

## PENGARUH KUAT TEKAN TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG

Yohanes Trian Dady

M. D. J. Sumajouw, R. S. Windah

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email : [yohanesdady@yahoo.co.id](mailto:yohanesdady@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

Balok beton bertulang sebagai elemen struktur cukup besar peranannya dalam memikul beban. Bila beban yang dipikul balok beton bertulang melampaui kapasitas lenturnya, maka balok akan mengalami keruntuhan. Digunakan balok berukuran (150×150×600)mm dengan desain tulangan tunggal 3Ø6 untuk pengujian kuat lentur, dan kubus berukuran (150×150×150)mm untuk pengujian kuat tekan. Kuat tekan yang direncanakan bervariasi mulai dari 20 MPa, 27.5 MPa, 35 MPa, dan 42.5 MPa. Dari hasil penelitian didapat kuat tekan rata-rata sebesar 19.84 MPa, 25.91 MPa, 36.02 MPa, dan 42.32 MPa. Kuat lentur rata-rata pada serat tekan (tegangan lentur beton) yang didapat dari setiap variasi kuat tekan rata-rata sebesar 12.66 MPa, 15.34 MPa, 19.18 MPa, dan 24.26 MPa. Untuk kuat lentur rata-rata pada serat tarik (tegangan lentur baja) adalah 348.76 MPa, 399.02 MPa, 464.69 MPa, dan 567.33 MPa. Hasil tersebut menunjukkan hubungan kuat tekan dan kuat lentur balok beton bertulang berkisar 2.84 sampai 3.73 yang didapat dari nilai  $f_r / \sqrt{f'_{cr}}$ . Nilai tersebut diambil dari tegangan lentur yang terjadi pada bagian serat tekan balok (tegangan lentur beton).

**Kata kunci :** Balok Beton Bertulang, Beban, Kuat Tekan, Kuat Lentur

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Beton bertulang merupakan kombinasi antara beton dengan baja tulangan. Beton mempunyai perilaku keruntuhan getas, yaitu keruntuhan yang terjadi secara tiba-tiba jika beban yang bekerja sudah melampaui kekuatan bahan, sementara baja mempunyai perilaku keruntuhan daktil, yaitu adanya peristiwa kelelahan sebelum bahan runtuh akibat pembebanan yang diberikan. Beton bertulang mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

Untuk menghasilkan beton yang berkualitas baik, perlu diperhatikan kuat tekan beton tersebut. Karena semakin besar kuat tekan beton, maka semakin baik juga kualitas beton tersebut. Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) menyatakan kekuatan tekan luas bidang permukaan yang disyaratkan (dalam MPa). Struktur beton bertulang bangunan atau gedung biasanya menggunakan kuat tekan beton yang berbeda-beda, disesuaikan dengan perencanaan struktur masing-masing. Semakin berat beban yang akan dipikul oleh suatu beton

bertulang, maka sebaiknya menggunakan kuat tekan beton yang semakin tinggi juga.

Balok beton bertulang sebagai elemen struktur cukup besar peranannya dalam memikul beban. Bila beban yang dipikul balok beton bertulang melampaui kapasitas lenturnya, maka balok tersebut akan mengalami keruntuhan. Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas. Dalam hal ini balok beton bertulang diuji dengan memvariasikan kuat tekan beton.

#### Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kuat lentur balok beton bertulang dengan memvariasikan kuat tekan beton serta hubungan antara kuat tekan beton dan kuat lentur beton bertulang.

#### Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat bagi perkembangan teknologi beton, antara lain untuk memberikan informasi tentang pengaruh kuat tekan beton terhadap kuat lentur balok beton bertulang.

## LANDASAN TEORI

### Umum

Beton adalah suatu material yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus) dan bahan tambahan bila diperlukan. Beton yang banyak dipakai pada saat ini yaitu beton normal. Menurut SNI 03-2834-2000 beton normal memiliki berat 2200-2500 kg/m<sup>3</sup> dengan menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

Beton merupakan bahan dari campuran antara *Portland cement*, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dengan tambahan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis (Tjokrodimulyo, 1992).

Secara proporsi komposisi unsur pembentuk beton adalah: Agregat Kasar + Agregat Halus (60%-80%), *Portland Cement* (7%-15%), Air (14% -21%) dan Udara (1%-8%).

Mutu beton ditentukan oleh banyak faktor antara lain (Tjokrodimulyo, 1992):

- Faktor Air Semen (FAS).
- Perbandingan bahan-bahannya.
- Mutu bahan-bahannya.
- Susunan butiran agregat yang dipakai.
- Ukuran maksimum agregat yang dipakai
- Bentuk butiran agregat.
- Kondisi pada saat mengerjakan.
- Kondisi pada saat pengerasan.

