



## Analisis Lentur Balok Beton Dengan Bundel Tulangan

Ajis Sidiq Gumilar<sup>1</sup>, Eko Walujodjati<sup>2</sup>

Jurnal Konstruksi  
Institut Teknologi Garut  
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia  
Email : [jurnal@itg.ac.id](mailto:jurnal@itg.ac.id)

<sup>1</sup>ajisgumilar@gmail.com

<sup>2</sup>eko.walujodjati@itg.ac.id

**Abstrak** – Baja pada balok beton merupakan salah satu kombinasi antara beton yang memiliki kuat tekan yang tinggi dan baja tulangan yang memiliki kuat tarik yang tinggi sehingga jika disatukan akan menghasilkan kombinasi yang kuat. Akan tetapi kadang seorang arsitektur memerlukan balok yang dimensinya lebih kecil sehingga perlu dilakukan penempatan tulangan dengan cara Bundel. Hal ini diperlukan karena batasan dimensi elemen struktur. Dengan Bundel tulangan akan menghasilkan elemen struktur yang lebih kecil dan memudahkan dalam proses pemadatan adukan beton. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode kuantitatif yang mana penelitian ini banyak membahas angka-angka. Penelitian yang dilakukan yaitu menghitung kapasitas momen pada balok beton dengan bundel tulangan dan membandingkannya dengan perhitungan kapasitas momen pada balok beton yang dipasang tulangan secara biasa. Hasil dari pembahasan penelitian ini yaitu nilai kapasitas momen balok beton dengan dengan bundel tulangan lebih besar dari balok beton dengan tulangan biasa. Dimana nilai yang didapat ( $\phi M_n$ ) sebesar 2.232 KN.m untuk balok beton dengan bundel tulangan dan ( $\phi M_n$ ) sebesar 1.989 KN.m untuk balok beton dengan tulangan biasa. Maka selisih nilai kapasitas momen tersebut sebesar 12.22% lebih besar balok beton dengan bundel tulangan.

**Kata Kunci** – Balok Beton Tulangan; Bundel Tulangan; Kapasitas Momen; Lentur Balok.

### I. PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang sangat mendominasi bahan untuk konstruksi. Hal ini disebabkan bahan pembuatan beton mudah didapat, lebih murah dan lebih praktis dalam pengerjaan serta mampu menahan beban yang besar [1]. Beton juga banyak mengalami perkembangan baik dalam teknologi pembuatannya ataupun dalam pelaksanaannya. Bahan-bahan dasar pembuatan beton adalah semen, pasir, kerikil dan air. Perkembangan beton yang telah dikenal luas adalah kombinasi antara material beton dan baja tulangan yang digabungkan menjadi satu kesatuan konstruksi yang dikenal dengan beton bertulang.

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang direncanakan. Kekuatan, keawetan dan sifat Beton Bertulang yang lain tergantung dari sifat-sifat bahan dasar pembentuknya, nilai perbandingan bahan-bahannya, serta jumlah dan luas tulangan yang terdapat pada beton tersebut [1].

Dalam konstruksi beton bertulang, kadang perlu dilakukan penempatan tulangan dengan cara bundel. Hal ini diperlukan karena batasan dimensi elemen struktur. Dengan bundel tulangan akan menghasilkan elemen struktur yang lebih kecil dan memudahkan dalam proses pemadatan adukan beton.

Oleh karena itu pada analisis ini bertujuan untuk mengetahui nilai lentur balok beton dengan bundel tulangan dan tanpa bundel tulangan secara perhitungan analitis yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengujian

di laboratorium dan dari hasil tersebut bisa diketahui perbandingan kekuatan nilai kapasitais momen sebagai acuan dalam penggunaan balok beton dengan bundel tulangan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terdahulu

