

## ANALISA PENGARUH VARIASI PANJANG PERKUATAN LENTUR PELAT BAJA TERHADAP BALOK BETON BERTULANG.

Reyhan Aulia<sup>1</sup>, Eka Juliafad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: reyhanaul@gmail.com

**Abstrak:** Kekuatan struktur harus diperhatikan dalam pembannungan sebuah bangunan. Pada hakikatnya, kekuatan struktur semakin lama akan semakin menurun yang diakibatkan oleh beberapa faktor, yaitu umur sebuah bangunan, beban yang berlebih tidak sesuai dengan rencana awal, faktor keadaan cuaca dan lingkungan, dan sebagainya. Adanya kemajuan pada teknologi bahan konstruksi, telah ditemukannya metode dalam perkuatan struktur dengan menambahkan perkuatan pada bagian luar yaitu menggunakan plat baja. Pengaplikasian plat baja pada balok beton bertulang menggunakan lem perekat Sikadur-31 CF Normal. Penggunaan pelat baja sebagai perkuatan mendapatkan peningkatan nilai lentur. pada balok normal mendapatkan nilai kuat lentur sebesar 86,63 kNm, pada balok uji 1 (BU 1) menggunakan perkuatan pelat baja dengan ukuran 12,6cm x 11cm mendapatkan nilai sebesar 421,31 kNm, pada balok uji 2 (BU 2) menggunakan perkuatan pelat baja dengan ukuran 17,6cm x 11cm mendapatkan nilai sebesar 480,82 kNm, pada balok uji 3 (BU 3) menggunakan perkuatan pelat baja dengan ukuran 22,6cm x 11cm mendapatkan nilai sebesar 559,91 kNm.

**Kata Kunci :** Beton, Perkuatan Balok Beton Bertulang, Pelat Baja, Kuat Lentur Balok.

**Abstract :** *Structural strength must be considered in the construction of a building. In essence, the strength of the structure will decrease over time which is caused by several factors, namely the age of a building, excessive loads not according to the original plan, weather and environmental conditions, and so on. With advances in construction material technology, methods have been found in strengthening structures by adding reinforcement to the outside, namely using steel plates. Application of steel plates to reinforced concrete beams using Sikadur-31 CF Normal adhesive. The use of steel plates as reinforcement to get an increase in bending value. on normal beams it obtained a flexural strength value of 86.63 kNm, on test beam 1 (BU 1) using steel plate reinforcement with a size of 12.6cm x 11cm it obtained a value of 421.31 kNm, on test beam 2 (BU 2) using steel plate reinforcement with a size of 17.6cm x 11cm get a value of 480.82 kNm, on test beam 3 (BU 3) using steel plate reinforcement with a size of 22.6cm x 11cm get a value of 559.91 kNm.*

**Keyword :** *Concrete, Reinforced Concrete Beams, Steel Plates, Flexural Strength of Beams.*

### PENDAHULUAN

Beton bertulang pada saat ini mengalami peningkatan dalam pembangunan konstruksi. Pada pembangunan seperti Gedung, jembatan, jalan, bendungan, dan sebagainya pada umumnya menggunakan beton bertulang sebagai

konsruksinya. Desain beton bertulang harus dapat memenuhi persyaratan keamanan dalam menahan beban yang sesuai direncanakan. Beton adalah sebuah material yang relative kuat akan beban tekan, tetapi lemah terhadap beban tarik. Untuk mendapatkan struktur bangunan yang relatif kuat terhadap beban tarik, maka ditambahkan baja tulangan pada beton. Kombinasi antara beton dan

baja tulangan kemudian dikenal dengan beton bertulang sebagai struktur yang optimal pada konstruksi bangunan (Juliafad et al., 2021).

Struktur bangunan biasanya terdiri atas balok, kolom, dan pelat lantai. Kekuatan struktur harus diperhatikan dalam pembangunan sebuah bangunan. Pada hakikatnya, kekuatan struktur semakin lama akan semakin menurun yang diakibatkan oleh beberapa faktor, yaitu umur sebuah bangunan, beban yang berlebih tidak sesuai dengan rencana awal, faktor keadaan cuaca dan lingkungan, dan sebagainya. Struktur yang mengalami penurunan kekuatan, harus diatasi dengan perkuatan agar tetap dapat menerima beban dan menghindari terjadinya keruntuhan. Pada balok biasanya didesain untuk dapat menahan gaya tarik. Diharapkan baja tulangan leleh terlebih dahulu sebelum beton hancur, dikarenakan jika terjadinya gempa bumi orang-orang yang ada dalam bangunan mendapatkan waktu untuk melarikan diri terlebih dahulu agar dapat selamat dari bangun yang ditempatinya (Juliafad et al., 2019).