### Teori Kuat Tekan ( $f'_c$ )

Mutu (kualitas) didefinisikan sebagai ciri dan karakter menyeluruh dari beton yang mempengaruhi kemampuan beton tersebut untuk memenuhi kebutuhan tertentu. Hal ini perlu dilakukan identifikasikan ciri dan karakter beton yang berhubungan dengan mutu dan kemudian membuat suatu dasar tolok ukur dan cara pengendaliannya. Dalam hal ini salah satu cara untuk mengetahui mutu beton yaitu dengan mengetahui kuat tekan ( $f'_c$ ).

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari

air semen merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton.

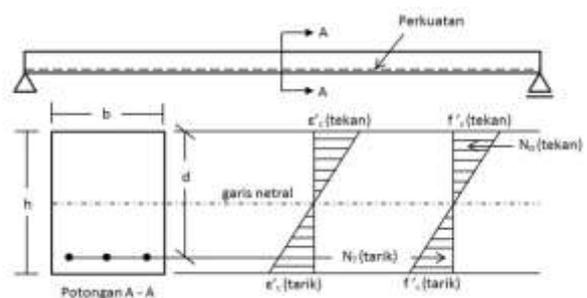
### Balok Persegi Bertulangan Tunggal

#### Dasar Teori Lentur

Beban-beban luar yang bekerja pada struktur akan menyebabkan lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur yang terjadi pada balok merupakan akibat adanya regangan yang timbul karena adanya beban dari luar. Apabila beban luar yang bekerja terus bertambah, maka balok akan mengalami deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya terus bertambah sampai batas kapasitas baloknya, maka balok akan runtuh. Taraf pembebanan seperti ini disebut dengan keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Oleh karena itu, pada saat perencanaan, balok harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak berlebihan pada saat beban bekerja dan mempunyai keamanan cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami runtuh.

#### Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Akibat Pembebanan

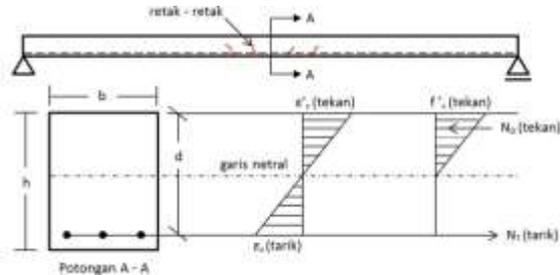
Secara garis besar, perilaku balok beton bertulang dalam menahan lentur dapat dijelaskan pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3. Pada saat balok memikul beban kecil, dimana retak belum terjadi, secara bersama-sama beton dan baja tulangan bekerja menahan gaya-gaya dimana gaya tekan ditahan oleh beton saja. Distribusi tegangan akan tampak seperti pada Gambar 1 dimana distribusi tegangan linier bernilai nol pada garis netral dan sebanding dengan regangan yang terjadi. Kasus demikian ditemui bila tegangan maksimum yang timbul pada serat tarik cukup rendah.



Gambar 1. Perilaku Lentur pada Beban Kecil

Jika beban yang bekerja terus ditingkatkan, retak akan terjadi pada tepi bawah penampang yang mengalami momen

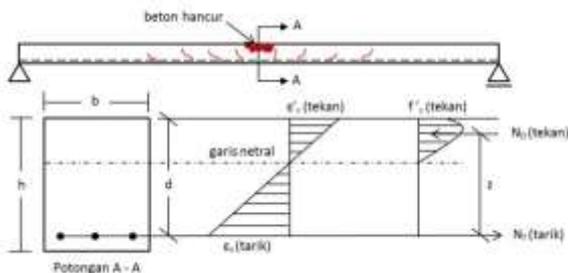
maksimum. Retak terjadi pada saat tegangan tarik pada tepi bawah mencapai kuat tarik beton. Pada saat terjadi retak, gaya tarik pada beton di lokasi retak akan ditransfer ke tulangan baja, sehingga efektifitas penampang beton dalam menahan momen menjadi berkurang (Gambar 2).



Gambar 2. Perilaku Lentur pada Beban Retak

Pada keadaan tersebut tegangan beton tekan masih dianggap bernilai sebanding dengan nilai regangannya. Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan serta tegangan tekan akan meningkat dan cenderung untuk tidak lagi sebanding antara keduanya, dimana tegangan beton tekan akan membentuk kurva nonlinier. Kurva tegangan di atas garis netral (daerah tekan) berbentuk sama dengan tegangan-regangan beton.

