

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

2.1.1 Pengertian Beton

Beton pada umumnya digunakan dan dapat dijumpai pada banyak bangunan gedung, jembatan, bendungan, maupun konstruksi lainnya. Beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) membentuk massa padat. Beton yang banyak digunakan saat ini adalah beton normal. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200 – 2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah (SNI 03-2834 2000).

Menurut SNI 03-2834 2000, pengertian 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. Beton juga memiliki mutu untuk diaplikasikan dalam konstruksi bangunan, berikut merupakan klasifikasi mutu beton.

Tabel 2.1 Persyaratan Kekuatan Tekan (Batasan Nilai f_c')

Kegiatan	Jenis Beton	Nilai f_c' Minimum (Mpa)	Nilai f_c' Maksimum (MPa)
Umum	Berat normal dan berat ringan	17	Tidak ada batasan
Sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding structural khusus	Berat normal	21	Tidak ada batasan
	Berat ringan	21	35

(Sumber: Bina Marga Spesifikasi Umum, 2018)

2.1.2 Pengertian Beton Bertulang

Menurut Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan SNI 2847-2019, beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja secara bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Dalam mengantisipasi tidak adanya kuat tarik pada beton, digunakan tulangan besi pada beton yang mana merupakan material yang sudah umum digunakan untuk melengkapi struktur suatu beton agar memiliki kuat tekan dan kuat tarik yang baik, sehingga dapat memiliki kualitas yang sesuai dengan yang dibutuhkan bangunan sesuai yang direncanakan.

2.2 Material Pembentuk Beton

2.2.1 Semen Portland

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan terak semen dan terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis lalu digiling bersama-sama dengan bahan tambahan satu atau lebih senyawa kalsium sulfat berbentuk kristal dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Berdasarkan SK SNI 15-2049-2004, Semen Portland dibagi menjadi 5 jenis juga penggunaannya, yaitu:

1. Jenis I, yaitu untuk konstruksi pada umumnya, semen jenis ini tidak memerlukan persyaratan khusus seperti pada jenis-jenis lainnya.
2. Jenis II, yaitu untuk konstruksi yang pada umumnya jika disyaratkan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III, yaitu untuk konstruksi yang memerlukan persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV, yaitu untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V, yaitu untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap Sulfat.

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus untuk beton adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa pasir yang biasa dihasilkan oleh alat pemecah batu. 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 2.2 Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	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)

Menurut SK SNI S-0401989-F, agregat halus untuk bahan bangunan sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Butir-butirnya tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$
2. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Ketika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian hancur maksimum 12%, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18%.
3. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%.
4. Tidak mengandung zat organis terlalu banyak, yang dilakukan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan diatas endapan agregat halus tidak boleh gelap dari warna standar.
5. Modulus butir antara 1,50-3,80 dan warna variasi butiran sesuai standar gradasi.
6. Agregat halus berasal dari laut atau pantai boleh digunakan sesuai dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahanbahan yang diakui.

7. Khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat halus reaktif terhadap alkali.

2.2.3 Agregat Kasar

Agregat kasar (*Coarse Aggregate*) biasa juga disebut kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu, dengan butirannya berukuran antara 4,76 mm – 150 mm. Berikut merupakan gradasi agregat kasar yang dibutuhkan untuk campuran pada adukan beton.

Tabel 2.3 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	% Berat Butir Lolos 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)

Ketentuan agregat kasar yang dicampur sebagai adukan beton antara lain :

1. Agregat kasar memiliki fisik yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang butirannya pipih dapat dipakai jika jumlah butir-butir pipihnya tidak melampaui 20% berat agregat seluruhnya.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang relatif alkali.
4. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil alam dari batu pecah.
5. Agregat kasar harus lewat tes kekerasan dengan bejana penguji Rudeloff dengan beban uji 20 ton.
6. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum

5%.

7. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk *Coarse Aggregate* antara 6 – 7,5.