Tabel 1: Penelitian Terdahulu

Penulis	Fiany Fajar Puspita	Anggraini Sulistiyowati	Ajis Sidiq Gumilar
Tahun	2018	2020	2021
Judul	Analisis Retak Lentur Pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi Yang Diperbaiki Dengan Injeksi Epoxy	Analisis Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Campuran Pasir Besi	Analisis Lentur Balok Beton Dengan Bundel Tulangan
Tujuan	Untuk mengamati perilaku lentur pada balok beton bertulang mutu tinggi yang diperbaiki dengan injeksi epoxy.	Menegetahui kapasitas lentur balok beton dengan campuran pasir besi	Untuk menganalisis lentur balok beton dengan bundel tulangan yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengujian di laboratorium
Persamaan	Analisis lentur balok beton		
Perbedaan	Pada balok beton bertulang mutu tinggi yang diperbaiki dengan injeksi epoxy.	Pada balok beton bertulang dengan dengan campuran pasir besi	Pada balok beton yang dipasang bundle tulangan

### B. Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton struktural yang ditulangi dengan tidak lebih dari jumlah baja prategang atau tulangan non-prategang minimum yang ditetapkan[2]. Beton bertulang merupakan gabungan dari dua jenis bahan, yaitu beton polos, yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tariknya rendah. dan batangan baja yang ditanamkan di dalam beton yang dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Misalnya pada balok tulangan baja diletakkan di daerah tarik [3].

### C. Batang Baja Tulangan

Baja karbon atau baja paduan yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip/ulir dan digunakan untuk penulangan beton. Baja ini diproduksi dari bahan baku billet dengan cara canai panas (hot rolling)[4]. Berdasarkan bentuknya, baja tulangan beton dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu baja tulangan beton polos (BJTP) dan baja tulangan beton sirip (BJTS).

Sifat fisik batang tulangan baja yang paling penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah tegangan luluh ( $f_y$ ) dan modulus elastisitas ( $E_s$ ). Tegangan luluh (titik luluh) baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar dengan ketentuan bahwa tegangan luluh adalah tegangan baja pada saat meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Di dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan.

Modulus elastisitas baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan kurva tegangan-regangan di mana antara mutu baja yang satu dengan yang lainnya tidak banyak bervariasi. Ketentuan SK. SNI T-15-1991-03. 1993 menetapkan bahwa nilai modulus elastisitas baja adalah 200000 Mpa, sedangkan modulus elastisitas untuk tendon prategang harus dibuktikan dan ditentukan melalui pengujian atau dipasok oleh pabrik produsen.

## D. Bundel Tulangan

Rujukan [5], Bundel tulangan merupakan kumpulan dari tulangan sejajar yang diikat dalam satu bundel sehingga bekerja dalam satu kesatuan tidak boleh terdiri lebih dari empat tulangan per bundel. Bundel tulangan harus dilingkupi oleh sengkang atau sengkang pengikat. Pada balok, tulangan yang lebih besar dari D-36 tidak boleh dibundel. Masing-masing batang tulangan yang terdapat dalam satu bundel tulangan yang berakhir dalam bentang komponen struktur lentur harus diakhiri pada titik-titik yang berlainan, paling sedikit dengan jarak 40 db secara berselang.



Gambar 1. Jenis – jenis bundle tulangan [6]  
Sumber: E. Walujodjati, 2021

Adanya persyaratan jarak bersih antar tulangan dan persyaratan luas tulangan menghendaki penggabungan tulangan di dalam beberapa batang yang sejajar. Batang batang tulangan yang digabungkan menjadi satu kesatuan disebut bundel tulangan. Bundel tulangan tersebut tidak boleh lebih dari 4 batang [7].

Untuk diameter tulangan yang sama dalam satu bundel diameter ekuivalennya ( $d_e$ ) adalah