Pada Gambar 3 dapat dilihat distribusi tegangan dan regangan yang timbul pada keadaan pembebanan maksimum, dimana apabila kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai luluh, maka balok mengalami hancur. Komponen struktur telah retak dan tulangan baja meluluh, terjadi lendutan yang besar dan tidak akan dapat kembali ke panjang semula. Bila komponen lain dari sistem mengalami hal yang sama, mencapai kapasitas maksimumnya, struktur secara keseluruhan akan remuk dalam strata runtuh atau setengah runtuh meskipun belum hancur secara keseluruhan.

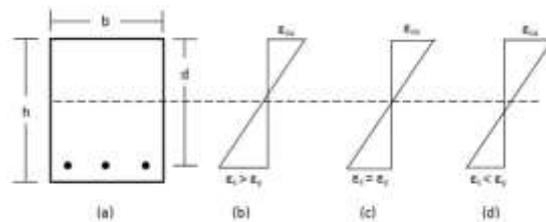


Gambar 3. Perilaku Lentur pada Beban Maksimum

### Keruntuhan Lentur

Adapun jenis-jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok beton bertulang adalah sebagai berikut :

1. Keruntuhan tarik (*Tensile Failure*), jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan kecil (jumlah tulangnya sedikit), sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum, baja tulangan sudah mencapai regangan lelehnya sedangkan beton belum hancur (beton belum mencapai regangan maksimumnya = 0.003). Balok dengan kondisi keruntuhan seperti ini bersifat *ductile*.
2. Keruntuhan seimbang (*balanced Failure*), jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan yang seimbang sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum, baja tulangan dan beton hancur secara bersamaan (tulangan sudah mencapai regangan lelehnya dan beton sudah mencapai regangan maksimum = 0.003). Balok dengan kondisi keruntuhan seperti ini bersifat getas.
3. Keruntuhan tekan (*Compression Failure*), jenis keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio tulangan besar (jumlah tulangnya banyak), sehingga pada saat beban yang bekerja maksimum, baja tulangan belum mencapai regangan lelehnya sedangkan beton sudah hancur (beton sudah mencapai regangan maksimumnya = 0.003). Balok dengan kondisi keruntuhan seperti ini bersifat getas.



Gambar 4. Jenis-jenis Keruntuhan Lentur

Keterangan Gambar 4 :

- (a) Penampang balok bertulangan tunggal
- (b) Distribusi regangan maksimum pada keruntuhan tarik
- (c) Distribusi regangan maksimum pada keruntuhan seimbang
- (d) Distribusi regangan maksimum pada keruntuhan tekan

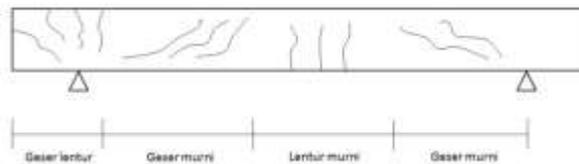
### Geser Pada Balok

Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan

keruntuhan karena lentur. Balok dengan keruntuhan geser umumnya tanpa peringatan terlebih dahulu. Perilaku keruntuhan geser bersifat getas (*brittle*), oleh karena itu perlu dirancang penampang yang cukup kuat untuk memikul gaya geser.

Tulangan geser diperlukan karena pada dasarnya ada tiga jenis retak pada struktur, yaitu :

1. Retak lentur murni (*flexural crack*), retak yang terjadi di daerah yang mempunyai momen lentur besar. Arah retak hampir tegak lurus sumbu balok.
2. Retak geser lentur (*flexural shear crack*), retak yang terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Jadi retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak yang sudah terjadi sebelumnya.
3. Retak geser murni (*shear crack*), retak yang terjadi pada daerah dimana gaya geser maksimum bekerja dan tegangan normal sangat kecil.



Gambar 5. Jenis-jenis Retak pada Balok

**Modulus Elastisitas**

Gradien dari bagian linear pada awal kurva tegangan-regangan merupakan modulus elastisitas, atau biasa disebut modulus Young. Modulus elastisitas adalah sebuah ukuran yang digunakan untuk merepresentasikan kekakuan suatu bahan. Makin besar nilai modulus elastisitas, maka makin kecil regangan elastis yang dapat dihasilkan dari pemberian tegangan. Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 10.5 nilai modulus elastisitas beton untuk beton normal adalah :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

Modulus elastisitas untuk baja tulangan non pratekan adalah :

