry spesific graffity*)

$$\frac{B_k}{(W_2 + B_j) - W_1}$$

- 2) Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD spesific graffity*)

$$\frac{B_k}{(W_2 + B_j) - W_1} - W_1$$

3) Penyerapan

$$\frac{bj-bk}{bk} \times 100\%$$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven

Bj = Berat benda uji dalam keadaan SSD

W_1 = Berat piknometer + Air + Benda Uji

W_2 = Berat piknometer + Air

2.6.6 Kadar Air Agregat Halus dan Kasar

Kadar air agregat adalah perbandingan berat air yang terkandung didalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Kadar air tiap agregat bergantung pada tempat agregat tersebut berada.

Kadar air agregat dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu:

Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair

Kadar air kering udara, yaitu punya kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi mengandung sedikit air dalam porinya dan masih menyerap air

Jenuh kering permukaan, yaitu dimana tidak ada air dipermukaan agregat, tetapi masih dapat menyerap air. Dalam kondisi ini air dalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton

Kondisi basah, yaitu dimana butir-butir agregat banyak mengandung air sehingga akan menyebabkan penambahan pada kadar air campuran beton.

Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$$

Keterangan :

W_1 = Berat agregat

W_2 = Berat kering oven

2.6.7 Kadar Lumpur Agregat Halus dan Kasar

Kadar lumpur merupakan banyaknya lumpur yang terkandung didalam agregat. Lumpur yang terkandung didalam agregat dapat mempengaruhi mutu beton tersebut. Lumpur yang terkandung tidak boleh terlalu banyak, ada kecenderungan meningkatnya pemakaian air dalam campuran beton jika ada bahan-bahan itu tidak dapat menyatu dengan semen sehingga menghalangi penggabungan antara semen dan agregat serta mengurangi kekuatan beton.

Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_1 - W_3}{W_2} \times 100\%$$

Keterangan :

W_2 = Berat kering oven

W_3 = Berat agregat setelah dicuci

Pengujian Kekerasan Agregat Kasar

Beton yang dibuat harus menggunakan bahan agregat normal tanpa bahan tambahan. Dengan ketentuan demikian perlu dilakukan terlebih dahulu percobaan kekerasan agregat kasar untuk mengetahui agregat tersebut bisa atau tidaknya digunakan untuk membuat beton dengan berat isi 2200 – 2500 kg/m³ (beton normal). Untuk memeriksa agregat kasar, kerikil alam dan batu pecah. Dilakukan sama seperti pengujian pada pasir ditambah dengan pemeriksaan kekerasan dan ketahanan aus.

Pengujian kekerasan agregat ini dihitung menggunakan rumus : benda uji yang lolos lubang saringan/ayakan 2,36 mm.

$$\frac{A + B}{B} \times 100\%$$

Keterangan :

A = berat benda uji semula

B = berat agregat tertahan saringan 2,36 mm

2.6.8 Keausan Agregat

Pengujian keausan agregat ditujukan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan. Keausan adalah perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no 12 (1,18 mm) terhadap berat semula dalam persen. Pengujian dapat dilakukan dengan alat simulasi keausan biasa disebut dengan Mesin Abrasi Los

Angeles dengan bentuk dan ukuran tertentu terbuat dari pelat baja berputar dengan kecepatan tertentu.

Agregat yang akan diuji dimasukkan ke alat tersebut, nantinya akan didapat perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap berat bahan awal (semula). Pengujian ini dapat dilakukan dengan salah satu dari 7 cara yang ada dalam tabel dari SNI-2417-2008 tentang Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles berikut.

Tabel 2. 7 Daftar Gradasi dan Berat Benda Uji

Ukuran Saringan				Gradasi dan Berat Benda Uji (Gram)							
Lolos Saringan		Tertahan Saringan		A	B	C	D	E	F	G	
mm	inchi	Mm	inchi								
75	3,0	63	2 1/2	-	-	-	-	2500±50	-	-	
63	2 1/2	50	2,0	-	-	-	-	2500±50	-	-	
50	2,0	37,5	1 1/2	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-	
37,5	1 1/2	25	1	1250±25	-	-	-	-	5000±25	5000±25	
25	1	19	3/4	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25	
19	3/4	12,5	1/2	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-	
12,5	1/2	9,5	3/8	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-	
9,5	3/8	6,3	1/4	-	-	2500±10	-	-	-	-	
6,3	1/4	4,75	No. 4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-	
4,75	No.4	2,36	No. 8	-	-	-	2500±10	-	-	-	
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10	
Jumlah Bola				12	11	8	6	12	12	12	
Berat Bola (Gram)				5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25	

(Sumber : SNI-2417-2008 Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles)

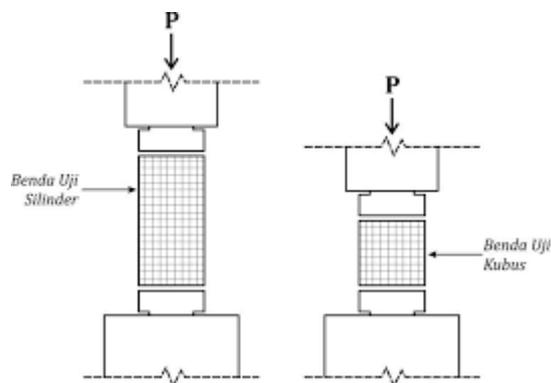
2.7 Kuat Tekan Beton

Menurut Nanang Gunawan (2013), Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya

tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin pembebanan. Kuat tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton.