$$d_e = d_b \sqrt{2} \text{ untuk 2 tulangan dalam satu berkas} \quad (1)$$

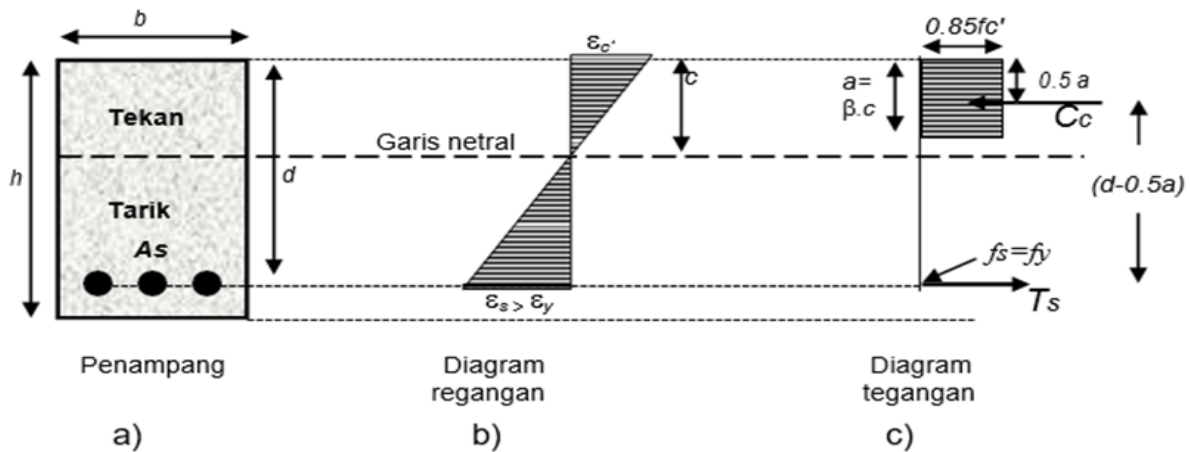
$$d_e = d_b \sqrt{3} \text{ untuk 3 tulangan dalam satu bundel} \quad (2)$$

$$d_e = 2 \cdot d_b \text{ untuk 4 tulangan dalam satu bundel} \quad (3)$$

## E. Balok Lentur

Rujukan [8] mengatakan tegangan lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah maka pada balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur disepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Balok merupakan elemen struktur yang menyalurkan beban-beban pelat lantai ke kolom penyangga yang vertikal. Dengan menggunakan prinsip keseimbangan statika ditentukan besar momen lentur dan geser yang terjadi pada setiap penampang balok yang bekerja menahan beban [9].

Penampang Balok Bertulangan Kurang (*Underreinforced*) penampang ini adalah penampang dengan jumlah tulangan baja tarik kurang dari jumlah tulangan yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan ( $A_s < A_{sb}$ ). Dalam kondisi ini regangan baja tarik  $\epsilon_s > \epsilon_y$  dan tegangan baja tarik  $f_s = f_y$  yang berarti tulangan baja tarik sudah lebih dulu leleh sebelum beton tekan hancur.



Gambar 2: Penampang bertulangan kurang (underreinforced)[10]

Karena  $\epsilon_s \neq \epsilon_y$ , maka nilai  $c$  tidak bisa langsung didapatkan dari diagram regangan.

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \tag{4}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \tag{5}$$

Syarat keseimbangan:

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \tag{6}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b} \tag{7}$$

Keterangan:

- $C_c$  : gaya tekan beton (N)
- $a$  : tinggi tekanan ekuivalen (mm)
- $b$  : lebar balok tertekan (mm)
- $T_s$  : gaya tarik tulangan (MPa)
- $A_s$  : luas tulangan tarik (mm<sup>2</sup>)
- $f_y$  : kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan baja non-prategang (MPa)

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.1, bahwa tegangan beton sama dengan  $0.85f_c'$  diasumsikan terdistribusi merata terhadap zona tekan ekuivalen yang dibatasi ujung penampang dan garis yang paralel terhadap sumbu netral, yang terletak pada jarak ( $a$ ) dari serat tekan terjauh. Dari pernyataan diatas, maka nilai  $a = \beta_1 \times c$ , dimana ( $c$ ) merupakan garis netral dan ( $\beta_1$ ) merupakan fungsi dari mutu beton. Nilai ( $\beta_1$ ) dengan memperhatikan tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2: Nilai  $\beta_1$  untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen

No	$\beta_1$	$f_c'$ (MPa)
a)	0.85	$17 \leq f_c' \leq 28$

b)	$0.85 - 0.05 \frac{0.5(f'c' - 28)}{7}$	$28 \leq f'c' \leq 55$
c)	0.65	$f'c' \geq 55$

Sumber: SNI 2847:2019

Menentukan Kapasitas penampang:

$$M_n = C_c (d - 0.5.a) \text{ atau } M_n = T_s (d - 0.5.a) \quad [12] \quad (8)$$

Keterangan:

$M_n$  : Kekuatan lentur nominal pada penampang (K.n.m)

