

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan salah satu komponen yang penting dalam suatu konstruksi bangunan gedung. Selain untuk bangunan gedung beton juga biasa digunakan dalam membangun suatu jalan raya, jembatan, bendungan dan lain sebagainya. Berdasarkan SNI 2847:2013 mengenai “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung” mengatakan bahwa beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*).

Penggunaan konstruksi beton diminati karena beton memiliki sifat-sifat yang menguntungkan, seperti tahan terhadap api, awet, kuat tekan yang tinggi dan dalam pelaksanaannya mudah untuk dibentuk sesuai dengan bentuk yang dikehendaki. Tetapi konstruksi beton juga mempunyai kelemahan-kelemahan. Salah satu kelemahan dari beton yang paling diketahui adalah lemah terhadap kuat tarik.

3.2 Beton *High Volume Fly Ash*

Beton HVFA adalah beton dengan campuran *fly ash* di dalamnya. Dikatakan *High Volume Fly Ash* karena kadar *fly ash* yang digunakan cukup besar yaitu sebesar 50% atau lebih dari berat semen. Tipe *fly ash* yang digunakan biasanya tipe

C maupun tipe F. Penggunaan *fly ash* dengan kadar tersebut dapat meningkatkan *workability*, kekuatan dan ketahanan dari beton (Malhotra dan Mehta, 2005). Dengan meningkatnya *workability*, maka dapat digunakan kadar air yang rendah, sehingga dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton (Mehta, 1986).

3.3 Beton Bertulang

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 3.13 mendefinisikan beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Beton bertulang terbuat dari gabungan antara beton dan tulangan baja. Oleh karena itu, beton bertulang memiliki sifat yang sama seperti bahan-bahan penyusunnya yaitu sangat kuat terhadap beban tekan dan beban tarik.

Di dalam struktur ini memiliki kekuatan tekan yang besar namun lemah terhadap tegangan tarik. Karena itulah baja tulangan ditanam di dalam beton untuk menahan tegangan tarik. Hal-hal yang mempengaruhi kualitas beton bertulang antara lain lekatan antara beton dan baja yang mencegah slip tulangan dan tingkat pemuaiannya antara baja dan beton yang dapat menghilangkan beda tegangan antara keduanya.

3.4 Baja Tulangan

Menurut SNI 2052:2014 baja tulangan adalah 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*). Baja tulangan beton polos (BjTP) adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip. Baja tulangan beton sirip (BjTS) adalah baja tulangan beton dengan bentuk khusus yang permukaannya memiliki sirip melintang dan memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton (SNI 2052:2014). Pembagian kelas baja tulangan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Kelas Baja Tulangan

Kelas Baja Tulangan	Nomor Batang Uji	Uji Tarik			Uji Lengkung		TS/YS
		Kuat Luluh Minimum	Kuat Tarik Minimum	Regangan Minimum	Sudut Lengkung	Diameter Pelengkung	
		N/mm ² (kgf/mm ²)	N/mm ² (kgf/mm ²)	N/mm ² (kgf/mm ²)			
BjTP 24	No. 2	235	380	20	180°	3 x d	-
	No. 3	24	39	24			
BjTP 30	No. 2	295	440	18	180°	d ≤ 16 = 3 x d	-
	No. 3	30	45	20		d > 16 = 4 x d	
BjTS 30	No. 2	295	440	18	180°	d ≤ 16 = 3 x d	-
	No. 3	30	45	20		d > 16 = 4 x d	
BjTS 35	No. 2	345	490	18	180°	d ≤ 16 = 3 x d	-
	No. 3	35	50	20		16 < d ≤ 40 = 4 x d d ≥ 40 = 5 x d	
BjTS 40	No. 2	390	560	16	180°	5 x d	Min 1,2
	No. 3	40	57	18			
BjTS 50	No. 2	490	620	12	90°	d ≤ 25 = 5 x d	Min 1,2
	No. 3	50	63	14		d > 25 = 6 x d	

3.5 **Bahan Tambah**

3.5.1 *Superplasticizer*

Kegunaan dari bahan tambah ini adalah untuk mereduksi air, sehingga akan dapat menghasilkan adukan dengan nilai faktor air semen yang lebih rendah.

