

## DESAIN PERKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN PELAT BAJA DENGAN VARIASI JARAK PELAT BAJA

Hanif Hadi Wisi<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: [hanifhadiwirsi03@gmail.com](mailto:hanifhadiwirsi03@gmail.com)

**Abstrak:** Balok merupakan salah satu komponen struktur yang sering menggunakan beton bertulang sebagai material penyusunnya, terkadang dalam membuat desainnya masih sering kali terjadi kesalahan, sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada balok, dan pada akhirnya menjadi kerusakan struktur secara keseluruhan. Untuk menghindari keadaan tersebut perlu dilakukan alternatif peningkatan kekuatan dengan perkuatan konstruksi. Salah satu usaha yang dilakukan yaitu penambahan perkuatan menggunakan pelat baja. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Pengujian lentur menggunakan balok berukuran 53 cm x 15 cm x 15 cm. Untuk banyak nya benda uji yang direncanakan yaitu terdiri dari 4 variasi yaitu untuk balok kontrol (BK), balok uji 1 (BU1) memiliki ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 10,05 cm, balok uji 2 (BU2) memiliki ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 6,28 cm, balok uji 3 (BU3) memiliki ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 3,775 cm sebanyak 4 buah untuk masing masing balok. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa bahwa terjadi kenaikan nilai kuat lentur pada balok ketika diberi tambahan perkuatan menggunakan pelat baja. Perubahan nilai tersebut adalah pada balok beton bertulang tanpa penambahan perkuatan diperoleh nilai kuat lenturnya sebesar 86,630 kNm, kemudian untuk balok beton bertulang dengan penambahan perkuatan pelat baja balok uji 1 diperoleh nilai kuat lentur sebesar 112,910 kNm, penambahan perkuatan pelat baja dengan balok uji 2 diperoleh nilai kuat lentur sebesar 180,692 kNm, penambahan perkuatan pelat baja dengan balok uji 3 diperoleh nilai kuat lentur sebesar 300,594 kNm.

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

**Abstract :** *Beam is one of the structural components that often use reinforced concrete as a constituent material, sometimes errors often occur in making the design, which can cause damage to the beam, and ultimately damage to the structure as a whole. To avoid this situation, it is necessary to do an alternative to increase the strength by strengthening the construction. One of the efforts made is the addition of reinforcement using steel plates. The method used in this research is experimental method. The flexural test uses a beam measuring 53 cm x 15 cm x 15 cm. For many test objects that are planned to consist of 4 variations, namely for the control beam (BK), test beam 1 (BU1) has a thickness of 2 mm, width of 2.5 cm and distance between plates of 10.05 cm, test beam 2 (BU2) has a thickness of 2 mm, a width of 2.5 cm and a distance between plates of 6.28 cm, test beam 3 (BU3) has a thickness of 2 mm, a width of 2.5 cm and a distance between plates of 3.775 cm as many as 4 pieces for each beam. Based on the test results obtained, it can be concluded that there is an increase in the value of the strong bending of the beam when given additional reinforcement using steel plates. The change in value is that for reinforced concrete beams without additional reinforcement, the flexural strength value is 86,630 kNm, then for reinforced concrete beams with the addition of steel plate reinforcement, test beam 1 obtains a flexural strength value of 112,910 kNm, the addition of steel plate reinforcement with test beam 2 is obtained. flexural strength value of 180,692 kNm, the addition of steel plate reinforcement with test beam 3 obtained a flexural strength value of 300,594 kNm.*

**Keyword :** Concrete, reinforcement, steel plate, Flexural Strength

### PENDAHULUAN

Balok merupakan salah satu komponen struktur yang sering menggunakan beton bertulang sebagai material penyusunnya, terkadang dalam membuat desainnya masih sering kali terjadi kesalahan, sehingga hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada balok, dan pada akhirnya menjadi kerusakan struktur secara keseluruhan. Selain kesalahan dalam mendesain, kerusakan pada balok juga dapat terjadi karena kesalahan saat proses pengerjaannya, perawatan awal yang tidak tepat, penggunaan fungsi struktur yang tidak sesuai rencana, ataupun faktor-faktor alam seperti gempa bumi sehingga perlu langkah - langkah untuk meningkatkan kualitas balok beton bertulang (Juliafad et al., 2021).