$C_c$  : gaya tekan beton (N)

$a$  : tinggi tekanan ekuivalen (mm)

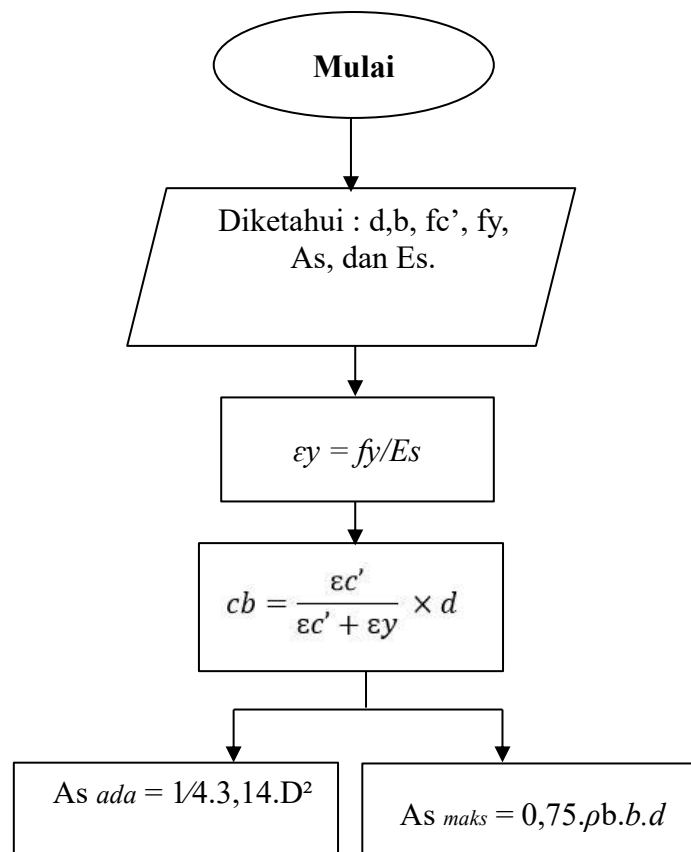
$T_s$  : gaya tarik tulangan (MPa)

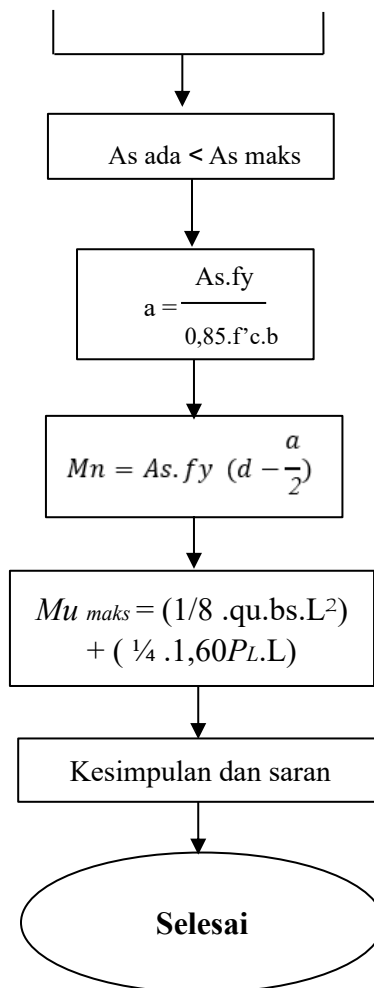
$d$  : tinggi balok diukur dari tepi sisi yang tertekan ke titik berat luas beton (mm)

### III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode penelitian kuantitatif. Dimana metode penelitian ini banyak berhubungan dengan angka. Selain itu, metode penelitian ini menyajikan sebuah fakta dalam mengembangkan konsep maupun pemahaman dan menunjukkan hubungan antar variabel.

Dalam penelitian ini data-data perhitungan (persamaan) yang dipakai berdasarkan ketentuan yang berlaku dan langkah-langkah perhitungan yang tercantum dalam diagram alur disusun berdasarkan urutan perhitungan untuk menghasilkan nilai kapasitas momen pada balok bertulang.