Jenis agregat kasar yang umum adalah:

- a. Batu pecah alami: Didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali.
- b. Kerikil alami: Kerikil didapat dari proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir.
- c. Agregat kasar buatan: Terutama berupa *slag* atau *shale* yang biasadigunakan untuk beton berbobot ringan.
- d. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat: Agregat kasar yang diklasifikasi disini misalnya baja pecah, barit, magnetit dan limonit.

2.2.4 Air

Air merupakan salah satu bahan yang paling penting dalam pembuatan beton karena dapat menentukan mutu dalam campuran. Air untuk pembuatan beton harus memenuhi minimal beberapa syarat seperti dapat dikonsumsi sebagai air minum, tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak mutu beton ataupun tulangnya. Air yang diperlukan hanya sekitar 25-30% dari berat semen. (SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung)

Menurut SNI S-04-1989-F, Air sebagai bahan campur beton untuk bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut.

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat.
- c. merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO₃) lebih dari 1 gram/liter.
- e. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersebut tidak boleh lebih dari 2 gram/liter

2.2.5 Tulangan

Baja tulangan beton yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau ulir dan digunakan untuk penulangan beton. Menurut (Perancangan struktur beton bertulang berdasarkan SNI 03-2847-2013, halaman 25) pada aplikasi di lapangan, disarankan untuk menggunakan tulangan baja sirip

untuk digunakan sebagai tulangan utama karena memiliki bentuk penampang bersirip yang mampu meningkatkan daya ikat dengan beton serta mengurangi lebar retak beton yang akan terjadi pada daerah tarik. Ukuran diameter tulangan baja tersedia dilapangan mulai dari diameter 6mm, 8, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 29, 32 hingga 50 mm. Mutu baja tulangan ditentukan berdasarkan kuat lelehnya (f_y). Pada penelitian yang dilakukan, digunakan tulangan polos berdiameter 8 mm untuk benda uji berupa struktur pelat beton bertulang yang dibuat. Tabel 2.4 memberikan beberapa nilai mutu baja tulangan yang dapat digunakan. (SNI 2847-2013 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung)

Tabel 2.4 Ukuran, Luas, dan Berat Nominal Baja Tulangan Polos

No	Penamaan	Diameter nominal (d) (mm)	Luas Penampang Nominal (A) (mm^2)	Berat Nominal Permeter (kg/m)
1	P 6	6	28	0,222
2	P 8	8	50	0,395
3	P 10	10	79	0,617
4	P 12	12	113	0,888
5	P 14	14	154	1,208
6	P 16	16	201	1,578
7	P 19	19	284	2,226
8	P 22	22	380	2,984
9	P 25	25	491	3,853
10	P 28	28	616	4,834
11	P 32	32	804	6,313
12	P 36	36	1018	7,990
13	P 40	40	1257	9,865
14	P 50	50	1964	15,413

(Sumber : SNI 2052-2017, *Baja Tulangan Beton*)

Berikut merupakan rumus perhitungan Luas Penampang dan Berat Nominal baja tulangan beton :

a. Luas Penampang (A)

$$A = \frac{1}{4}\pi \times d^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

b. Berat Nominal Per Meter

$$\text{Berat Nominal} = \frac{\frac{1}{4}\pi \times \frac{1}{4}\pi \times d^2}{100} \text{ (kg/m)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

A = Luas Penampang Nominal (mm^2)

d = Diameter Tulangan (mm)

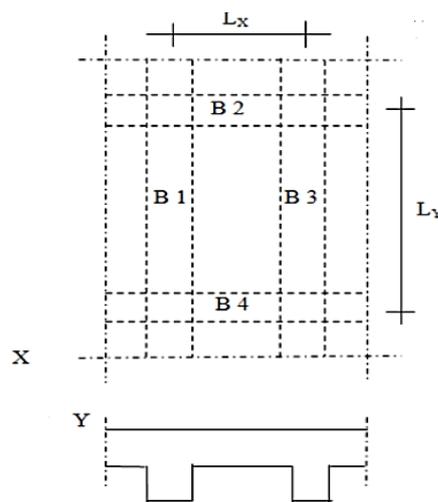
2.3 Pelat Beton

Pelat beton (*concrete slabs*) merupakan elemen struktural utama yang menerima beban hidup dan mati pada lantai yang akan disalurkan ke balok dan kolom hingga ke struktur bawah bangunan. Pada umumnya pelat ditumpu oleh balok beton bertulang. Struktur pada balok dan pelat biasanya tersusun menjadi satu kesatuan 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 :

a. Pelat Satu Arah



Gambar 2.1 Pelat 1 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:

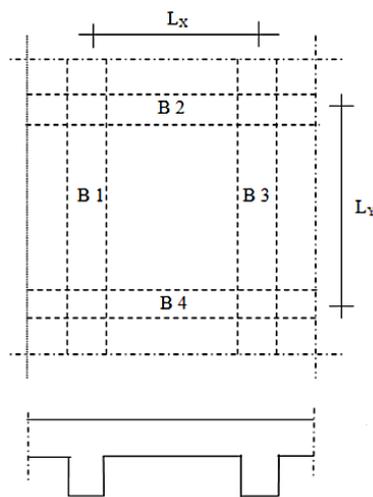
$$\frac{l_y}{l_x} \geq 2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

L_y = bentang pelat terbesar

L_x = bentang pelat terkecil

b. Pelat Dua Arah



Gambar 2.2 Pelat 2 Arah

Pelat dua arah adalah pelat yang didukung pada empat tepinya yang menimbulkan lenturan pada dua arah pelat tersebut. Rasio bentang pelat dua arah ditentukan dengan rumus:

$$1 < \frac{l_y}{l_x} < 2 \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan :

L_y = bentang pelat terbesar

L_x = bentang pelat terkecil

2.3.2 Desain Plat Satu Arah

Berdasarkan SNI 2847-2013 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung terdapat beberapa batasan tentang desain pelat satu arah :

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

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} \dots \dots \dots (2.5)$$

Maka:

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

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

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

- c. Menghitung momen terfaktor dengan rumus:

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} \dots \dots \dots (2.6)$$

Maka tahanan momennya adalah:

$$R_n = \frac{Mu}{b.d^2} = \frac{\phi.M_n}{b.d^2} \dots \dots \dots (2.7)$$

Nilai rasio penulangan adalah:

$$\rho = \frac{0,85.f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0,85.f_c'}} \right) \dots \dots \dots (2.8)$$

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 arah yang menggunakan $f_y = 400$ MPa sesuai dengan tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Tebal Minimum Pelat Beton

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

$$S = \frac{1000}{A_s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan:

s = jarak antar tulangan (mm)

Ab = luas bruto (mm²)

A_s = luas aktual (mm²)

- h. Syarat spasi tulangan utama dan tulangan susut dan suhu adalah :

- 1. Tulangan utama, dipilih nilai terkecil

$$s \leq 3h \text{ (} h = \text{tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