Balok beton bertulang yang mengalami lendutan, retak-retak yang berlebihan, korosi pada tulangan beton atau kegagalan lekatan antara baja beton dapat berakibat pada menurunnya daya dukung komponen struktur terhadap beban-beban yang bekerja terutama pada saat terjadinya gempa bumi. Selain itu penurunan kekuatan bahan, buruknya pengerjaan dan tingkat pengawasan yang tidak mencukupi juga dapat mengurangi kekuatan dari suatu komponen struktur. Meningkatnya deformasi struktur bahkan dapat menyebabkan runtuhnya suatu bangunan. Kesalahan dalam pengambilan mutu bahan, volume yang tidak mencukupi, kesalahan prosedur pelaksanaan, peningkatan beban pemakaian, mengakibatkan kapasitas konstruksi tidak sesuai dengan apa yang telah direncanakan. Untuk menghindari keadaan tersebut perlu dilakukan alternatif peningkatan kekuatan dengan perkuatan konstruksi (Juliafad & Melinda, 2019).

Tujuan dari pada perkuatan konstruksi, umumnya adalah untuk meningkatkan kapasitas struktur dalam menahan beban atau mengembalikan ke kapasitas rencana. Setiap langkah perkuatan yang dilakukan harus diupayakan agar dapat mengurangi resiko kerusakan yang akan terjadi. Selain itu perlu dipertimbangkan upaya-upaya perlindungan dan pencegahan terhadap kemungkinan kerusakan struktur beton bertulang di kemudian hari (Mulyadi, 2018).

Biaya untuk perkuatan struktur bangunan akan lebih murah dibandingkan dengan biaya untuk membongkar dan membangun kembali bangunan yang baru. Untuk memperkuat struktur beton bertulang khususnya bagian balok bisa dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan menambah dimensi penampang balok beton bertulang atau dengan melapisi bagian luarnya dengan baja atau dengan bahan komposit

nonlogam. Salah satu usaha yang dilakukan yaitu penambahan perkuatan menggunakan pelat baja pada sisi lentur balok (Mulyadi, 2018).

Pelat baja merupakan salah satu bentuk material komposit terbuat dari dua atau lebih material penyusun yang saling memiliki perbedaan sifat fisik dan kimia, yang jika dikombinasikan akan menghasilkan material berkarakteristik berbeda dengan material-material penyusunnya. Material komposit tersusun atas dua komponen utama yaitu matriks dan material penguat (reinforcement). Pelat baja bertugas sebagai material penguat. Sedangkan untuk matriksnya biasanya dipergunakan resin polimer semacam epoxy (Uii, 2018).

Penelitian terhadap perkuatan lentur balok beton bertulang dengan menggunakan variasi jarak pelat baja penting dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan kekuatan lentur dari balok beton bertulang. Pengaruh variasi jarak pelat baja yang diletakkan di bagian lentur balok beton bertulang sebagai bahan perkuatan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan lentur balok beton pada bangunan. Pelat baja yang digunakan memiliki harga yang cukup mahal, sehingga perlu diketahui jarak antar pelat yang dibutuhkan untuk meningkatkan kekuatan pada balok beton bertulang. Sehingga diperlukan desain perkuatan lentur balok beton bertulang dengan pelat baja dengan variasi jarak pelat baja.

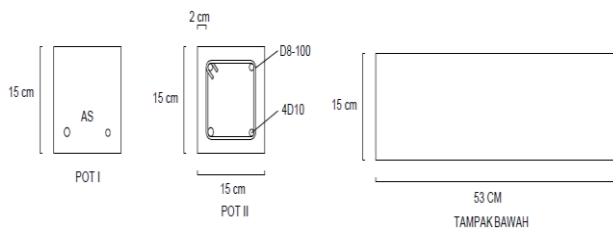
## **METODE PENELITIAN**

Jenis penelitian adalah penelitian kuantitatif dengan metode eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh perkuatan lentur balok Beton bertulang dengan menggunakan variasi jarak pelat baja pada sisi lentur balok.