Ada beberapa upaya yang bisa dilakukan untuk melakukan perbaikan atau retrofit struktur yaitu dengan memperpendek bentang balok pada struktur, menambah jumlah tulangan pada balok, penambahan material (patching) pada bagian struktur yang rusak, memperbesar dimensi dari beton atau pembongkaran serta penggantian dengan struktur bangunan baru. Metode penyelesaian di atas dianggap kurang efisien serta terdapat beberapa kendala yang dijumpai di lapangan, seperti waktu pelaksanaan yang lama, perlunya ruang kerja yang cukup luas sehingga harus menghentikan aktifitas yang ada, dan perlunya alat bantu seperti penyanggah sementara.

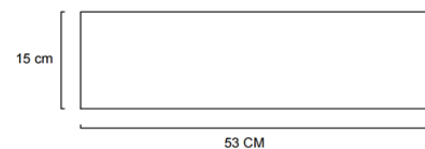
Adanya kemajuan pada teknologi bahan konstruksi, telah ditemukannya metode dalam perkuatan struktur dengan menambahkan perkuatan pada bagian luar yaitu menggunakan plat baja. Pengaplikasian plat baja pada balok beton bertulang menggunakan lem perekat Sikadur-31 CF Normal. Selain itu, belum diketahui secara jelas presentase peningkatan kuat lentur balok beton bertulang dengan penambahan plat baja yang digunakan. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan plat baja terhadap kuat lentur balok beton bertulang. Penelitian yang akan ini merupakan kajian eksperimental dengan menambahkan plat baja pada daerah lentur balok beton bertulang sebagai bahan retrofitting atau perkuatan.

## METODE PENELITIAN

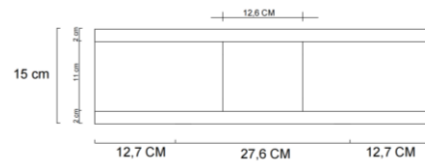
Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perkuatan plat baja pada daerah lentur balok beton bertulang.

### Pemodelan Balok Beton Bertulang

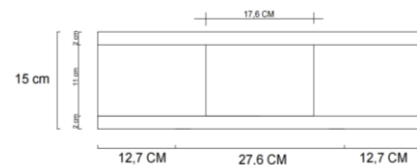
Balok beton bertulang memiliki dimensi 15cmx15cm untuk tinggi dan lebar, panjang yang digunakan adalah 53cm. Untuk perkuatan tambahan menggunakan plat baja dengan ketebalan 2mm dan memiliki 3 variasi perkuatan dipasang pada daerah bawah balok. Untuk variasi (BU 1) dengan ukuran 12,6cm x 11cm, variasi (BU 2) dengan ukuran 17,6cm x 11cm, dan variasi (BU 3) dengan ukuran 22,6cm x 11cm.



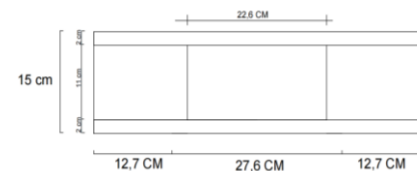
Gambar 1. Tampak bawah Desain balok BK (Balok Kontrol)



Gambar 2. Tampak bawah Desain balok BU 1 (Balok Uji 1)



Gambar 3. Tampak bawah Desain balok BU 2 (Balok Uji 2)



Gambar 4. Tampak bawah Desain balok BU 3 (Balok Uji 3)

### Data Material

- a. Beton
  - Kuat tekan( $f'_c$ ) : 21 MPa
  - Modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) : 4700 MPa
  - Berat jenis beton bertulang : 2461 kg/m<sup>3</sup>
- b. Baja Tulangan
  - Berat jenis baja : 7850 kg/m<sup>3</sup>

Modulus elastisitas baja : 200000 MPa  
 Fy tulangan longitudinal (fy) : 420 MPa  
 Fy tulangan transversal (fy) : 525 MPa  
 Luas Penampang : 157 mm<sup>2</sup>

c. Perkuatan Pelat Baja

Berat jenis baja : 7850 kg/m<sup>3</sup>  
 Modulus elastisitas baja : 200000 MPa  
 Tebal pelat baja perkuatan : 2 mm  
 Lebar pelat baja : 2,5 cm  
 Luas penampang pelat baja : 200 mm<sup>2</sup>  
 Kuat leleh (fy) : 420 MPa

**Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang**

Pengujian kuat lentur balok beton bertulang merujuk pada SNI 4431-2011, Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton bertulang dalam menahan kuat lentur dengan menggunakan 2 pembebanan yang diberikan hingga benda uji tersebut patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya persatuan luas. Berikut merupakan rumus untuk menghitung kuat lentur dengan metode non-linear dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut (Juliafad et al., 2019).

$$A_{sb} = \rho_b \times b \times d = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \times b \times d$$

Diasumsikan tulangan tarik dan plat baja telah mencapai kuat tarik yang diizinkan.

$$T_s + T_f = C$$

$$(A_s \times f_y) + (A_f \times f_f) = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$\text{Dengan } c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\epsilon_f = \frac{f_f}{E_f}$$

kontrol regangan yang terjadi:

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 \quad \text{dengan syarat } \epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\epsilon_f = \frac{h_f-c}{c} \times 0,003 \quad \text{dengan syarat } \epsilon_f < \epsilon_f$$

Asumsikan kembali bahwa tulangan tarik telah leleh sedangkan plat baja belum mencapai kuat tarik yang diijinkan.

$$T + T_f = C$$

$$(A_s \times f_y) + (A_f \times E_f \times 0,003) \times \left(\frac{h_f-c}{c}\right) = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

a x b

$$\text{Dengan } a = 0,85 \times c$$

Kontrol regangan yang terjadi:

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 \quad \text{dengan syarat } \epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\epsilon_f = \frac{h_f-c}{c} \times 0,003 \quad \text{dengan syarat } \epsilon_f < \epsilon_f$$

Sehingga,

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2) + A_s \times \epsilon_f \times E_f \times (h_f - a/2)$$

$$M_u = M_n / 0,85$$

$$M_{max} = (1/8) \times (f_y \times b \times h) \times l^2$$

$$M_{uMAX} = 1,4 M_{max} + 1,4 M_{maxp}$$

$$RAV = ?$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$RAV \times L - P \times 2/3 \times L - P \times 1/3 \times L$$

$$MC = RAV \times 1/3 \times L$$

$$M_{max} = P \times 1/3 \times L$$

$$P = M_{max} / (1/3 \times L)$$

$$\text{Perkuatan} = P / \text{Jarak Pelat Baja}$$

Dimana:

$$A_{sb} = \text{Jumlah luas tulangan tarik}$$

$$\rho_b = \text{Persentase tulangan}$$

$$b = \text{lebar balok (cm)}$$

$$d = \text{Tinggi balok (cm)}$$

$$f_c' = \text{Mutu beton}$$

$$\beta_1 = \text{Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah}$$

$$f_y = \text{tegangan leleh baja tulangan (MPa)}$$

$$T_s = \text{Gaya tarik baja tulangan}$$

$$T_f = \text{Gaya tarik pelat baja}$$

$$A_s = \text{Luas tulangan tarik (mm}^2\text{)}$$

$$A_f = \text{Luas penampang perkuatan pelat baja (mm}^2\text{)}$$

$$a = \text{Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok}$$

$$E_s = \text{Modulus elastisitas baja} = 200.000 \text{ Mpa}$$

$$E_f = \text{Modulus elastisitas pelat baja}$$

$$\epsilon_y = \text{Regangan pada baja tulangan}$$

$$\epsilon_f = \text{Regangan pada pelat baja}$$

$$h_f = \text{Tinggi balok dengan penambahan perkuatan}$$

$$M_n = \text{Kekuatan momen nominal jika dibebani lentur saja (Nmm)}$$

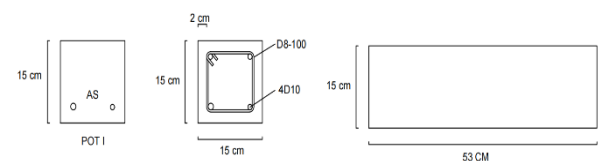
$$M_u = \text{Momen terfaktor pada penampang (Nmm)}$$

$$M_{max} = \text{Momen maximum}$$

$$P = \text{Kuat tekan (kN)}$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Perhitungan Balok Kontrol (BK)**



Gambar 5. Desain Balok Kontrol (BK)