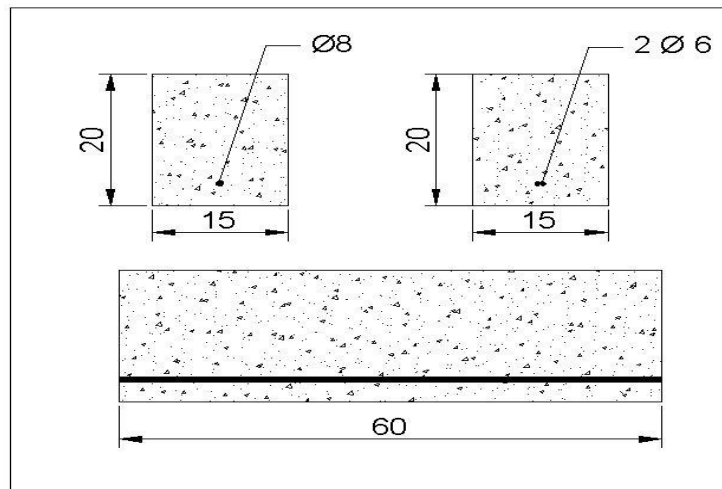
Gambar 3: Bagan Alir Penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Analisis Perhitungan

Penelitian ini merupakan analisis data dari hasil pengujian eksperimen uji lentur balok beton dengan bundle tulangan yang berlokasi di laboratorium Institut Teknologi Garut. Eksperimen tersebut dikerjakan oleh sodara Muhammad wildan. Pada bab ini akan membahas mengenai perhitungan kapasitas momen lentur balok beton dengan bundel tulangan dan dengan tulangan biasa. Sehingga dari hasil analisis perhitungan ini bisa diketahui perbandingan antara baton yang di bundel tulangan dengan beton betulangan biasa dan dapat merencanakan balok beton jika kebutuhan penampang balok yang lebih kecil dengan kekuatan momen lentur yang sama.

Tinjauan analisis ini dilakukan terhadap balok beton benda uji bukan balok beton struktur sehingga hanya ditujukan untuk mengetahui kapasitas momen lenturnya saja, dan hanya pemasangan tulangan sejajar. Perhitungan lentur ini mengacu pada peraturan peraturan yang berlaku dan rumus rumus yang sesuai dengan SNI yang berlaku.

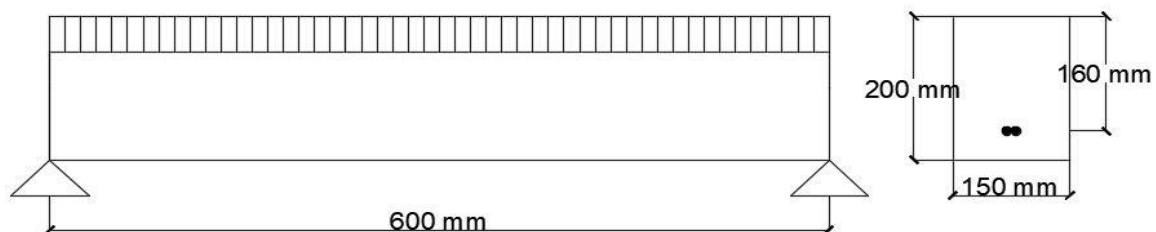


Gambar 4: Tampak benda Uji Balok

Nilai mutu beton ( $F_c'$ ) yang dihasilkan dari proses pengujian di laboratorium yaitu 17,34 Mpa sedangkan nilai mutu baja ( $f_y$ ) diambil berdasarkan SNI 2017 mengenai baja tulangan beton yaitu 280 Mpa. Lebar pada balok beton uji yaitu 150 mm, dengan panjang 600 mm dan tinggi 200 mm. Jarak serat tekan ke pusat tulangan tarik ( $d$ )= 160 mm, regangan beton tekan maksimum ( $\epsilon_c'$ )= 0.003, konstanta yang merupakan fungsi kelas kuat beton ( $\beta_1$ ) = 0.85, Faktor beban mati ( $\gamma_D$ )= 1.2, faktor beban hidup ( $\gamma_L$ )= 1.6, Modulus Elastisitas baja ( $E_s$ )= 200000 Mpa, Berat Sendiri Beton = 23.33 KN/m.