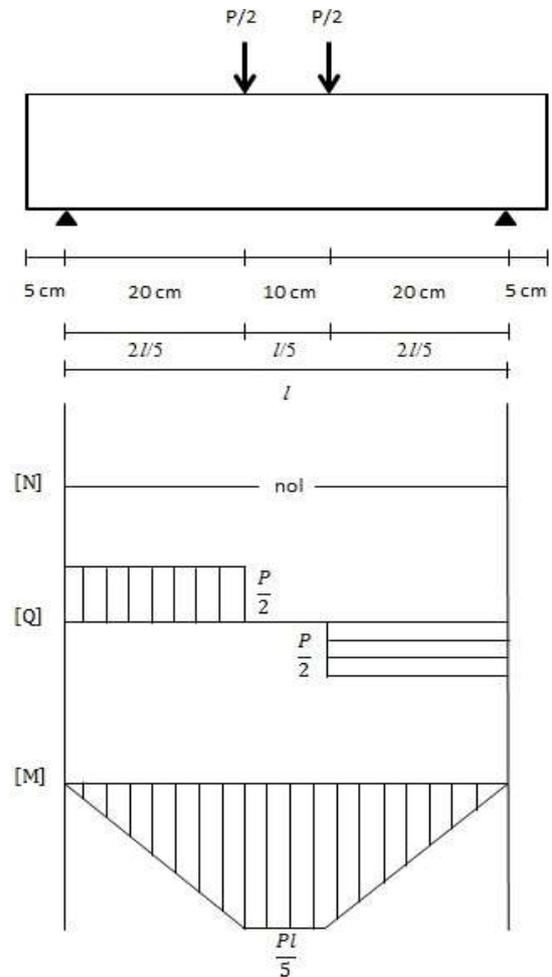
$$E_s = 200000 \text{ MPa} \quad (2)$$

Perbandingan modulus elastisitas tulangan baja dengan modulus elastisitas beton normal adalah :

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (3)$$

**Pengujian Kuat Lentur**

Pengujian kuat lentur menggunakan metode pembebanan titik ketiga. Berdasarkan pengujian di laboratorium dilakukan model pembebanan seperti gambar berikut:



Gambar 6. Perencanaan Pembebanan Pengujian Kuat Lentur Beserta Gambar Bidang Gaya-gaya Dalam Akibat Pembebanan

Peraturan SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai modulus keruntuhan lentur untuk beton normal (tanpa tulangan) yaitu :

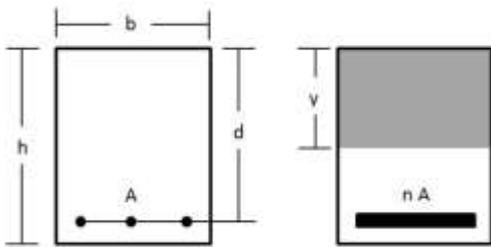
$$f_r = 0.7 \sqrt{f'_c} \quad (4)$$

Dengan menggunakan model pembebanan seperti pada Gambar 6 didapat perhitungan tegangan lentur maksimum untuk balok beton bertulang (Jack C. McCormac) sebagai berikut:

$$\sigma_{lrc} = \frac{M_{max} \times y}{I_{cr}} \quad (5)$$

$$\sigma_{lrs} = n \times \frac{M_{max} \times y}{I_{cr}} \quad (6)$$

Menghitung  $I_{cr}$  :



Nilai  $n$  didapat dari persamaan (3) Letak garis netral ( $y$ ) didapat dari persamaan berikut:

$$\frac{by^2}{2} = nA \cdot (d - y)$$

$$\frac{by^2}{2} + nAy - nAd = 0$$

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-nA \pm \sqrt{(nA)^2 + 4 \cdot \frac{b}{2} \cdot nAd}}{2 \cdot \frac{b}{2}}$$

$$y = \frac{-nA \pm \sqrt{(nA)^2 + 2b \cdot nAd}}{b} \quad (7)$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} by^3 + by \left(\frac{y}{2}\right)^2 + nA(d - y)^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} by^3 + nA(d - y)^2 \quad (8)$$

### METODOLOGI PENELITIAN

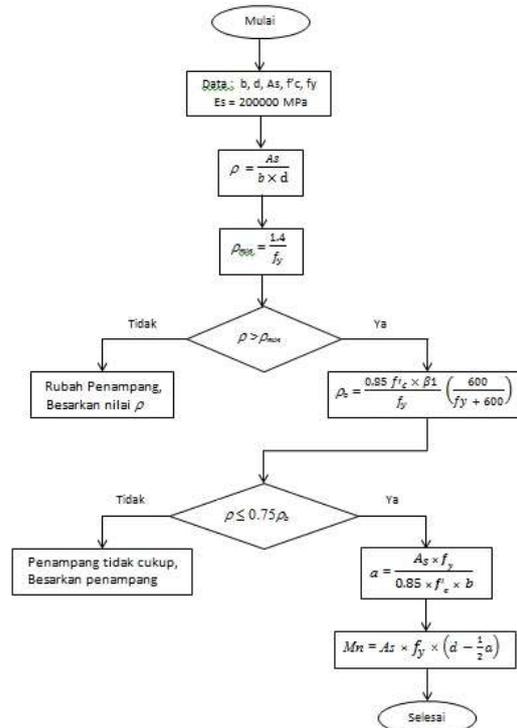
#### Umum

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan pekerjaan. Dimulai dari persiapan bahan, pemeriksaan bahan, perencanaan campuran dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dan pengujian benda uji. Semua pekerjaan dilakukan berpedoman pada peraturan/standar yang berlaku dengan penyesuaian terhadap kondisi dan fasilitas laboratorium yang ada.