Diketahui:

$$f_c = 21 \text{ mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ mpa} \quad 4200 \text{ kg/m}^3$$

$$E_s = 200000 \text{ mpa}$$

$$f_{us} = 525 \text{ mpa}$$

$$\begin{aligned}
A_{st} &= 157 \text{ mm}^2 \\
A_f &= 200 \text{ mm}^2 \\
f_{uf} &= 280 \text{ mpa} \\
E_f &= 200000 \text{ mpa} \\
\epsilon_f &= 0,02 \text{ 2\%} \\
b &= 150 \text{ mm} \quad 0,15 \text{ m} \\
h_f &= 152 \text{ mm} \quad 0,152 \text{ m} \\
h &= 150 \text{ mm} \quad 0,15 \text{ m} \\
d &= 130 \text{ mm} \quad 0,13 \text{ m} \\
L &= 450 \text{ mm} \quad 0,45 \text{ m}
\end{aligned}$$

Penyelesaian

$$\begin{aligned}
a &= A_s \times f_y / (0,85 \times f_c \times b) \\
&= A_s \times f_y / (0,85 \times 21 \times 150) \\
&= 24,63 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= A_s \times f_y (d - a/2) \\
&= 157 \times 420 \times (130 - 24,63/2) \\
&= 7760232,94 \text{ Nmm} \\
&= 7,76 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_u &= \frac{M_n}{0,85} \\
&= \frac{7,76}{0,85} \\
&= 9,13 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{max} &= \frac{1}{8} \times (f_y \times b \times h) \times l^2 \\
&= \frac{1}{8} \times (4200 \text{ kg/m}^3 \times 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}) \times 0,45^2 \text{ m} \\
&= 2,39 \text{ kgm} \\
&= 0,024 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_u &= 1,4 M_{max} + 1,4 M_{maxp} \\
9,13 &= (1,4 \times 0,024) + 1,4 M_{maxp} \\
1,4 M_{maxp} &= 9,13 - 0,033488438 \\
1,4 M_{maxp} &= 9,10 \text{ kNm} \\
M_{maxp} &= 6,50 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$R_{AV} = ?$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$R_{AV} \times L - P \times 2/3 \times L - P \times 1/3 \times L = 0$$

$$R_{AV} \times 0,45 - P \times 0,3 - P \times 0,15 = 0$$

$$R_{AV} \times 0,45 - P \times 0,45 = 0$$

$$R_{AV} = \frac{P \times 0,45}{0,45}$$

$$R_{AV} = P$$

$$MC = ?$$

$$MC = R_{AV} \times 1/3 L$$

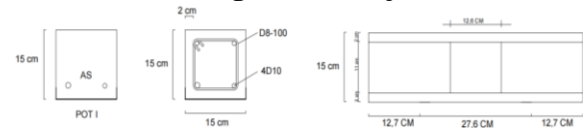
$$M_{max} = P \times 1/3$$

$$6,50 = P \times 0,15$$

$$P = 43,315 \text{ kNm}$$

$$\text{Total} = 86,630 \text{ kNm}$$

Analisis Perhitungan Balok Uji 1 (BU 1)



Gambar 6. Desain Balok Uji 1 (BU 1)

Diketahui:

$$\begin{aligned}
f_c &= 21 \text{ mpa} \\
f_y &= 420 \text{ mpa} \quad 4200 \text{ kg/m}^3 \\
E_s &= 200000 \text{ mpa} \\
f_{us} &= 525 \text{ mpa} \\
A_{st} &= 157 \text{ mm}^2 \\
A_f &= 200 \text{ mm}^2 \\
f_{uf} &= 280 \text{ mpa} \\
E_f &= 200000 \text{ mpa} \\
\epsilon_f &= 0,02 \text{ 2\%} \\
b &= 150 \text{ mm} \quad 0,15 \text{ m} \\
h_f &= 152 \text{ mm} \quad 0,152 \text{ m} \\
h &= 150 \text{ mm} \quad 0,15 \text{ m} \\
d &= 130 \text{ mm} \quad 0,13 \text{ m} \\
L &= 450 \text{ mm} \quad 0,45 \text{ m}
\end{aligned}$$

Penyelesaian

$$\begin{aligned}
A_{sb} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \times b \times d \\
&= \frac{0,85 \times 21 \times 0,85}{240} \times \frac{600}{600 + 420} \times 150 \times 130 \\
&= 414,375 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Diasumsikan tulangan tarik dan fiber telah mencapai kuat tarik yang di ijinakan.