## B. Balok Lentur

### 1. Bundel Tulangan



Gambar 5: Balok Beton Bertulangan Bundel

#### a. Menentukan Jenis Penampang

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= f_y/E_s \\ &= 280/200000 \\ &= 0.0014\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_b &= \frac{\epsilon_c'}{\epsilon_c' + \epsilon_y} \cdot d \\ &= \frac{0.003}{0.003 + 0.0014} \times 160 \\ &= 109.1 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a_b &= \beta \cdot c_b \\ &= 0.85 \times 109.1 \\ &= 92.73 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$A_s \text{ mak} = (0.85 \times f_c' \times a_b \times b) / f_y$$

$$\begin{aligned}
 &= (0.85 \times 17.34 \times 92.73 \times 150) / 280 \\
 &= 732.18 \text{ mm} \\
 d_e &= d_b \times \sqrt{2} \\
 &= 6 \times \sqrt{2} \\
 &= 8.485 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ ada} &= 0.25 \times 3.14 \times d_e^2 \\
 &= 0.25 \times 3.14 \times 8.485^2 \\
 &= 56.516 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ maks} > A_s \text{ Ada} = 732.18 \text{ mm} > 56.516 \text{ mm}$$

Maka termasuk penampang bertulangan kurang (*Underrainforced*).

#### b. Menghitung Kapasitas Penampang

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\
 &= 0.85 \times 17.34 \times a \times 150 \\
 &= 2210a
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= A_s \times f_y \\
 &= 56.516 \times 280 \\
 &= 15824.48 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat keseimbangan  $C_c = T_s$

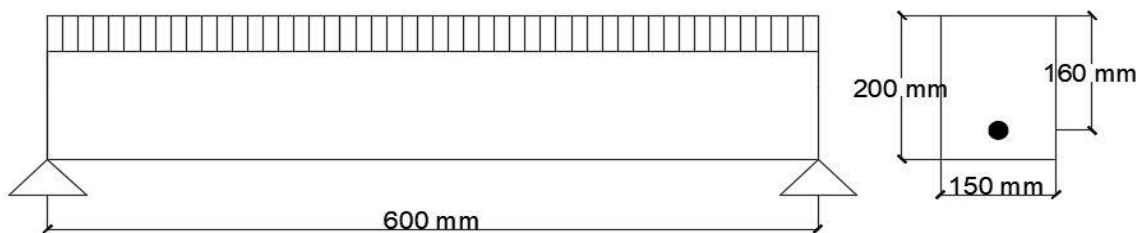
$$2210a = 15824.48$$

$$\begin{aligned}
 a &= 15824.48 / 2210 \\
 &= 7.16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= T_s \times (d - 0.5 \times a) \\
 &= 15824.48 \times (160 - 0.5 \times 7.16) \\
 &= 2475265.16 \text{ N.mm} \\
 &= 2.48 \text{ Kn.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0.9 \times 2.48 \\
 &= 2.232 \text{ KN.m}
 \end{aligned}$$

## 2. Tulangan Biasa



Gambar 6: Balok Beton Bertulangan Biasa

#### a. Menentukan jenis penampang

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= f_y / E_s \\
 &= 280 / 200000 \\
 &= 0.0014
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{e_c'}{e_c' + e_y} \cdot d \\
 &= \frac{0.003}{0.003 + 0.0014} \times 160
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} &= 109.1 \text{ mm} \\ ab &= \beta \cdot cb \\ &= 0.85 \times 109.1 \\ &= 92.73 \text{ mm} \\ As_{\text{maks}} &= (0.85 \times f_c' \times ab \times b) / f_y \\ &= (0.85 \times 17.34 \times 92.73 \times 150) / 280 \\ &= 732.18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As_{\text{ada}} &= 0.25 \times 3.14 \times D^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 8^2 \\ &= 50.24 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$As_{\text{maks}} > As_{\text{Ada}} = 732.18 \text{ mm} > 50.24 \text{ mm}$$

Maka termasuk penampang bertulangan kurang (*Underrainforced*).