#### Diagram Alir Penelitian

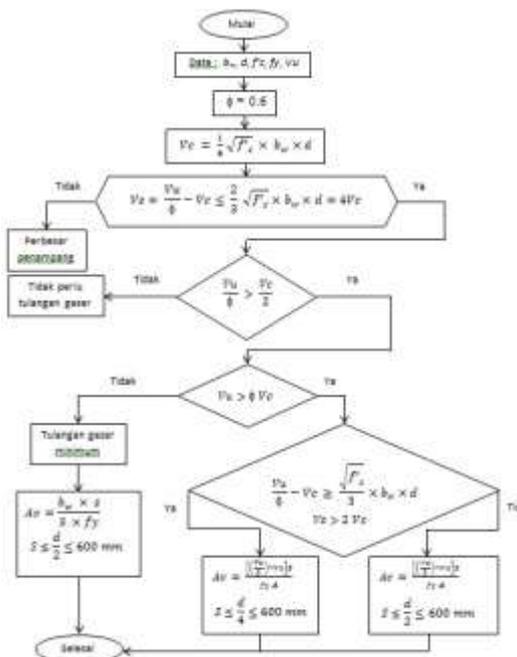
Adapun langkah-langkah penelitian tersebut divisualisasikan dalam diagram alir berikut :

Langkah-langkah perencanaan balok beton bertulang tunggal disajikan pada diagram alir di bawah ini :



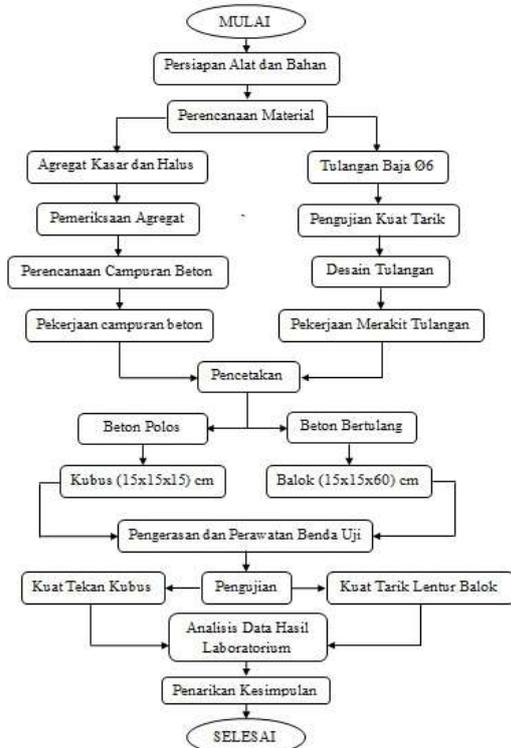
Gambar 7. Diagram Analisa Tulangan Tunggal

Langkah-langkah perencanaan balok terhadap geser disajikan pada diagram alir di bawah ini :



Gambar 8. Diagram Perencanaan Tulangan Geser Balok

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian di laboratorium disajikan pada diagram alir di bawah ini :



Gambar 9. Diagram Prosedur Pelaksanaan Penelitian di Laboratorium

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam melaksanakan penelitian ini didapat hasil dari hubungan kuat tekan terhadap kuat lentur balok beton bertulang tarik yang diberi pembebanan vertical. Dalam hal ini pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari. Dari hasil tersebut akan dibahas dan dibandingkan dengan hasil perhitungan analitis.

### Pengujian Eksperimental Laboratorium

#### Pemeriksaan Kuat Tarik Baja

Penggunaan baja untuk tulangan tarik dan sengkang hanya menggunakan satu ukuran saja, yaitu baja Ø6 mm. Untuk mengetahui berapa besar kekuatan tarik dari tulangan baja tersebut diperlukan pengujian tarik. Pengujian dilakukan menggunakan mesin merek Zwick/Roell sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Pemeriksaan Kuat Tarik Baja

Tul.Ø6	I	II	III	Fy rata-rata
fy [MPa]	397	397	400	398

#### Menentukan Nilai FAS

Menentukan nilai FAS ini sangat diperlukan untuk perencanaan kuat tekan beton. Nilai FAS ditentukan dari grafik FAS dan hasilnya diperlihatkan pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Nilai FAS

Kuat Tekan [MPa]	20	27.5	35	42.5
FAS	0.628	0.532	0.465	0.4

#### Pemeriksaan Nilai Slump

Sesuai dari kuat tekan beton yang direncanakan, didapat nilai slump seperti pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Pemeriksaan Nilai Slump

Kuat Tekan [MPa]	Nilai Slump [mm]
20	40
27.5	70
35	75
42.5	83

#### Pemeriksaan Kuat Tekan

Dalam setiap pengecoran satu variasi kuat tekan diambil empat contoh kubus untuk mengetahui kuat tekan yang dihasilkan oleh campuran tersebut. Nilai kuat tekan yang direncanakan bervariasi, yaitu 20 MPa, 27.5 MPa, 35 MPa, dan 42.5 MPa.