$$T_s + T_f = C$$

$$(A_s \times f_y) + (A_f \times f_f) = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$(157 \times 420) + (200 \times 280) = 0,85 \times 21 \times a \times 150$$

$$a = 45,54$$

$$c = \frac{a}{\beta}$$

$$= 53,58$$

Asumsikan kembali bahwa tulangan tarik telah leleh sedangkan pelat baja belum mencapai kuat tarik yang di ijinakan.

$$T_s + T_f = C$$

$$(A_s \times f_y) + (A_f \times E_f \times 0,003) \times \frac{h_f - c}{c} = 0,85 \times f_c' \times c \times 0,85 \times b$$

$$(157 \times 420) + (200 \times 200000 \times 0,003) \times \frac{152 - c}{c} =$$

$$0,85 \times 21 \times c \times 0,85 \times 150$$

$$c = 78,44$$

$$a = 0,85 \times c$$

$$= 66,67$$

Sehingga,

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2) + A_f \times \epsilon_f \times E_f \times (h_f - a/2)$$

$$= 157 \times 420 \times (130 - 66,67/2) + 157 \times 0,02 \times 200000 \times (152 - 66,67/2)$$

$$= 101304358,2 \text{ kn/m}$$

$$= 101,30 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu} = \frac{Mn}{0,85}$$

$$= \frac{101,30}{0,85}$$

$$= 119,18 \text{ kNm}$$

$$\text{Mmax} = \frac{1}{8} \times (f_y \times b \times h) \times l^2$$

$$= \frac{1}{8} \times (4200 \text{ kg/m}^3 \times 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}) \times 0,45^2 \text{ m}$$

$$= 2,39 \text{ kgm}$$

$$= 0,024 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu} = 1,4 \text{ Mmax} + 1,4 \text{ Mmaxp}$$

$$119,18 = (1,4 \times 0,024) + 1,4 \text{ Mmaxp}$$

$$1,4 \text{ Mmaxp} = 119,18 - 0,033488438$$

$$1,4 \text{ Mmaxp} = 119,15 \text{ kNm}$$

$$\text{Mmaxp} = 85,11 \text{ kNm}$$

$$\text{RAV} = ?$$

$$\Sigma \text{MB} = 0$$

$$\text{RAV} \times L - P \times 2/3 \times L - P \times 1/3 \times L = 0$$

$$\text{RAV} \times 0,45 - P \times 0,3 - P \times 0,15 = 0$$

$$\text{RAV} \times 0,45 - P \times 0,45 = 0$$

$$\text{RAV} = P \times 0,45/0,45$$

$$\text{RAV} = P$$

$$\text{MC} = ?$$

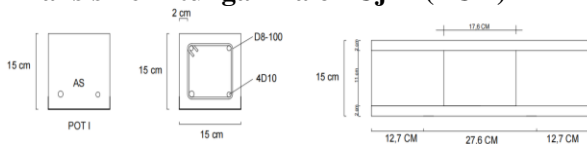
$$\text{MC} = \text{RAV} \times \text{Panjang balok tanpa perkuatan}$$

$$\text{Mmax} = P \times \text{Panjang balok tanpa perkuatan}$$

$$85,11 = P \times 0,404$$

$$P = 421,31 \text{ kNm}$$

### Analisis Perhitungan Balok Uji 2 (BU 2)



Gambar 7. Desain Balok Uji 2 (BU 2)

Diketahui:

$$f_c = 21 \text{ mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ mpa} \quad 4200 \text{ kg/m}^3$$

$$E_s = 200000 \text{ mpa}$$

$$f_{us} = 525 \text{ mpa}$$

$$A_{st} = 157 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 200 \text{ mm}^2$$

$$f_{uf} = 280 \text{ mpa}$$

$$E_f = 200000 \text{ mpa}$$

$$e_f = 0,02 \quad 2\%$$

$$b = 150 \text{ mm} \quad 0,15 \text{ m}$$

$$h_f = 152 \text{ mm} \quad 0,152 \text{ m}$$

$$h = 150 \text{ mm} \quad 0,15 \text{ m}$$

$$d = 130 \text{ mm} \quad 0,13 \text{ m}$$

$$L = 450 \text{ mm} \quad 0,45 \text{ m}$$

Penyelesaian

$$\text{Asb} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{0,85 \times 21 \times 0,85}{240} \times \frac{600}{600 + 420} \times 150 \times 130$$

$$= 414,375 \text{ mm}^2$$

Diasumsikan tulangan tarik dan fiber telah mencapai kuat tarik yang di ijinakan.