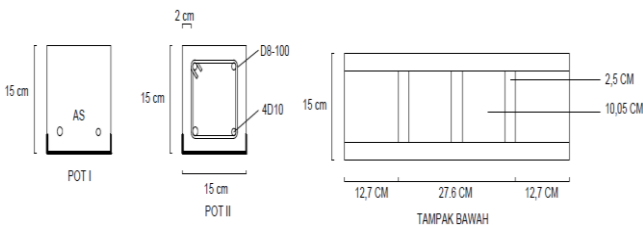
### **Desain Balok Beton Bertulang**

Pengujian lentur menggunakan dengan 2 titik pembebanan pada balok berukuran panjang 53 cm lebar 15 cm dan tinggi 15 cm, sebelum itu perlu dibuat terlebih dahulu bekisting balok kemudian dilanjutkan dengan pembuatan benda uji variasi yaitu terdiri dari 4 variasi yaitu untuk balok kontrol (BK), balok uji 1 (BU1) memiliki ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 10,05 cm, balok uji 2 (BU2) memiliki ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 6,28 cm, balok uji 3 (BU3) memiliki ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 3,775 cm sebanyak 4 buah untuk masing masing balok (gambar 1,2,3, dan 4).

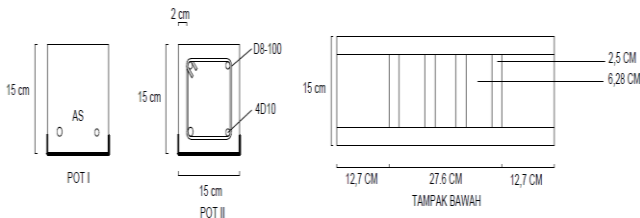
Pada penelitian ini, pelat baja hanya ditujukan untuk mengganti tulangan tarik bukan tulangan tekan. Oleh karena itu, balok uji (BU 1,2,3) hanya menggunakan pelat baja pada sisi tarik, tanpa ada tulangan tekan di sisi atas. Sampel ini (BU 1,2,3) memberikan data mengenai perilaku lentur balok yang menggunakan pelat baja tanpa ada pengaruh dari tulangan tekan. Hal ini yang menyebabkan balok kontrol didesain sebagai balok tulangan tunggal dalam kondisi under reinforced sesuai SNI 2847/2013. Melalui perbandingan sampel ini, dapat diketahui pengaruh penggunaan pelat baja sebagai pengganti baja tulangan terhadap perilaku lentur balok. Setelah diketahui pengaruh pelat baja sebagai pengganti baja tulangan terhadap perilaku lentur balok, selanjutnya pelat baja diaplikasikan pada struktur balok beton tulangan rangkap untuk mensimulasikan kondisi balok pada struktur yang sesungguhnya.



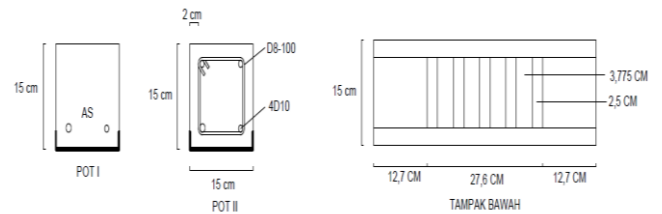
Gambar 1. Desain Pengujian Kuat Lentur Balok Kontrol (BK)



Gambar 2. Desain Pengujian Kuat Lentur Balok Uji 1 (BU 1) Memiliki Ketebalan 2 mm, Lebar 2,5 cm dan Jarak Antar Pelat 10,05 cm



Gambar 3. Desain Pengujian Kuat Lentur Balok Uji 2 (BU 2) Memiliki Ketebalan 2 mm, Lebar 2,5 cm dan Jarak Antar Pelat 6,28 cm



Gambar 4. Desain Pengujian Kuat Lentur Balok Uji 3 (BU 3) Memiliki Ketebalan 2 mm, Lebar 2,5 cm dan Jarak Antar Pelat 3,775 cm

### Data Material

Berikut data material yang digunakan dalam perhitungan kuat lentur balok beton bertulang (SNI 8399:2017, 2017).