- 2. Tulangan susut dan suhu, dipilih nilai terkecil

$$s \leq 3h \text{ (} h = \text{tebal pelat)}$$

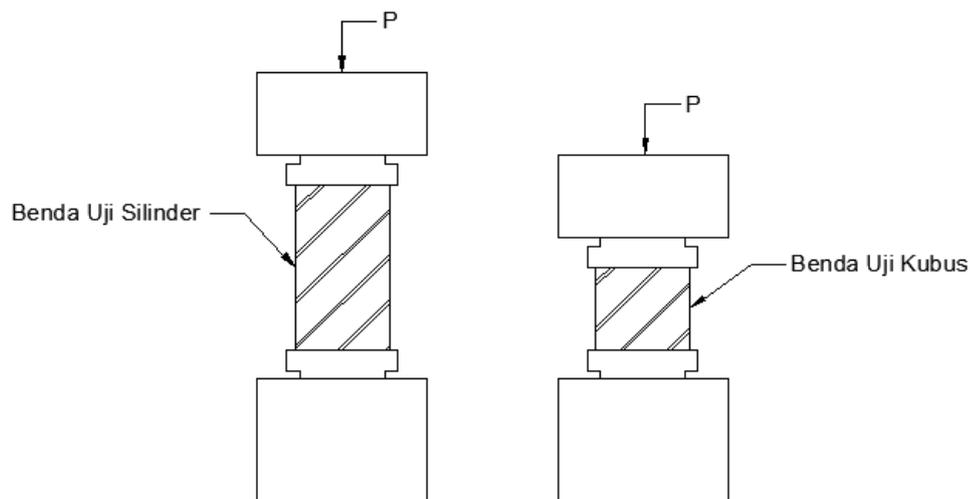
$$s \leq 450 \text{ mm}$$

2.4 Workability

Beton memiliki sifat yang mudah dalam pengerjaannya sebelum beton mengeras, biasanya disebut *workability*. *Workability* adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton melalui proses mencampur, mengaduk, menuang dan pemadatan serta beton tidak mengalami *bleeding* (pemisahan) untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan.

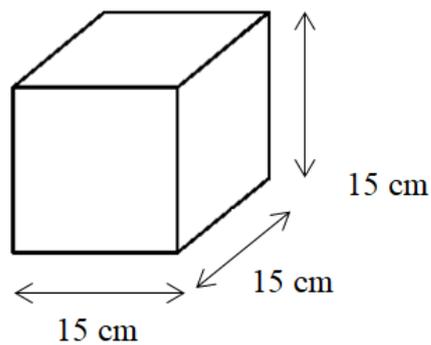
Workability dipengaruhi oleh: jumlah air, semen dan komposisi gradasi agregat halus dan kasar yang digunakan. Bentuk, tekstur permukaan butiran dan ukuran butir agregat $> 25\text{mm}$, juga sangat mempengaruhi *workability* beton segar. Banyak penggunaan air yang dipakai, semakin mudah beton segar dikerjakan, tetapi jumlah air yang banyak tanpa penambahan semen dapat menurunkan kuat tekan beton.

2.5 Kuat Tekan Beton



Gambar 2.3 Ilustrasi Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan pengertian dari besarnya beban per satuan luas pada suatu benda uji beton, yang menyebabkan benda uji tersebut hancur akibat dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh bahan penyusun beton yaitu, dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air. Pada penelitian kali ini, benda uji yang digunakan untuk kuat tekan berbentuk kubus dengan tinggi 15 cm, lebar 15 cm panjang 15 cm dapat dilihat pada gambar 2.4 :



Gambar 2.4 Benda Uji Kuat Tekan Beton

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

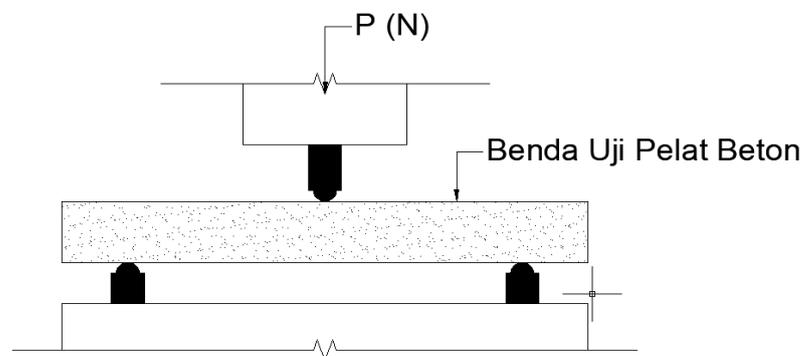
$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

P = beban tekan (N)

2.6 Kuat Lentur Beton

2.6.1 Kuat Lentur Beton dengan 1 Titik Pembebanan



Gambar 2.5 Ilustrasi Kuat Lentur dengan 1 Titik Pembebanan

Pada dasarnya struktur beton yang ada pada suatu bangunan harus mampu menahan gaya seperti tekan dan 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 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 penampang.