Pada penelitian kali ini akan digunakan *superplasticizer* dari produk sika dengan nama dagang *Sika Viscocrete 1003*. Menurut P.T. Sika Indonesia (2013), *Sika Viscocrete 1003* merupakan *superplasticizer* generasi ketiga untuk beton dan mortar. Penggunaan *Sika Viscocrete 1003* untuk meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Selain bisa mereduksi air *superplasticizer* ini juga memiliki *flowability* yang cukup baik.

Adapun beberapa keistimewaan dari penggunaan *Sika Viscocrete 1003* ini, antara lain:

1. Memiliki *flowability* yang sangat baik.
2. Sebagai bahan kimia yang dapat mereduksi penggunaan air pada beton yang akan membuat beton lebih padat, sehingga akan mempengaruhi kuat tekan yang diperoleh.
3. Memiliki sifat memadat sendiri (*self compacting*) yang baik.
4. Dapat mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi pada beton.
5. Dapat menghasilkan nilai *slump* yang optimal pada beton segar, sehingga dapat dihasilkan kinerja pengecoran beton yang baik.

3.6 Fly Ash

Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah padat hasil pembakaran batu bara yang tergolong dalam limbah B3, karena mengandung oksida logam yang akan mengalami reaksi secara alami yang akhirnya akan mencemari lingkungan. Menurut ASTM C618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. Adapun kandungan yang terdapat dalam *fly ash*, dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Kandungan Senyawa Kimia dalam *Fly Ash*

Senyawa Kimia	Tipe C	Tipe F
Oksida Silika (SiO ₂) + Oksida Alumina (Al ₂ O ₃) + Oksida Besi (Fe ₂ O ₃), minimum %	50,0	70,0
Trioksida Sulfur (SO ₃), maksimum %	5,0	5,0
Kadar Air, maksimum %	3,0	3,0
Kehilangan Panas, maksimum %	6,0	6,0

Sumber: ASTM C.618, 199

Pada penelitian ini *fly ash* yang akan digunakan adalah tipe F.

Karakteristik *fly ash* pada tipe C dan F dapat dilihat pada Tabel 3.4.

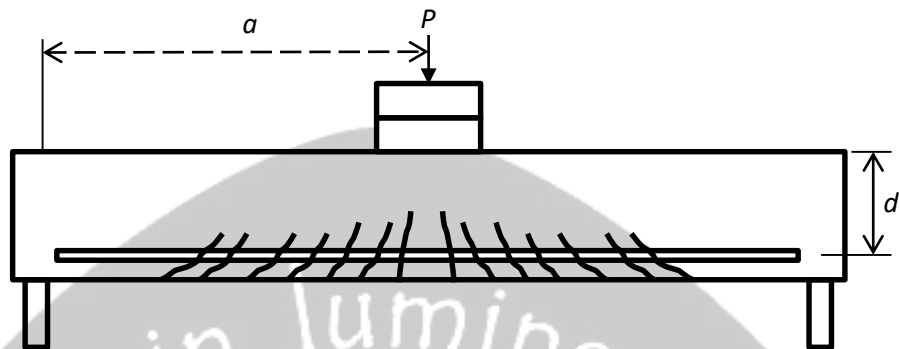
Tabel 3.3 Karakteristik *Fly Ash* untuk Tipe C dan F