#### a. Balok

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) : 21 MPa

Modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) : 4700 MPa

Berat jenis beton bertulang : 2461 kg/m<sup>3</sup>

Panjang balok ( $p$ ) : 530 mm

Tinggi balok ( $h$ ) : 150 mm

Lebar balok ( $b$ ) : 150 mm

tinggi balok dengan penambahan perkuatan ( $h_f$ ) : 152 mm

Jarak (bentang) antara dua garis perletakan ( $L$ ) : 450 mm

#### b. Baja tulangan

Tulangan utama : O10

Tulangan sengkang : Ø8

Berat jenis baja : 7850 kg/m<sup>3</sup>

Modulus elastisitas baja : 200000 MPa

Tegangan lelehnya ( $f_y$ ) : 420 MPa

Tegangan tarik batas ( $f_{us}$ ) : 525 MPa

Luas Penampang tulangan ( $A_{st}$ ) : 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 ( $A_f$ ) : 200 mm<sup>2</sup>

Tegangan lelehnya ( $f_y$ ) : 420 MPa

Tegangan tarik batas ( $f_{uf}$ ) : 280 MPa

### Analisis Perhitungan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Menurut SNI 4431-2011, Kuat lentur beton yaitu kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya sampai benda uji tersebut patah dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas (Setiyawan, 2016). Adapun rumus untuk menghitung kuat lentur dengan menggunakan 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 fiber telah mencapai kuat tarik yang di ijinakan.

$$T_s + T_f = C$$

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

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

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

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

kontrol regangan yang terjadi:

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

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

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

$$T + T_f = C$$

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

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

Kontrol regangan yang terjadi:

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

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

Sehingga,

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

$$M_u = M_n / 0,85$$

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

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

$$RAV = ?$$

$$\Sigma MB = 0$$

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

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

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

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

$$P_{perkuatan} = P / \text{Jarak Pelat Baja}$$

Keterangan:

$A_{sb}$  = luas tulangan baja pada kondisi seimbang (mm<sup>2</sup>)

$P_b$  = Rasio luas tulangan terhadap luas efektif beton (mm<sup>2</sup>)

$\beta_1$  = factor distribusi tegangan beton persegi ekuivalen

$f_c'$  = Kuat tekan beton (MPa)

$f_y$  = tegangan lelehnya tulangan (MPa)

$f_u$  = tegangan tarik batas tulangan (MPa)

$b$  = lebar balok beton betulang (mm)

$d$  = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat stulangan (mm)

$h$  = tinggi balok beton betulang (mm)

$T_s$  = gaya tarik tulangan (MPa)

$T_f$  = gaya tarik pelat baja (MPa)

$A_{st}$  = luas penampang tulangan tarik (mm<sup>2</sup>)

$A_f$  = luas penampang pelat baja (mm<sup>2</sup>)

$f_{uf}$  = tegangan tarik batas pelat baja (MPa)

$a$  = tinggi tekanan ekuivalen (mm)

$\epsilon_y$  = rasio regangan tulangan

$\epsilon_f$  = regangan pelat baja

$E_s$  = modulus elastisitas tulangan (MPa)

$E_f$  = modulus elastisitas pelat baja (MPa)

$\epsilon_s$  = regangan tulangan

$\epsilon_f$  = regangan pelat baja

$hf$  = tinggi balok dengan pertambahan perkuatan (mm)

$L$  = jarak (bentang) antara dua garis Perletakan (mm)

$M_n$  = momen nominal(kN)

$M_u$  = momen ultimit(kN)

$M_{max}$  = momen maximal(kN)