$$\text{Ts} + \text{Tf} = C$$

$$(\text{As} \times f_y) + (\text{Af} \times f_f) = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$(157 \times 420) + (200 \times 280) = 0,85 \times 21 \times a \times 150$$

$$a = 45,54$$

$$c = \frac{a}{\beta}$$

$$= 53,58$$

Asumsikan kembali bahwa tulangan tarik telah leleh sedangkan pelat baja belum mencapai kuat tarik yang di ijinakan.

$$\text{Ts} + \text{Tf} = C$$

$$(\text{As} \times f_y) + (\text{Af} \times E_f \times 0,003) \times \frac{hf - c}{c} = 0,85 \times f_c' \times c \times 0,85 \times b$$

$$(157 \times 420) + (200 \times 200000 \times 0,003) \times \frac{152 - c}{c} = 0,85 \times 21 \times c \times 0,85 \times 150$$

$$c = 78,44$$

$$a = 0,85 \times c$$

Asumsikan kembali bahwa tulangan tarik telah leleh sedangkan pelat baja belum mencapai kuat tarik yang di ijinakan.

$$\text{Ts} + \text{Tf} = C$$

$$(\text{As} \times f_y) + (\text{Af} \times E_f \times 0,003) \times (hf - c)/c = 0,85 \times f_c' \times c \times 0,85 \times b$$

$$(157 \times 420) + (200 \times 200000 \times 0,003) \times (152 - c)/c = 0,85 \times 21 \times c \times 0,85 \times 150$$

$$c = 78,44$$

$$a = 0,85 \times c$$

$$= 66,67$$

Sehingga,

$$\text{Mn} = \text{As} \times f_y \times (d - a/2) + \text{Af} \times e_f \times E_f \times (hf - a/2)$$

$$= 157 \times 420 \times (130 - 66,67/2) + 157 \times 0,02 \times 200000 \times (152 - 66,67/2)$$

$$= 101304358,2 \text{ kn/m}$$

$$= 101,30 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu} = \frac{Mn}{0,85}$$

$$= \frac{101,30}{0,85}$$

$$= 119,18 \text{ kNm}$$

$$\text{Mmax} = \frac{1}{8} \times (f_y \times b \times h) \times l^2$$

$$= \frac{1}{8} \times (4200 \text{ kg/m}^3 \times 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}) \times 0,45^2 \text{ m}$$

$$= 2,39 \text{ kgm}$$

$$= 0,024 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1,4 M_{max} + 1,4 M_{maxp}$$

$$119,18 = (1,4 \times 0,024) + 1,4 M_{maxp}$$

$$1,4 M_{maxp} = 119,18 - 0,033488438$$

$$1,4 M_{maxp} = 119,15 \text{ kNm}$$

$$M_{maxp} = 85,11 \text{ kNm}$$

$$RAV = ?$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$RAV \times L - P \times \frac{2}{3} \times L - P \times \frac{1}{3} \times L = 0$$

$$RAV \times 0,45 - P \times 0,3 - P \times 0,15 = 0$$

$$RAV \times 0,45 - P \times 0,45 = 0$$

$$RAV = P \times 0,45 / 0,45$$

$$RAV = P$$

$$MC = ?$$

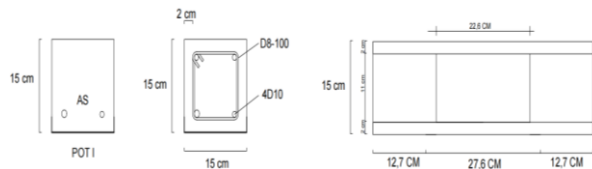
$$MC = RAV \times \text{Panjang balok tanpa perkuatan}$$

$$M_{max} = P \times \text{Panjang balok tanpa perkuatan}$$

$$85,11 = P \times 0,354$$

$$P = 480,82 \text{ kNm}$$

### Analisis Perhitungan Balok Uji 3 (BU 3)



Gambar 8. Desain Balok Uji 3 (BU 3)

$$f_c = 21 \text{ mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ mpa} \quad 4200 \text{ kg/m}^3$$

$$E_s = 200000 \text{ mpa}$$

$$f_{us} = 525 \text{ mpa}$$

$$A_{st} = 157 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 200 \text{ mm}^2$$