Tipe C	Tipe F
Dihasilkan dari pembakaran <i>lignit</i> muda dan batubara sub- <i>bituminous</i>	Dihasilkan dari pembakaran lebih keras, lebih tua dan <i>antrasit</i> batubara <i>bituminous</i> .
Konsentrasi yang lebih tinggi dari alkali dan sulfat	Konsentrasi yang lebih rendah dari alkali dan sulfat
Berisi lebih dari 20% kapur	Mengandung kurang dari 20% kapur
Tidak membutuhkan aktivator	Mebutuhkan penyemenan agen seperti PC, kapur cepat, kapur
Tidak membutuhkan <i>entrainer</i> udara	Penambahan <i>entrainer</i> udara yang dibutuhkan
Tidak untuk digunakan dalam kondisi sulfat tinggi	Digunakan untuk kondisi paparan sulfat tinggi
Digunakan untuk konstruksi perumahan	Digunakan untuk konstruksi struktural
Terbatas untuk kadar abu terbang rendah campuran beton.	Berguna dalam kadar abu terbang tinggi campuran beton

Sumber: ASTM C.618, 1995

3.7 Keruntuhan Lentur Pada Balok

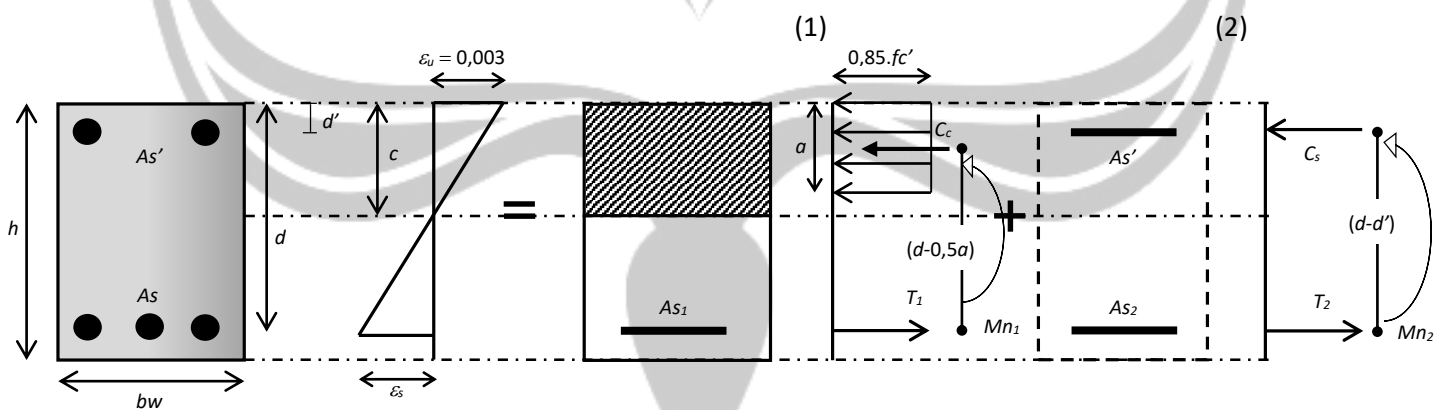
Keadaan runtuh lentur yang seperti ini menyebabkan beberapa retak halus dengan vertikal terjadi di daerah tengah bentang sekitar 50% dari yang diakibatkan oleh beban runtuh lentur (Nawy, 1990). Retakan ini terjadi karena beban bertambah besar sehingga tegangan tarik beton melampaui kekuatan tarik beton dan timbul retakan-retakan dibagian yang tertarik (Vis dan Gideon, 1993). Retakan yang terjadi karena keruntuhan lentur ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Retak pada Keruntuhan Lentur Balok (Sumber : Nawy, 1990)

3.8 Balok Beton Bertulangan Rangkap

Tulangan rangkap atau ganda pada balok terdiri dari tulangan tarik dan tulangan tekan. Perancangan balok dengan tulangan rangkap dilakukan apabila momen yang bekerja melebihi momen yang dapat dipikul oleh balok dengan tulangan tunggal. Penampang balok bertulangan rangkap dapat dianalisis dengan anggapan tampang balok dibagi menjadi dua, seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok Tulangan Rangkap