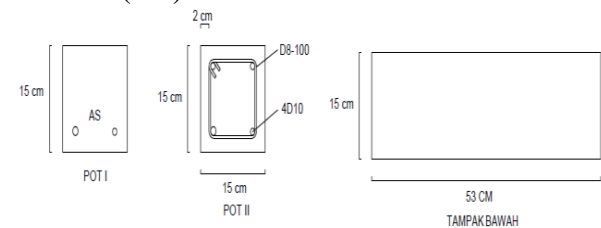
$M_{uMax}$  = momen ultimit maximal (kN)

$P$  = kuat tekan (kN)

$P_{perkuatan}$  = kuat tekan dibagi dengan variasi jarak (kN)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Perhitungan Kuat Lentur Balok Kontrol (BK)



Gambar 5. Desain Pengujian Kuat Lentur Balok Kontrol (BK)

Penyelesaian

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

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

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

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

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

$$M_{\max p} = 6,50 \text{ kNm}$$

$$RAV = ?$$

$$\Sigma MB = 0$$

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

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

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

$$RAV = \frac{P \times 0,45}{0,45}$$

$$RAV = P$$

$$MC = ?$$

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

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

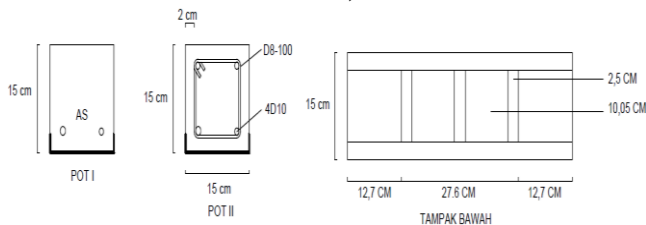
$$6,50 = P \times 0,15$$

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

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

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa beban maksimum yang dapat di pikul oleh balok beton bertulang tanpa perkuatan yaitu 86,630 kNm.

### Analisis Perhitungan Kuat Lentur Balok Uji (BU 1) Memiliki Ketebalan 2 mm, Lebar 2,5 cm Dan Jarak Antar Pelat 10,05 cm



Gambar 6. Desain Pengujian Kuat Lentur Balok Uji 1 (BU 1) Memiliki Ketebalan 2 Mm, Lebar 2,5 Cm Dan Jarak Antar Pelat 10,05 Cm

#### Penyelesaian

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

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

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

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

$$T_s + T_f = C$$

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

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

$$a = 45,54$$

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

$$= 53,58$$

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

$$T_s + T_f = C$$

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

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

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

$$c = 78,44$$

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

$$= 66,67$$

Sehingga,

$$M_n = As \times f_y \times (d - a/2) + Af \times e_f \times E_f \times (hf - a/2)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$0,45^2 \text{ m}$$

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

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

$$M_u = 1,4 M_{\max} + 1,4 M_{\max p}$$

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

$$1,4 M_{\max p} = 119,18 - 0,033488438$$

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

$$M_{\max p} = 85,11 \text{ kNm}$$

$$RAV = ?$$

$$\Sigma MB = 0$$

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

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

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

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

$$RAV = P$$

$$MC = ?$$

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

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

$$85,11 = P \times 0,15$$

$$P = 567,3719498 \text{ kNm}$$

$$\text{total} = 1134,744 \text{ kNm}$$

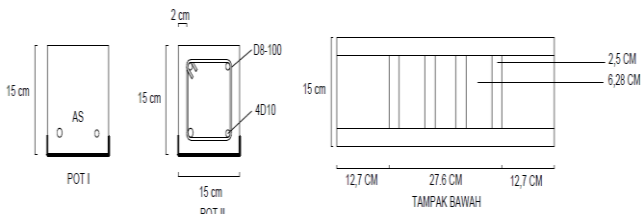
$$P_{\text{perkuatan}} = 1134,744 / \text{Jarak Pelat Baja}$$

$$= 1134,744 / 10,05$$

$$= 112,910 \text{ kNm}$$

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa beban maksimum yang dapat di pikul oleh balok beton bertulang dengan perkuatan pelat baja dengan ukuran 2,5 cm jarak 10,05 yaitu 112,910 kNm