Beton relatif kuat menahan gaya tekan. Keruntuhan beton sebagian disebabkan karena rusaknya ikatan pasta dengan agregat. Nilai kuat tekan beton didapat melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm tinggi 300 mm) sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ($f'c$) yang di capai pada umur 28 hari akibat beban tekan selama pengujian.

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum ($f'c$) dengan satuan MPa (Mega Paskal). Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara 10-65 MPa. Untuk struktur beton bertulang umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan 17-30 MPa, sedang untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar 30-45 MPa.



Gambar 2. 3 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

Berdasarkan SNI 03-1974-1990 terdapat ketentuan konversi konversi kuat tekan beton dari bentuk kubus ke bentuk silinder, maka digunakan angka perbandingan kuat tekan seperti yang telah disajikan pada Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2. 8 Angka Konversi Benda Uji Kuat Tekan Beton

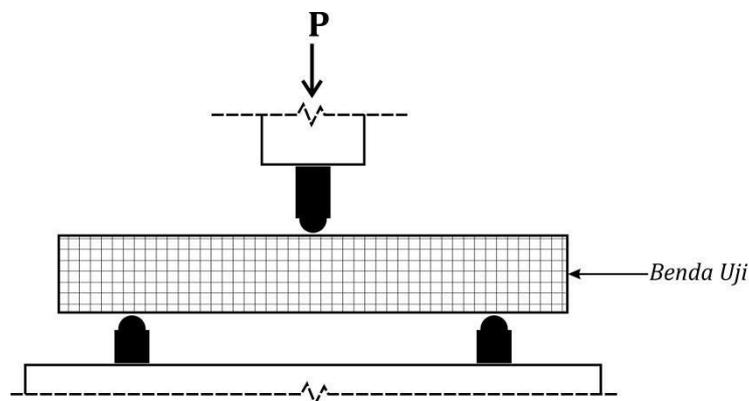
Bentuk Benda Uji	Perbandingan
Kubus: 15 x 15 x 15 cm	1,00
Silinder: 15 x 30 cm	0,83

2.8 Kuat Lentur Beton

2.8.1 Kuat Lentur Pembebanan Satu Titik

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 dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas.

Pengujian kuat lentur pelat beton bertulang sederhana (simple beam), menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, maka akan terjadi deformasi lentur didalam pelat tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, tegangan tekan terjadi pada bagian atas dan regangan tarik terjadi di bagian bawah dari penampa.



Gambar 2. 4 Ilustrasi Pengujian Kuat Lentur Beton Pembebanan Satu Titik

Kuat lentur dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$f_{lt} = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Keterangan :

f_{lt} = kuat lentur (Mpa)

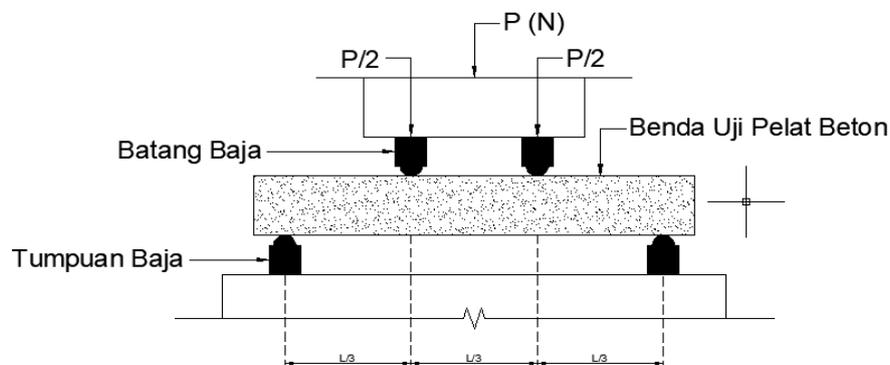
P = beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N)

L = panjang bentang di antara kedua blok tumpuan (mm)

b = lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

d = tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

2.8.2 Kuat Lentur Pembebanan Dua Titik



Gambar 2. 4 Ilustrasi Pengujian Kuat Lentur Beton Pembebanan Dua Titik

Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan merupakan kemampuan balok beton yang diletakkan 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 persatuan luas (SNI 4431 : 2011). Adapun Rumus-rumus yang digunakan pada perhitungan kuat lentur beton adalah sebagai berikut:

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

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

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

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2}$$

Keterangan :

σ_1 = Kuat Lentur Benda Uji (MPa)

P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (Ton, 3 angka belakang koma)

L = Jarak antara dua garis perletakan (mm)

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

a = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat (mm)