$$f_{uf} = 280 \text{ mpa}$$

$$E_f = 200000 \text{ mpa}$$

$$e_f = 0,02 \quad 2\%$$

$$b = 150 \text{ mm} \quad 0,15 \text{ m}$$

$$h_f = 152 \text{ mm} \quad 0,152 \text{ m}$$

$$h = 150 \text{ mm} \quad 0,15 \text{ m}$$

$$d = 130 \text{ mm} \quad 0,13 \text{ m}$$

$$L = 450 \text{ mm} \quad 0,45 \text{ m}$$

#### Penyelesaian

$$A_{sb} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{0,85 \times 21 \times 0,85}{240} \times \frac{600}{600 + 420} \times 150 \times 130$$

$$= 414,375 \text{ mm}^2$$

Diasumsikan tulangan tarik dan fiber telah mencapai kuat tarik yang di ijinakan.

$$T_s + T_f = C$$

$$(A_s \times f_y) + (A_f \times f_f) = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$(157 \times 420) + (200 \times 280) = 0,85 \times 21 \times a \times 150$$

$$a = 45,54$$

$$c = \frac{a}{\beta}$$

$$= 53,58$$

Asumsikan kembali bahwa tulangan tarik telah leleh sedangkan pelat baja belum mencapai kuat tarik yang di ijinakan.

$$T_s + T_f = C$$

$$(A_s \times f_y) + (A_f \times E_f \times 0,003) \times \frac{h_f - c}{c} = 0,85 \times f_c' \times c \times 0,85 \times b$$

$$(157 \times 420) + (200 \times 200000 \times 0,003) \times \frac{152 - c}{c} = 0,85 \times 21 \times c \times 0,85 \times 150$$

$$c = 78,44$$

$$a = 0,85 \times c$$

Asumsikan kembali bahwa tulangan tarik telah leleh sedangkan pelat baja belum mencapai kuat tarik yang di ijinakan.

$$T_s + T_f = C$$

$$(A_s \times f_y) + (A_f \times E_f \times 0,003) \times (h_f - c)/c = 0,85 \times f_c' \times c \times 0,85 \times b$$

$$(157 \times 420) + (200 \times 200000 \times 0,003) \times (152 - c)/c = 0,85 \times 21 \times c \times 0,85 \times 150$$

$$c = 78,44$$

$$a = 0,85 \times c$$

$$= 66,67$$

#### Sehingga,

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2) + A_f \times e_f \times E_f \times (h_f - a/2)$$

$$= 157 \times 420 \times (130 - 66,67/2) + 157 \times 0,02 \times 200000 \times (152 - 66,67/2)$$

$$= 101304358,2 \text{ kn/m}$$

$$= 101,30 \text{ kNm}$$

$$M_u = \frac{M_n}{0,85}$$

$$= \frac{101,30}{0,85}$$

$$= 119,18 \text{ kNm}$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} \times (f_y \times b \times h) \times l^2$$

$$= \frac{1}{8} \times (4200 \text{ kg/m}^3 \times 0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}) \times 0,45^2 \text{ m}$$

$$= 2,39 \text{ kgm}$$

$$= 0,024 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1,4 M_{max} + 1,4 M_{maxp}$$

$$119,18 = (1,4 \times 0,024) + 1,4 M_{maxp}$$

$$1,4 M_{maxp} = 119,18 - 0,033488438$$

$$1,4 M_{maxp} = 119,15 \text{ kNm}$$

$$M_{maxp} = 85,11 \text{ kNm}$$

$$RAV = ?$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$RAV \times L - P \times \frac{2}{3} \times L - P \times \frac{1}{3} \times L = 0$$