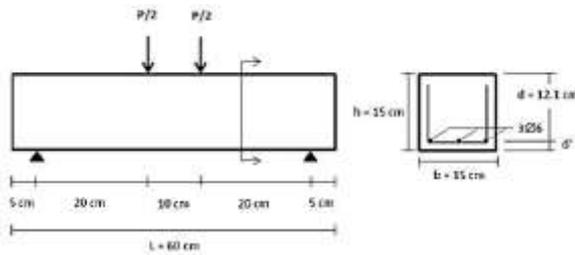
Tabel 4. Pemeriksaan Kuat Tekan

f <sub>c</sub> Rencana [MPa]	No. Benda Uji	Berat [kg]	Hasil Pengujian		f <sub>c</sub> Rata-rata [MPa]
			P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	
20	Kubus A1	7.61	410.4	18.24	19.8375
	Kubus A2	7.55	413.1	18.36	
	Kubus A3	7.61	475.5	21.13	
	Kubus A4	7.69	486.4	21.62	
27.5	Kubus B1	7.83	571.2	25.38	25.9075
	Kubus B2	7.71	574.5	25.53	
	Kubus B3	7.66	586.3	26.06	
	Kubus B4	7.84	599.8	26.66	
35	Kubus C1	7.75	782.8	34.79	36.015
	Kubus C2	7.67	812.3	36.10	
	Kubus C3	7.66	816.3	36.28	
	Kubus C4	7.62	830.1	36.89	
42.5	Kubus D1	7.99	882.3	39.21	42.315
	Kubus D2	7.70	962.6	42.78	
	Kubus D3	7.76	977.3	43.44	
	Kubus D4	7.84	986.1	43.83	

#### Pemeriksaan Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dari balok beton bertulang tunggal menggunakan mesin tes merek ELE LTD ENGLAND. Dari mesin tersebut diperoleh nilai P pada saat balok mengalami retak awal (Beban Retak) dan nilai P saat balok mencapai batas kekuatan (Beban Maksimum).

Berikut ini adalah salah satu contoh data yang akan dipakai dalam pemeriksaan laboratorium (Balok A1).



Diketahui:

- $L = 600 \text{ mm}$
- $h = 150 \text{ mm}$
- $b = 150 \text{ mm}$
- $d = 121 \text{ mm}$
- $= 0.52 \text{ N/mm}$
- $d' = 29 \text{ mm}$
- $P_{max} = 30.8 \text{ kN}$
- $\text{Øtul} = 6 \text{ mm}$
- $A\text{Ø6} = 28.27 \text{ mm}^2$
- $A_s = 84.82 \text{ mm}^2$
- $f'_c = 19.84 \text{ MPa}$
- $f_y = 398 \text{ Mpa}$
- $W_c = 2311 \text{ kg/m}^3$
- $E_s = 200000 \text{ Mpa}$
- $w = b \times h \times W_c$
- $= 51.99 \text{ kg/m}$

Penyelesaian:

$$M_{max} = \frac{wL^2}{12} + \frac{PL}{6} = 309.56 \text{ kgm} = 3095600 \text{ Nmm}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 20933.47 \text{ MPa} \quad (\text{pers 1})$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 9.554075476 \quad (\text{pers 3})$$

$$nA = n \times A_s = 810.41 \text{ mm}^2$$

$$y = \frac{-nA \pm \sqrt{(nA)^2 + 2b \cdot nAd}}{b} = 31.16 \text{ mm} \quad (\text{pers 7})$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3}by^3 + nA(d - y)^2 = 8053697.695 \text{ mm}^4 \quad (\text{pers 8})$$

Hasil uji kuat lentur di daerah tekan balok tidak dipengaruhi oleh tulangan baja, sehingga yang berperan menahan tegangan tekan hanyalah beton.

$$\sigma_{ltc} = \frac{M_{max} \times y}{I_{cr}} = 11.98 \text{ MPa} \quad (\text{pers 5})$$

Sedangkan pada daerah tarik beton sudah retak, sehingga yang berperan menahan tegangan tarik adalah tulangan baja.

$$\sigma_{lts} = n \times \frac{M_{max} \times y}{I_{cr}} = 329.93 \text{ MPa} \quad (\text{pers 6})$$

**Perhitungan Analitis**

Selain mendapatkan hasil pengujian di laboratorium diperlukan juga hasil perhitungan analitis untuk mendapatkan perbandingan dari kedua cara tersebut. Perhitungan analitis meliputi perhitungan Momen maksimum, beban P maksimum, tulangan geser dan kuat lentur maksimum. Nilai  $\phi$  diambil = 1 (Untuk keperluan laboratorium dalam perhitungan  $M_{max}$ ).