Terdapat 2 kondisi dalam menganalisis balok tulangan rangkap, yaitu :

1. Tulangan tekan sudah luluh

Bila tulangan tekan sudah luluh, maka $f_s' = f_y$

Gambar 3.2 bagian (1) :

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y = C_c \quad (3-1)$$

$$M_{n1} = T_1 (d - 0,5.a) \quad (3-2)$$

Gambar 3.2 bagian (2) :

$$C_s = A_{s'} \cdot f_y \quad (3-3)$$

$$M_{n2} = C_s (d - d') \quad (3-4)$$

Sehingga momen nominal dan momen *ultimate* balok tulangan rangkap adalah :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (3-5)$$

$$M_u = \phi \cdot M_n = 0,8 \cdot M_n \quad (3-6)$$

Tulangan tekan ($A_{s'}$) dianggap leleh bila $\varepsilon_{s'} > \varepsilon_y$, dengan nilai ε_y dan $\varepsilon_{s'}$ adalah :

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{f_y}{2 \cdot 10^5} \quad (3-7)$$

$$\varepsilon_{s'} = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (c - d')}{c} = \frac{0,003(c - d')}{c} \quad (3-8)$$

2. Tulangan tekan belum luluh

Kondisi tulangan tekan belum luluh bila $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$

$$f_s' \neq f_y \quad (3-9)$$

$$f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s' \quad (3-10)$$

Sehingga momen nominal dan momen *ultimate* balok tulangan rangkap adalah :

$$M_n = (A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s') \cdot (d - 0,5a) + \{A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d')\} \quad (3-11)$$

$$M_u = \phi \cdot M_n = 0,8 \cdot M_n \quad (3-12)$$

- Keterangan :
- M_n = Momen nominal (Nmm)
 - M_u = Momen *ultimate* (Nmm)
 - C_c = Gaya pada daerah tekan penampang (N)
 - C_s = Gaya pada tulangan tekan (N)
 - A_s = Luas tulangan tarik (mm^2)
 - f_y = Tegangan luluh baja pada daerah tarik balok (MPa)
 - f_s' = Tegangan luluh baja pada daerah tekan balok (MPa)
 - d = Jarak dari serat tarik terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)
 - d' = Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)
 - a = Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen (mm)
 - c = Jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan (mm)
 - ε_{cu} = Regangan tekan beton pada batas retak (regangan ultimit), yang menurut pasal 12.2.3 SNI 03-2847-2002 diasumsikan sebesar 0,003
 - E_s = Modulus elastis baja non-prategang dengan nilai sebesar 200.000 MPa (MPa)
 - β_1 = Faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen
 - untuk $f_c' \leq 30$ MPa (300 kg/cm^2) berlaku $\beta_1 = 0,85$
 - untuk $f_c' > 30$ MPa (300 kg/cm^2) berlaku $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot ((f_c' - 30)/7) \geq 0,65$
 - nilai β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65
 - ϕ = Faktor reduksi sebesar 0,8

3.9 Perancangan Keruntuhan Lentur

Pemeriksaan apakah suatu balok akan mengalami keruntuhan lentur terlebih dahulu daripada keruntuhan geser adalah dengan membandingkan antara V_u dan V_c dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$V_u < V_c \quad (3-13)$$

Di mana V_u dapat dihitung dari :

$$\phi V_n = V_u \quad (3-14)$$

(SNI 03 – 2847 – 2002 Pasal 13.1.1)

Dengan V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kuat geser nominal yang dihitung dari :

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-15)$$

(SNI 03 – 2847 – 2002 Pasal 13.1.1)

Gaya geser tahanan nominal V_c dapat dihitung dari :

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-16)$$

(SNI 03 – 2847 – 2002 Pasal 13.3.1.1)

Apabila tidak memenuhi syarat seperti pada rumus (3-13), maka diperlukannya desain tulangan geser.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (3-17)$$