**Analisis Perhitungan Kuat Lentur Balok Uji (BU 2) Memiliki Ketebalan 2 mm, Lebar 2,5 cm dan Jarak Antar Pelat 6,28 cm**



Gambar 7. Gambar 8. Desain Pengujian Kuat Lentur Balok Uji 2 (BU 2) Memiliki Ketebalan 2 mm, Lebar 2,5 cm dan Jarak Antar Pelat 6,28 cm

**Penyelesaian**

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

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.

$$T_s + T_f = C$$

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

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

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

$$c = 78,44$$

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

$$= 66,67$$

Sehingga,

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

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

$$0,02 \times 200000 \times (152 - 66,67/2)$$

$$= 101304358,2 \text{ knm}$$

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

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

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

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

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

$$M_u = 1,4 M_{\max} + 1,4 M_{\max p}$$

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

$$1,4 M_{\max p} = 119,18 - 0,033488438$$

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

$$M_{\max p} = 85,11 \text{ kNm}$$

$$RAV = ?$$

$$\Sigma MB = 0$$

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

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

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

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

$$RAV = P$$

$$MC = ?$$

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

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

$$85,11 = P \times 0,15$$

$$P = 567,3719498 \text{ kNm}$$

$$\text{total} = 1134,744 \text{ kNm}$$

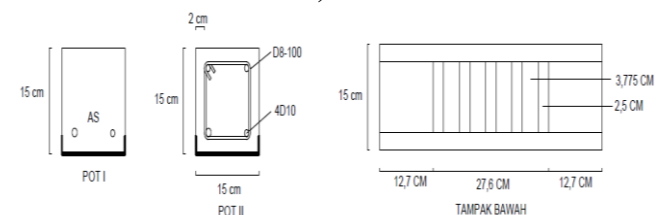
$$P_{\text{perkuatan}} = 1134,744 / \text{Jarak Pelat Baja}$$

$$= 1134,744 / 6,28$$

$$= 180,692 \text{ kNm}$$

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa beban maksimum yang dapat di pikul oleh balok beton bertulang dengan perkuatan pelat baja dengan ukuran 2,5 cm jarak 6,28 yaitu 180,692 kNm.

**Analisis Perhitungan Kuat Lentur Balok Uji (BU 3) Memiliki Ketebalan 2 mm, Lebar 2,5 cm dan Jarak Antar Pelat 3,775 cm**



Gambar 9. Desain Pengujian Kuat Lentur Balok Uji 3 (BU 2) Memiliki Ketebalan 2 mm, Lebar 2,5 cm dan Jarak Antar Pelat 3,775 cm

