

# PENGARUH LETAK TULANGAN DUA LAPIS PADA DAERAH TEKAN BALOK LENTUR

**Dhevi Yuniar Putri**

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[dhevi.18075@mhs.unesa.ac.id](mailto:dhevi.18075@mhs.unesa.ac.id)

**Bambang Sabariman**

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[bambangabariman@unesa.ac.id](mailto:bambangabariman@unesa.ac.id)

## Abstrak

Beton bertulang merupakan komponen struktur beton yang hanya menahan gaya tekan dan diperkuat dengan baja tulangan untuk menahan gaya tarik. Balok dapat mengalami retak jika beban yang diterima melebihi kekuatan teriknya. Baja tulangan yang berfungsi sebagai komponen utama dalam menahan gaya tarik maka harus diperhatikan dalam perencanaannya. Oleh karena itu pada perencanaan ini, selimut beton sebagai pelindung tulangan terhadap cuaca dan jarak tuangan lapis kedua dapat diperbesar atau diperkecil yang dapat menyebabkan perubahan kekuatan pada balok. Pada perencanaan struktur gedung beton bertulang, data perencanaan yang diperlukan untuk analisis struktur menggunakan aplikasi komputer adalah spesifikasi bangunan gedung beton bertulang dan seluruh beban kerja struktur. Hasil analisis gedung perkantoran lima lantai yang berupa momen dan gaya geser yang dihitung menggunakan aplikasi komputer yang selanjutnya akan dilakukan perencanaan desain balok. Hasil dari perhitungan desain balok akan dilakukan variasi selimut beton dan letak tulangan dua lapis dengan perhitungan analisis balok bertulangan rangkap. Perencanaan ketebalan selimut beton dan letak tulangan dua lapis akan mempengaruhi kapasitas beban yang dapat dipikul oleh balok. Semakin tebal selimut beton dan semakin jauh letak tulangan dua lapis maka kekuatan balok semakin menurun yang mengakibatkan momen maksimum yang dapat dipikul oleh balok juga semakin menurun. Dalam control keruntuhan, hasil keruntuhan yang terjadi pada seluruh desain adalah keruntuhan tarik (*under reinforced*). Rekomendasi dari seluruh variasi selimut beton dan letak tulangan dua lapis pada balok B1 yaitu desain 1 yang menggunakan tebal selimut 30 mm dengan jarak tulangan dua lapis 30 mm sudah terpenuhi.

**Kata Kunci: Momen Tahanan, Momen Ultimit, Selimut Beton, Tulangan Dua Lapis, Tulangan Tarik**

## Abstract

*Reinforced concrete is a component of concrete structure that only resists compressive force and is reinforced with reinforcing steel to resist tensile forces. The beam may be subject to cracking if the load received exceeds its scorching strength. Reinforcing steel that functions as the main component in resisting tensile forces must be considered in its planning. Therefore, in this planning the concrete covers as a reinforcement protection against the weather and the distance of second layer of casting can be enlarged or reduced which can cause a change in strength in the beam. In the structural planning of reinforced concrete buildings, the planning data required for structural analysis using SAP2000 are specifications of reinforced concrete buildings and entire workload of the structure. The results of the analysis five story office building in the form of moments and sliding forces are calculated using the SAP2000 application, which will be carried out beam design planning. The results of calculation beam design will be carried out a variety of concrete covers and the location of two-layer reinforcement with calculation of the analysis double reinforced beams. Planning of the concrete covers and location of two-layer reinforcement will affect to load capacity that can be carried by the beam. The thicker of concrete covers and the farther of two-layer reinforcement is located, the strength of the beam decreases, resulting in the maximum moment that also make beam carry decreases. In collapse control, the result of collapse that occurs in the entire design is an under reinforced collapse. The recommendation of all variations of concrete covers and the location of two-layer reinforcement on the B1 beam that design 1 which uses concrete covers 30 mm with a distance two layers of reinforcement 30 mm has been affixed.*

**Keywords: Concrete Covers, Resistance Moment, Tensile Reinforcement, Two-Layer Reinforcement, Ultimit Moment**

## PENDAHULUAN

Balok merupakan elemen struktural yang menerima gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbu yang mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya (Dipohusodo, 1994). Kerusakan pada struktur balok beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser. Lentur pada balok beton ditahan oleh tulangan lentur atau tulangan memanjang yang biasanya mempunyai kelemahan terhadap kuat tarik dan bersifat getas/*brittle*. Oleh karena itu, beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kekuatan tariknya. Nilai kuat

tariknya hanya berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1994).

Material beton mempunyai kemampuan yang baik di dalam menahan gaya tekan tetapi lemah di dalam menahan gaya tarik, oleh karenanya dipasang tulangan baja guna menambah kemampuan dalam menahan gaya tarik pada daerah yang mengalami tarik (Yohanes, 2018). Perencanaan dan pelaksanaan tata letak tulangan horizontal ataupun vertikal pada beton bertulang merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan. Karena peran baja tulangan sangat penting dalam menahan gaya tarik, maka baja tulangan perlu dilindungi dengan selimut beton.