Maka jarak antar sengkang dapat dicari dengan rumus :

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3-18)$$

Dengan jarak sengkang maksimum :

$$s_{maks} = \frac{d}{2} \quad (3-19)$$

- Keterangan :
- V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (kN)
 - V_n = Kuat geser nominal (kN)
 - V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (kN)
 - f'_c = Kuat tekan beton (MPa)
 - b_w = Lebar badan (mm)
 - A_v = Luas tulangan geser dalam daerah sejarak s (mm²)
 - f_y = Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan baja non prategang (MPa)
 - d = Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal (mm)
 - s = Jarak antar sengkang (mm)

3.10 Beban Pada Saat Retak Pertama

Modulus retak (f_r)

$$f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (3-20)$$

Momen retak (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I}{y} \quad (3-21)$$

- Keterangan :
- f_r = Modulus retak beton (MPa)
 - y = Jarak antara titik berat desak beton ke titik berat tarik beton (mm)
 - M_{cr} = Momen retak (Nmm)
 - I = Momen inersia penampang (mm⁴)

3.11 Beban Pada Saat Leleh

Dengan menganggap beban elastis, maka:

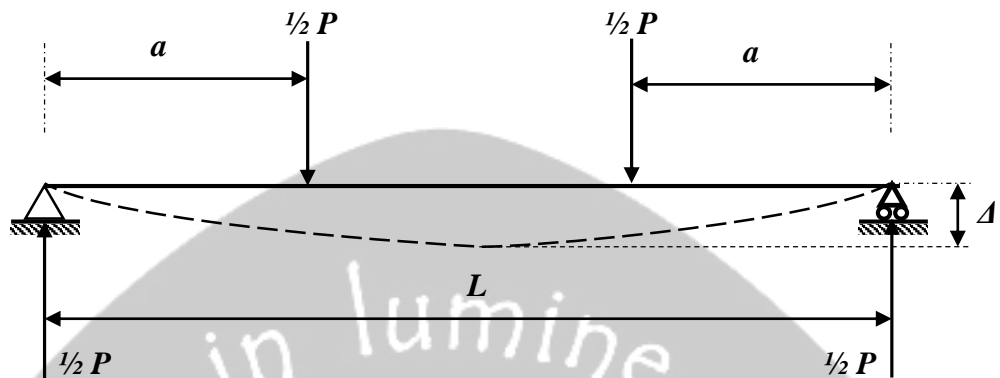
$$M_y = A_s \cdot f_y \cdot z \quad (3-22)$$

Keterangan: M_y = Momen saat luluh (Nmm)
 A_s = Luas tulangan tarik (mm^2)
 f_y = Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan baja non-prategang (MPa)
 z = Jarak antara gaya C_c ke C_s (mm)

3.12 Defleksi Atau Lendutan Pada Balok

Pembebanan yang diberikan terhadap balok pada saat pengujian menyebabkan terjadinya defleksi atau lendutan. Apabila beban bertambah maka pada balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan sehingga mengakibatkan muncul dan bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok (Nawy, 1990).

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan/deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja (SNI 03-2847-2002). Walaupun lentur dan geser telah dicek keamanannya, balok bisa tidak layak apabila terlalu fleksibel atau lentur. Maka defleksi/deformasi harus ditinjau (Spiegel dan Limbrunner, 1991). Defleksi atau lendutan pada balok akibat beban terpusat dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Lendutan Balok Akibat Beban Terpusat

Nilai defleksi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$EI\Delta = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{P L}{2} \right) \left(\frac{2 L}{3} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{L-2a}{2} \right) x \left[- \left(\frac{P L}{2} - \frac{P}{2} a \right) \right] \left[a + \frac{2}{3} \left(\frac{L-2a}{2} \right) \right] \quad (3-23)$$

$$EI\Delta = \frac{P.L^2}{16} - \frac{P.a^3}{12} \quad (3-24)$$

$$\Delta = \frac{P.L^3}{48EI} \left(\frac{3.a}{L} - \frac{4.a^3}{L^3} \right) \quad (3-25)$$