Dengan menggunakan langkah-langkah yang ada pada Gambar 7. didapat hasil untuk  $Mu = 385.96 \text{ kgm}$

Nilai momen maksimum terletak di tengah-tengah bentang, jadi gunakan persamaan  $Mu = M_{max}$  untuk menentukan nilai beban  $P$  maksimum.

$$M_{max} = \frac{wL^2}{12} + \frac{PL}{6} = 385.96 = 1.5599 + 0.1 P$$

$$P = \frac{384.4003}{0.1} = 3844.003 \text{ kg} = 38440.03 \text{ N}$$

**Perhitungan Tulangan Geser**

Untuk menahan gaya geser diperlukan tulangan geser (senggang). Dalam perhitungan sengkang digunakan nilai  $Vu = Pu$ . Nilai  $Pu$  diambil dari perencanaan perhitungan analitis tulangan tunggal.

$$Vu = 38440 \text{ N}$$

$$\phi = 0.6$$

$$Vn = \frac{Vu}{\phi} = 64066.67 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = 13473.14 \text{ N}$$

Kontrol :

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - Vc \leq \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = 50593.53 \leq 53892.56 \quad \dots(\text{ok})$$

Kontrol :  $\frac{Vu}{\phi} > \frac{Vc}{2}$   
 $64066.67 > 6736.57$   
 (diperlukan tulangan geser)

Kontrol :  $\frac{Vu}{\phi} - Vc \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \times b_w \times d$   
 $50593.53 \geq 26946.28 \dots(\text{ok})$

$Av = 2As$   
 $= 2 \times 28.27 \text{ mm}^2$   
 $= 56.55 \text{ mm}^2$

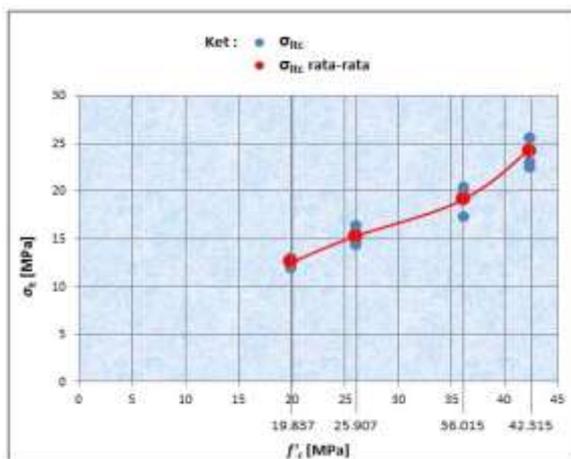
$Vs = \frac{Av \times fy \times d}{s}$

$s = \frac{Av \times fy \times d}{Vs}$   
 $= 53.83 \text{ mm}$

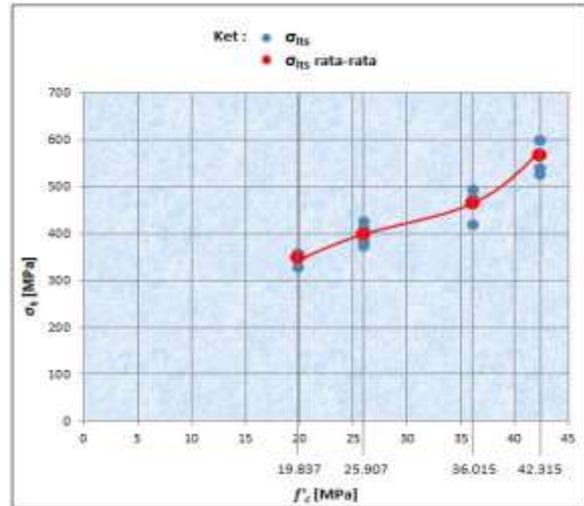
Kontrol :  $s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$   
 $53.83 \leq 60.5 \leq 600 \text{ mm}$

Diambil :  $s = 40 \text{ mm}$

Data kuat lentur untuk benda uji balok A3 dan C4 tidak digunakan karena balok dengan alasan tidak jelas mengalami perbedaan kekuatan beban maksimum yang cukup jauh dari beban rata-rata yang terjadi saat pengujian, sehingga dalam pembuatan grafik hubungan kuat lentur untuk kuat tekan 19.84 MPa dan 36.02 MPa hanya memakai rata-rata dari 3 benda uji saja.