Kuat lentur dihitung dengan persamaan berikut :

$$f_{lt} = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

f_{lt} = kuat lentur (Mpa)

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

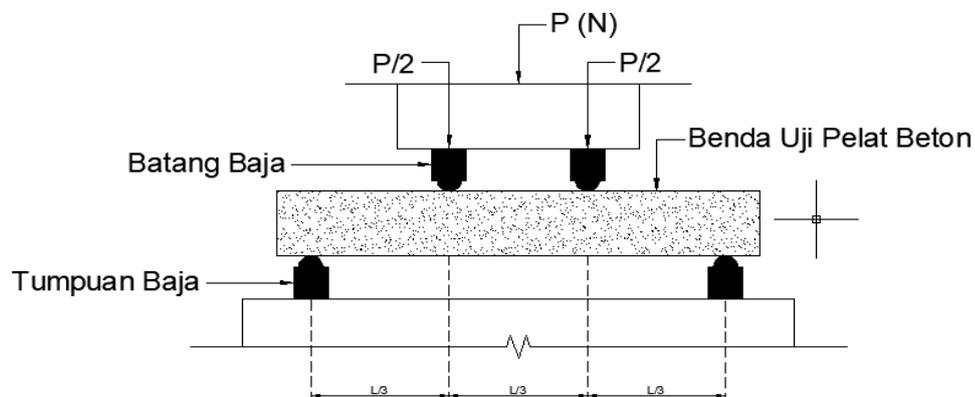
L = panjang bentang di antara kedua blok tumpuan (mm)

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

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

(Badan Standarisasi Nasional Indonesia, SNI 03-4154 1996)

2.6.2 Kuat Lentur Beton dengan 2 Titik Pembebanan



Gambar 2.6 Ilustrasi Kuat Lentur Pelat Beton dengan 2 Titik Pembebanan

Menurut SNI 4431-2011 mengenai 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. Adapun Rumus-rumus yang digunakan pada perhitungan kuat lentur beton adalah sebagai berikut:

- a. 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.

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

- 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.

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2} \dots\dots\dots(2.13)$$

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)

(SNI 4431-2011 : Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan)

2.7 Plat Beton

2.7.1 Pelat Beton Bertulang 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. Pembuatan rongga atau lubang pada pelat beton bertulang berongga memiliki batas standar minimal 4% dari luas area sisi berongga dari plat beton berdasarkan *ACI Committee 318*.

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 88 x 44 x 9 (cm), berikut merupakan contoh pelat beton bertulang berongga.

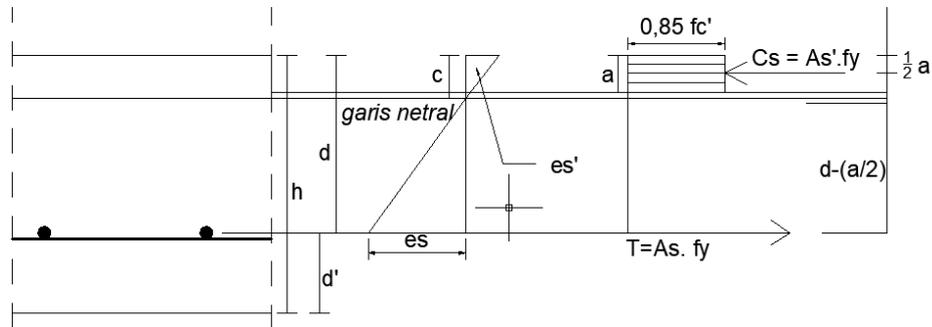
Pengaplikasian pelat beton berongga dalam dunia industri sudah dilakukan, contohnya ialah sebagai konstruksi pelat lantai yang sudah ada dalam bentuk beton precast dan diaplikasikan untuk pemasangan dinding kedap suara. Pengaplikasian pada konstruksi plat lantai dalam bentuk beton pre-cast di perusahaan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

Penggunaan beton berongga ini lebih ringan 3x 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 di perusahaan 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)