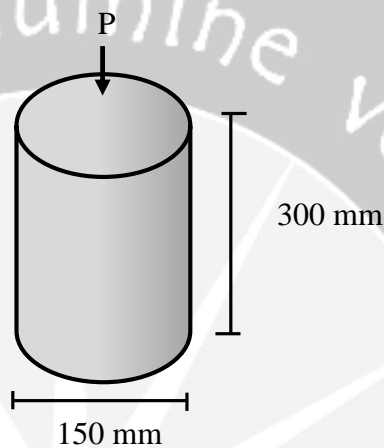
Keterangan : E = Modulus elastisitas beton (MPa)
 I = Momen inersia balok (mm^4)
 Δ = Defleksi (mm)
 P = Beban luar (N)
 L = Bentang balok (mm)
 a = Jarak beban dari tumpuan (mm)

3.13 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah suatu pengujian yang dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar kuat tekan yang diterima pada umur beton tertentu. Apabila hasil kuat tekan yang dihasilkan tinggi maka mutu beton yang didapat pun

semakin tinggi. Benda uji yang biasa digunakan untuk kuat tekan beton biasanya berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Rumus untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dapat dirumuskan dengan persamaan (3-26).



Gambar 3.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3-26)$$

Keterangan: $f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)
 P = Beban yang diberi (N)
 A = Luas penampang benda uji (mm^2)

3.14 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas adalah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu. Modulus elastisitas mengidentifikasi seberapa elastis suatu bahan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Biasanya

modulus sekan mempunyai nilai sebesar 25-50% dari kuat tekan $f'c$ yang diambil sebagai modulus elastisitas (Wang dan Salmon, 1986). Modulus elastisitas pada penelitian ini dapat dilihat pada persamaan (3-27).

$$E = \frac{fp}{\varepsilon p} \quad (3-27)$$

Keterangan: E = modulus elastisitas beton (MPa)
 fp = tegangan beton maksimum (MPa)
 εp = regangan beton

3.15 Pengujian Kuat Lentur Murni (Modulus of Rupture)

Menurut SNI 4431-2011, kuat lentur balok beton adalah 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, lalu dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya per satuan luas.

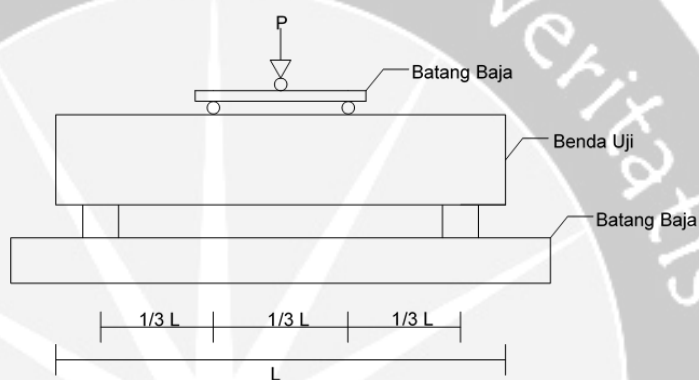
Berdasarkan ASTM C78 mengenai cara uji kuat lentur beton non-serat dengan dua titik pembebanan, kuat lentur beton dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- a. Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakkan bagian tengah).

$$R = \frac{P.L}{b.d^2} \quad (3-28)$$

- b. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak titik perletakan.

$$R = \frac{3.P.a}{b.d^2} \quad (3-29)$$



Gambar 3.5 Pengujian Kuat Lentur Murni (Modulus Of Rupture)

Keterangan:

R = Kuat lentur benda uji (MPa).

P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin benda uji (pembacaan dalam ton).

L = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm).

b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm).

d = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm).

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