$$RAV \times 0,45 - P \times 0,3 - P \times 0,15 = 0$$



$$RAV \times 0,45 - P \times 0,45 = 0$$

$$RAV = P \times 0,45 / 0,45$$

$$RAV = P$$

$$MC = ?$$

$$MC = RAV \times \text{Panjang balok tanpa perkuatan}$$

$$M_{max} = P \times \text{Panjang balok tanpa perkuatan}$$

$$85,11 = P \times 0,304$$

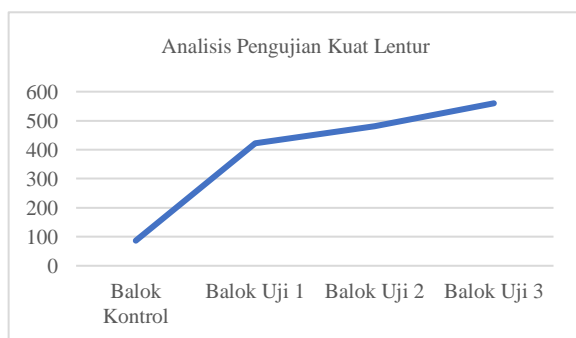
$$P = 559,91 \text{ kNm}$$

### Hasil Analisis Pengujian Kuat Lentur Balok

Tabel 1. Hasil Analisis Pengujian Kuat Lentur

| Benda Uji          | Panjang pelat (cm) | P (kNm) |
|--------------------|--------------------|---------|
| Balok Kontrol (BU) |                    | 86,63   |
| Balok Uji 1 (BK 1) | 12,6               | 421,31  |
| Balok Uji 2 (BK 2) | 17,6               | 480,82  |
| Balok Uji 3 (BK 3) | 22,6               | 559,91  |

Berdasarkan hasil dari data tabel 1 dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai kuat lentur pada balok ketika mendapatkan perkuatan menggunakan pelat baja. Pada balok kontrol mendapatkan nilai kuat lentur sebesar 86,63 kNm, pada balok uji 1 (BK1) menggunakan perkuatan pelat baja dengan ukuran panjang 12,6 cm x lebar 11 cm mendapatkan nilai kuat lentur sebesar 421,31 kNm, pada balok uji 2 (BK 2) menggunakan perkuatan pelat baja dengan ukuran panjang 17,6 cm x lebar 11 cm mendapatkan nilai kuat lentur sebesar 480,82 kNm, dan pada balok uji 3 (BK3) menggunakan perkuatan pelat baja dengan ukuran panjang 22,6 cm x lebar 11 cm mendapatkan nilai kuat lentur sebesar 559,91 kNm. Grafik pada nilai pengujian kuat lentur pada balok dapat dilihat pada grafik



Gambar 9. Grafik pengujian kuat lentur pada balok beton bertulang

### KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari data mengenai kekuatan balok beton bertulang menggunakan pelat baja, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kuat lentur pada balok beton bertulang tanpa perkuatan mendapatkan nilai sebesar 86,63 kNm.
2. Penambahan perkuatan menggunakan pelat baja pada daerah lentur balok beton bertulang dengan ukuran panjang 12,6 cm x lebar 11 cm mendapatkan pertambahan nilai kuat lentur sebesar 421,31 kNm.
3. Penambahan perkuatan menggunakan pelat baja pada daerah lentur balok beton bertulang dengan ukuran panjang 17,6 cm x lebar 11 cm mendapatkan pertambahan nilai kuat lentur sebesar 480,82 kNm.
4. Penambahan perkuatan menggunakan pelat baja pada daerah lentur balok beton bertulang dengan ukuran panjang 22,6 cm x lebar 11 cm mendapatkan pertambahan nilai kuat lentur sebesar 559,91 kNm.

### DAFTAR PUSTAKA

- Juliafad, E., Ananda, R., Sulisty, D., Suhendro, B., & Hidayat, R. (2019). *Nonlinear Finite Element Method Analysis of after Fire Reinforced Concrete Beam Strengthened with Carbon Fiber Strip*. Journal of Physics: Conference Series, 1175(DE). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012019>
- Juliafad, E., Gokon, H., & Putra, R. R. (2021). *Defect Study On Single Storey Reinforced Concrete Building In West Sumatra: Before And After 2009 West Sumatra Earthquake*. International Journal of GEOMATE, 20(DE), 205–212. <https://doi.org/10.21660/2020.77.ICEE03>
- Asroni, Ali, 2010, *Balok dan Pelat Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002.
- Miswar, Khairul, 2010, *Perbaikan Dan Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan Cara Penambahan Profil Baja Kanal*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe, NAD.
- Mulyadi. (2018). *Pengaruh Penggunaan Carbon Fibre Sheet Terhadap Kekakuan Pada Balok Beton Bertulang*. Genta Mulia, 9(1), 89–98.
- Sederhana, P. B., Kasus, S., Negeri, S. D., & Timur, R. (2012). *Analisis metode pelaksanaan*. 8(1), 11–20.

- Sitepu, Nomi, 2014, *Perilaku Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Pelat Baja Dalam Memikul Lentur*, Tugas Akhir, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Sultan, M. A., & Djamaluddin, R. (2018). *“Daktalitas Dan Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Gfrp-S”*.
- Wibisono (2017). *Penambahan Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Penambahan Pelat Baja*, FTSP UII.