Gambar 10. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Serat Tekan (Tegangan Lentur Beton)



Gambar 11. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Serat Tarik (Tegangan Lentur Baja)

### Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Peraturan SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai modulus keruntuhan lentur untuk beton normal (tanpa tulangan) yaitu :

$$f_r = 0.7 \sqrt{f'_c}$$

Dari nilai tersebut dapat dibuat suatu hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur balok beton bertulang seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

$f'_{cr}$ [MPa]	$f_r$ [MPa]	$\sqrt{f'_{cr}}$ [MPa]	$\frac{f_r}{\sqrt{f'_{cr}}}$
19.8375	12.65944	4.453931	2.842307
25.9075	15.33635	5.089941	3.013070
36.0150	19.18214	6.001250	3.196357
42.3150	24.25969	6.504998	3.729392

Nilai  $f_r / \sqrt{f'_{cr}}$  yang didapat menunjukkan hubungan kuat tekan dan kuat lentur balok beton bertulang, yang dalam penelitian ini berkisar 2.84 sampai 3.73.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kuat lentur balok beton bertulang dengan variasi kuat tekan beton diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari variasi kuat tekan yang direncanakan, yaitu sebesar 20 MPa, 27.5 MPa, 35 MPa, dan 42.5 MPa didapat hasil kuat tekan rata-rata sebesar 19.84 MPa, 25.91 MPa, 36.02 MPa, dan 42.32 MPa, yang jauh lebih rendah

- dari kuat tekan rata-rata yang ditargetkan. Hal ini disebabkan karena persentase agregat halus pada material yang digunakan cukup besar.
2. Kuat lentur rata-rata pada serat tekan (tegangan lentur beton) yang didapat dari setiap variasi kuat tekan rata-rata adalah 12.66 MPa, 15.34 MPa, 19.18 MPa, dan 24.26 MPa. Sedang kuat lentur rata-rata pada serat tarik (tegangan lentur baja) adalah 348.76 MPa, 399.02MPa, 464.69 MPa, dan 567.33 MPa.
  3. Dari hasil pembebanan pada saat balok mengalami retak awal, nilai  $P_{cr}$  menunjukkan selisih nilai yang hampir sama dalam setiap variasi penambahan kuat tekan. Berbeda dengan  $P_{max}$  yang menunjukkan peningkatan secara signifikan.
  4. Hasil pengamatan pola retak yang terjadi dari semua benda uji balok beton bertulang menunjukkan retak akibat lentur murni.
  5. Nilai  $f_r / \sqrt{f'_c}$  yang didapat menunjukkan hubungan kuat tekan dan kuat lentur balok beton bertulang yang berkisar 2.84 sampai 3.73.
  6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kuat tekan beton, maka kuat lentur juga akan meningkat. Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur selalu bersifat parabola.

#### Saran

Beberapa saran yang perlu disampaikan sebagai pertimbangan untuk penelitian lanjutan antara lain:

1. Cara mengikat sengkang pada tulangan utama perlu diperhatikan karena dalam desain tulangan tunggal, sengkang hanya bertumpu pada tulangan tarik saja. Jika tidak dilakukan dengan benar sengkang dapat bergoyang atau bergeser dari kedudukannya.
2. Pemeriksaan defleksi pada balok perlu dilaksanakan untuk melengkapi informasi tentang pengaruh kuat tekan terhadap kuat lentur balok beton bertulang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318, 2004. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05)*. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- ASTM Standards, 2015. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)* ASTM C78/C78M-15a. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton (SNI 03-1974-1990)*. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 1997. *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal dengan Dua Titik Pembebanan (SNI 03-4431-1997)*. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)*. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002. *Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Jakarta, Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. SK SNI T-15-1991-03. Cetakan Pertama, DPU – Yayasan LPMB, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB., 1991. *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal (SK SNI T-15-1990-03)*. Cetakan Pertama, DPU – Yayasan LPMB, Bandung.
- Dipohusodo, Istimawan., 1996. *Manajemen Proyek dan Konstruksi, Jilid 2*. Kanisius, Yogyakarta.
- McCormac, C. Jack., 2003. *Beton Bertulang, Edisi Kelima*. Erlangga, Jakarta.
- Nawy, G. Edward., 1990. *Beton Bertulang (suatu Pendekatan Dasar)*., PT. Eresco, Bandung.

NRMCA., 2000. *Flexural Strength Concrete*. National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, MD.

Park, R., dan Paulay, T., 1975. *Reinforced Concrete Structure*. New Zealand : Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch.

Tjokrodimulyo, Kardiyono., 1992. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit, Yogyakarta.