#### b. Menghitung Kapasitas Penampang

$$\begin{aligned} Cc &= 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0.85 \times 17.34 \times a \times 150 \\ &= 2210a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ts &= As \times f_y \\ &= 50.24 \times 280 \\ &= 14067.2 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat keseimbangan  $Cc = Ts$

$$2210a = 14067.2$$

$$\begin{aligned} a &= 14067.2 / 2210 \\ &= 6.365 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= Ts \times (d - 0.5 \times a) \\ &= 14067.2 \times (160 - 0.5 \times 6.365) \\ &= 2205983.14 \text{ N.mm} \\ &= 2.21 \text{ Kn.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0.9 \times 2.21 \\ &= 1.989 \text{ Kn.} \end{aligned}$$

## V. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan mengenai lentur balok beton, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Hasil dari analisis perhitungan lentur balok beton dengan bundel tulangan didapat nilai kapasitas penampang ( $\phi Mn$ ) sebesar 2.232 KN/m, dan hasil perhitungan lentur balok beton dengan tulangan biasa didapat nilai kapasitas penampang ( $\phi Mn$ ) sebesar 1.989 KN/m
2. Dari hasil perbandingan, secara perhitungan bahwa penggunaan bundel tulangan pada beton akan menghasilkan nilai kapasitas momen yang lebih tinggi. Dalam kasus ini nilai kapasitas momen balok beton dengan bundel tulangan lebih besar 12.22% dibandingkan dengan tulangan biasa. Hal ini dikarenakan penggabungan 2 tulangan atau lebih akan mempengaruhi terhadap diameter tulangan sehingga akan menghasilkan kuat lentur yang lebih tinggi.
3. Maka ketika perencanaan balok beton memerlukan dimensi yang relatif lebih kecil dengan kebutuhan nilai kapasitas momen yang besar solusinya bisa dengan bundel tulangan baik tulangan dengan 2 tulangan, 3 tulangan, atau maksimal 4 tulangan yang dibundel sesuai dengan kebutuhan nilai kapasitas momen yang di inginkan.

## B. Saran

Dari analisis perhitungan yang telah penulis lakukan, maka penulis memberi saran hal-hal sebagai berikut ini:

1. Perhitungan analisis ini hanya fokus terhadap tinjauan kuat lentur pada balok beton, alangkah baiknya untuk peneliti selanjutnya bisa melakukan analisis geser dan puntir agar dalam perencanaan balok akan menghasilkan kekuatan yang maksimal dan mampu menahan beban-beban, baik beban mati maupun beban hidup sehingga struktur yang dihasilkan menjamin keselamatan.
2. Dari hasil analisis perhitungan yang dilakukan diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan untuk aplikasi perencanaan struktur balok beton bertulang dilapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Andrean, M. D. J. Sumajouw, and R. S. Windah, "Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Ratio Tulangan Tarik," *J. Sipil Statik Maret*, vol. 3, no. 3, pp. 175–182, 2015.
- [2] 2847:2013 SNI, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *Bandung Badan Stand. Indones.*, pp. 1–265, 2013.
- [3] B. Wang, C. K., Salmon, C. G., & Hariandja, *Disain Beton Bertulang*, 4th ed. 1993.
- [4] "Baja tulangan beton," 2017, [Online]. Available: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id).
- [5] "SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung."
- [6] E. Walujodjati, J. A. Tjondro, S. Permana, and G. J. Johari, "Study of flexural strength on concrete bundled bars beams," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1098, no. 2, p. 022062, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1098/2/022062.
- [7] B. Services, "Bond Behaviour of the Post-Installed Bundled Rebars Anchors With Cement Mortar in Hardened Concrete," no. Lxv, 2015.
- [8] A. Dela Cueva, "Reinforced concrete : Mechanics and design e c ture s Action Effects : Bending and axial load Action Effects : Shear and Torsion Serviceability : Cracking and deflections."
- [9] I. Dipohusodo, *Struktu Beton Bertulang SK. SNI T-15-1991-03*. 1993.
- [10] I. W. C. V. Ir.Gideon, H Kusuma M.Eng, *Dasar Dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga, 1997.
- [11] P. Studi *et al.*, "ANALISIS KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN," vol. 5, no. 1, pp. 352–359, 2020.
- [12] S. Sariman, H. Parung, and R. Djamaluddin, "Analisis Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Panjang Rongga Pada Penampang Tarik," *Konf. Nas. Pascasarj. Tek. Sipil*, no. 2011, pp. 31–40, 2018.