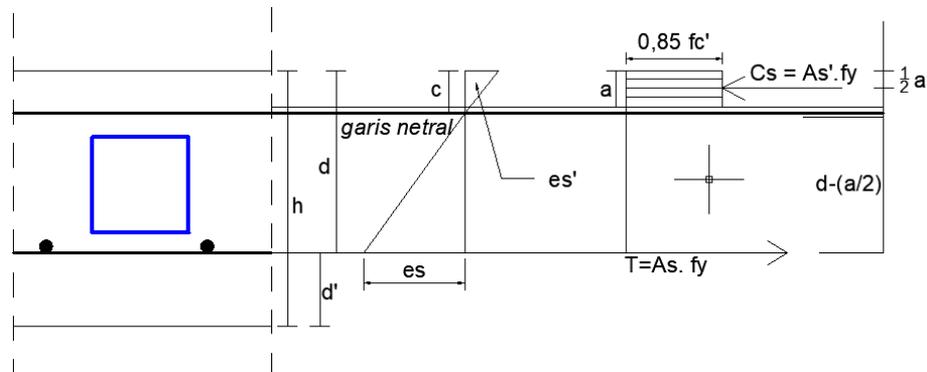


Gambar 2.7 Pelat Beton Berongga PT. Beton Elemenindo Perkasa

1.7.1 Diagram Tegangan dan Regangan Plat Beton Bertulang dan Plat Beton Bertulang Berongga



Gambar 2.8 Diagram Tegangan Regangan Plat Beton Bertulang



Gambar 2.9 Diagram Tegangan Regangan Plat Beton Bertulang Berongga

2.8 Modulus Elastisitas

Menurut Agus Setiawan (2006), Modulus Elastisitas, E_C , merupakan properti mekanik dari struktur beton yang sangat penting. Secara lebih rinci, modulus ini adalah suatu angka limit untuk regangan-regangan kecil yang terjadi pada bahan yang proporsional dengan penambahan tegangan dan secara eksperimental, modulus ini dapat ditentukan dari perhitungan atau pengukuran *slope* (kemiringan) kurva tegangan regangan (*Stress-strain*) yang dihasilkan dalam uji tekan suatu sampel atau spesimen. Standar pengujian modulus elastisitas mengacu pada ASTM C469-10 “*Standar Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression*”

Berdasarkan SNI-2847-2013 tentang persyaratan beton struktural pada gedung dijelaskan bahwa nilai modulus elastisitas teoritis untuk beton diizinkan diambil nilai sebesar :

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan :

E_c = Modulus elastisitas (Mpa)

f_c' = Kuat tekan beton rencana (Mpa)

(Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2013)

2.9 Slump dan Faktor Air Semen (FAS)

Pada setiap pengerjaan beton ada hal-hal yang harus diperhatikan salah satunya adalah kelecakan beton segar, kelecakan beton biasanya diperiksa dengan menggunakan uji *slump* untuk dapat memperoleh nilai slump yang kemudian akan dipakai sebagai tolak ukur kelecakan beton segar untuk kemudahannya dalam mengerjakan. Adapun faktor-faktor penyebab yang mempengaruhi kelecakan beton antara lain, sebagai berikut ini :

1. Jumlah air yang dipakai dalam adukan beton.
2. Jumlah semen dalam campuran adukan.
3. Gradasi agregat.
4. Besar butir maksimum agregat.

Slump pada beton sangat berhubungan dengan faktor air semen (fas) yang ada pada beton. Faktor air semen (fas) sendiri adalah perbandingan antara air dan juga semen yang digunakan pada campuran beton segar, semakin tinggi nilai faktor air semen (fas) pada sebuah beton biasanya akan semakin tinggi pula nilai *slump* yang didapat, sedangkan jika nilai *slump* tinggi maka kuat tekan akan semakin kecil.

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 mesa	50	25

(Sumber : ACI committee 211)

2.10 Umur Beton

Pertambahan umur dari suatu beton mengakibatkan kuat tekan beton yang juga akan semakin bertambah sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari. Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis semen portland, suhu keliling beton, faktor air-semen dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton.