**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 iijinkan.

$$T_s + T_f = C$$

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

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

$$a = 45,54$$

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

$$= 53,58$$

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

$$T_s + T_f = C$$

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

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

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

$$c = 78,44$$

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

$$= 66,67$$

Sehingga,

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

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

$$0,02 \times 200000 \times (152 - 66,67/2)$$

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

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

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

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

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

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

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

$$0,45^2 \text{ m}$$

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

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

$$M_u = 1,4 M_{\max} + 1,4 M_{\max p}$$

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

$$1,4 M_{\max p} = 119,18 - 0,033488438$$

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

$$M_{\max p} = 85,11 \text{ kNm}$$

$$RAV = ?$$

$$\Sigma MB = 0$$

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

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

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

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

$$RAV = P$$

$$MC = ?$$

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

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

$$85,11 = P \times 0,15$$

$$P = 567,3719498 \text{ kNm}$$

$$\text{total} = 1134,744 \text{ kNm}$$

$$P_{\text{perkuatan}} = 1134,744 / \text{Jarak Pelat Baja}$$

$$= 1134,744 / 3,775$$

$$= 300,594 \text{ kNm}$$

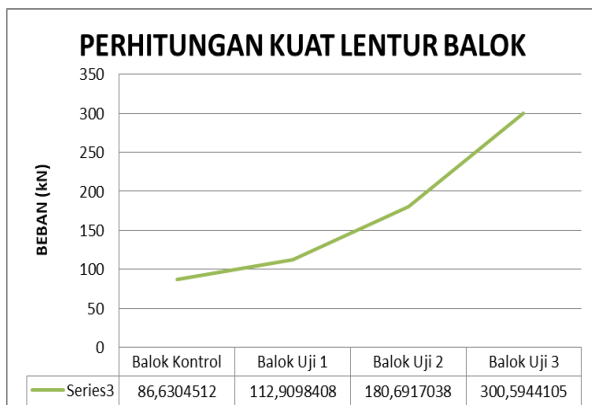
Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa beban maksimum yang dapat di pikul oleh balok beton bertulang dengan perkuatan pelat baja dengan ukuran 2,5 cm jarak 3,775 yaitu 300,594 kNm

### Hasil Rekapulasi Analisis Perhitungan Kuat Lentur Balok

Tabel 1. Hasil P erhitungan Analisis Pengujian Kuat Lentur Balok

Benda Uji	Jarak Antar Pelat (cm)	P (kNm)	Persentase %
Balok Kontrol		86,63	0%
Balok Uji 1	10,05	112,90	30,34%
Balok Uji 2	6,28	180,69	108,58%
Balok Uji 3	3,775	300,59	246,98%

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai kuat lentur pada balok ketika diberi tambahan perkuatan menggunakan pelat baja. Perubahan nilai tersebut pada balok beton bertulang tanpa penambahan perkuatan diperoleh nilai kuat lenturnya sebesar 86,630 kNm, kemudian untuk balok beton bertulang dengan penambahan perkuatan pelat baja dengan ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 10,05 cm diperoleh nilai kuat lentur sebesar 112,910 kNm, penambahan perkuatan pelat baja dengan ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 6,28 cm diperoleh nilai kuat lentur sebesar 180,692 kNm, penambahan perkuatan pelat baja dengan ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 3,775 cm diperoleh nilai kuat lentur sebesar 300,594 kNm. Grafik dari nilai perhitungan kuat lentur pada balok dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 10. Grafik Line Pengujian Kuat Lentur Pada Balok Beton Bertulang

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data mengenai perkuatan balok beton bertulang dengan perkuatan pelat baja yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan pelat baja sebagai perkuatan balok beton bertulang dengan memiliki ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 10,05 cm diperoleh nilai kuat lentur sebesar 112,910 kNm.
2. Penambahan pelat baja sebagai perkuatan balok beton bertulang dengan memiliki ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 6,28 cm diperoleh nilai kuat lentur sebesar 180,692 kNm.
3. Penambahan pelat baja sebagai perkuatan balok beton bertulang dengan memiliki ketebalan 2 mm, lebar 2,5 cm dan jarak antar pelat 3,775 cm diperoleh nilai kuat lentur sebesar 300,594 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>
- Juliafad, E., & Melinda, A. P. (2019). *Assessment of Reinforced Concrete Building for Disaster Reduction Strategy in Padang City, West Sumatra, Indonesia*. MATEC Web of Conferences, 258(DE), 03007.

<https://doi.org/10.1051/mateconf/201925803007>

- Mulyadi. (2018). *Pengaruh Penggunaan Carbon Fibre Sheet Terhadap Kekakuan Pada Balok Beton Bertulang*. Genta Mulia, 9(1), 89–98.
- Setiyawan, C. H. (2016). *Kapasitas lentur balok beton tulangan bambu petung vertikal dengan takikan sejajar tipe "u" lebar 1 cm dan 2 cm pada tiap jarak 5 cm*. 288–295. <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/51066>
- SNI 8399:2017. (2017). *Profil Rangka Baja Ringan*. 26.
- Uii, H. (2018). *Prosiding Kolokium Program Studi Teknik Sipil (KPSTS) FTSP UII 2018, November 2018, ISSN 9-772477-5B3159.00(November), 1–8.*