2.11 Perawatan Beton

Perawatan beton dilakukan dengan tujuan untuk mencegah adanya keretakan pada beton. Beton perlu dirawat untuk menjaga perbedaan suhu beton dengan suhu di area sekitarnya yang terlalu besar. Perawatan beton juga diperlukan untuk stabilitas dan mencegah kehilangan air pada hari pertama. Perawatan beton bisa berlangsung hingga 2 minggu untuk melihat kondisi kelembapan pada beton.

Hal ini sangatlah penting untuk proses hidrasi semen diawal-awal pemakaiannya. Tingkat kelembapan beton yang baik ialah diatas 80% untuk mencegah terjadinya keretakan. Perawatan beton baik dilakukan selama 2 minggu lamanya.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton; kedekatan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi struktur (Mulyono, 2003).

2.12 Prosedur Pengujian di Laboratorium

2.12.1 Pengujian Analisa Saringan dan Berat Jenis Penyerapan Agregat

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.

$$MHB = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100} \dots\dots\dots(2.15)$$

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:

$$MHB = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100} \dots\dots\dots(2.16)$$

c. 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 pterhadap 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 specific gravity*)

$$= \frac{B_2}{(B_3 + 500 - B_1)} \dots \dots \dots (2.17)$$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD specific gravity*)

$$= \frac{500}{(B_3 + 500 - B_1)} \dots \dots \dots (2.18)$$

3. Penyerapan

$$= \frac{500 - B_2}{B_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.19)$$

Keterangan :

B_1 = Berat piknometer + Air + Benda Uji

B_2 = Berat uji kering oven

B_3 = Berat piknometer + Air

- d. 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 specific gravity*)

$$= \frac{B_k}{(W_2 + B_j - W_1)} \dots \dots \dots (2.20)$$

2. Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*Bulk SSD specific gravity*)

$$= \frac{B_k}{(W_2 + B_j - W_1)} - W_1 \dots \dots \dots (2.21)$$

3. Penyerapan

$$= \frac{b_j - b_k}{b_k} \times 100\% \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan :

B_k = Berat benda uji kering oven

B_j = Berat benda uji dalam keadaan SSD

W_1 = Berat piknometer + Air + Benda Uji

W_2 = Berat piknometer + Air

2.12.2 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:

- 1) Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair
- 2) Kadar air kering udara, yaitu punya kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi mengandung sedikit air dalam porinya dan masih menyerap air
- 3) 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
- 4) 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:

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.23)$$

Keterangan :

W_1 = Berat agregat

W_2 = Berat kering oven

2.12.3 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:

$$\text{Kadar lumpur agregat} = \frac{W_1 - W_3}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.24)$$

Keterangan :

W_2 = Berat kering oven

W_3 = Berat agregat setelah dicuci

2.12.4 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 mm	Tertahan Saringan mm	A	B	C	D	E
75	63	-	-	-	-	2500±50
63	50	-	-	-	-	2500±50
50	37,5	-	-	-	-	5000±50
37,5	25	1250±25	-	-	-	-
25	19	1250±25	-	-	-	-
19	12,5	1250±10	2500±10	-	-	-
12,5	9,5	1250±10	2500±10	-	-	-
9,5	6,3	-	-	2500±10	-	-
6,3	4,75	-	-	2500±10	2500±10	-
4,75	2,36	-	-	-	2500±10	-
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10
Jumlah Bola		12	11	8	6	12
Berat Bola (Gram)		5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25

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

Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Keausan agregat} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

a = Jumlah berat (gr)

b = Berat tertahan saringan (gr)

2.12.5 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. Berikut rumus perhitungan berat jenis semen.

$$\text{Berat Jenis Semen} = \frac{\text{Berat Semen}}{(v_2 - v_1)} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan :

V₁ = Pembacaan pertama pada skala botol sebelum semen dimasukkan

V₂ = Pembacaan kedua pada skala botol setelah semen dimasukkan

2.12.6 Konsistensi dan Waktu Ikat 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%.

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, dihitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan standar pengujian waktu ikat semen. (SNI15-2049-2004).