Selimut beton adalah pelindung tulangan terhadap cuaca atau efek lainnya diukur dari permukaan paling luar tulangan sengkang dengan sisi terluar beton (SNI 2847:2019 Pasal R20.6.1.1). Pada tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung diatur mengenai tebal minimum selimut beton yang diperlukan untuk perlindungan tulangan.

Pada pelaksanaan dilapangan sering sekali persyaratan tebal selimut beton ini kurang diperhatikan, khususnya pada pembangunan rumah tinggal yang kurang memperhatikan persyaratan teknis. Pada saat terjadi gempa bumi sering sekali kegagalan balok beton bertulang dimulai dari lepasnya selimut beton yang mengakibatkan balok mengalami lendutan yang besar dan terjadi korosi karena beton mengalami rompal (*spalling*) sehingga terbuka terhadap udara luar.

Besarnya momen nominal dari analisis tegangan balok beton bertulang tergantung dari tinggi efektif balok yaitu jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, sehingga lapisan selimut beton dibawah tulangan tarik secara teoritis tidak mempengaruhi kuat lentur balok beton bertulang. Tebal selimut beton berpengaruh terhadap pembelahan (*splitting*) permukaan beton yang berada di bawah tulangan tarik akibat adanya aksi baji (*wedging*). Beton yang berada dibawah tulangan tarik ini dapat terbelah menjadi dua atau tiga bagian yang dapat menyebabkan kegagalan pada balok beton bertulang.

Hal tersebut dapat berpengaruh juga terhadap perubahan letak tulangan dua lapis karena hal ini sangat mempengaruhi besar kecilnya momen nominal yang diterima balok. Solusi yang diberikan berdasarkan permasalahan diatas adalah dengan merubah letak tulangan lapis kedua tanpa merubah rasio tulangannya. Tetap mempertahankan kualitas baja tulangan dengan merubah tebal selimut beton.

Memperhitungkan kekuatan momen tahanan penampang pada permasalahan letak tulangan dua lapis dan selimut beton pada balok lentur. Dalam penelitian ini akan melihat seberapa besar pengaruh perubahan tata letak tulangan dua lapis dan selimut beton terhadap kuat lentur balok beton bertulang dengan jumlah dan dimensi tulangan balok yang sama. Balok beton yang digunakan sebagai acuan yaitu Balok B1 pada perencanaan proyek PT. DYP.

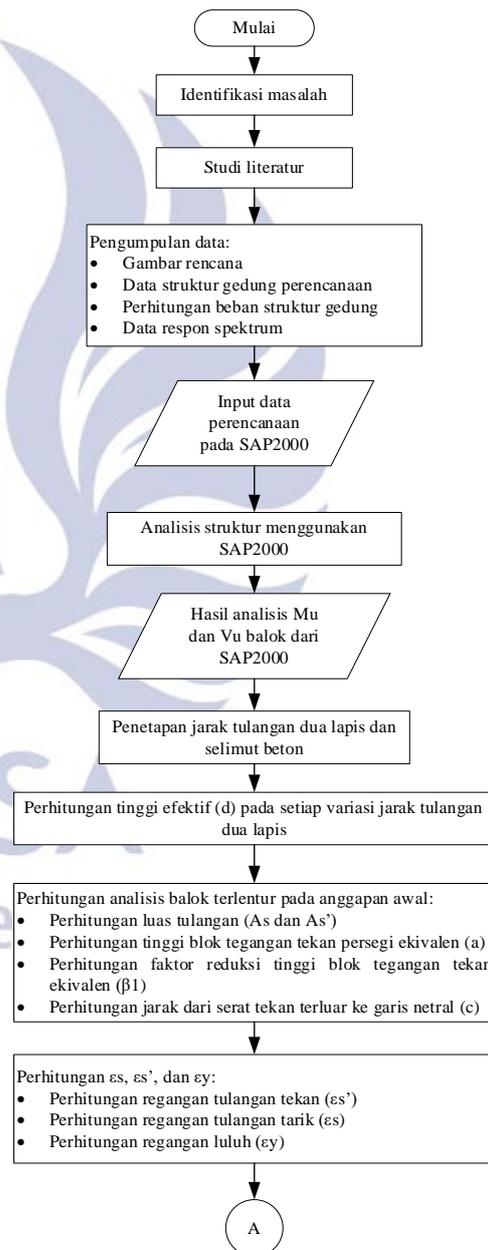
Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi hubungan antara perubahan letak tulangan dua lapis dan tebal selimut beton terhadap momen tahanan yang diterima oleh balok. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah menghitung pengaruh pada aspek kekuatan balok bukan pada aspek ekonomi. Dimensi balok yang digunakan tetap yaitu 350x700 mm sesuai dengan dimensi balok B1 yang digunakan pada proyek PT. DYP. Tulangan utama yang digunakan adalah tulangan berdiameter 19 mm dan tulangan sengkang berdiameter 10 mm.

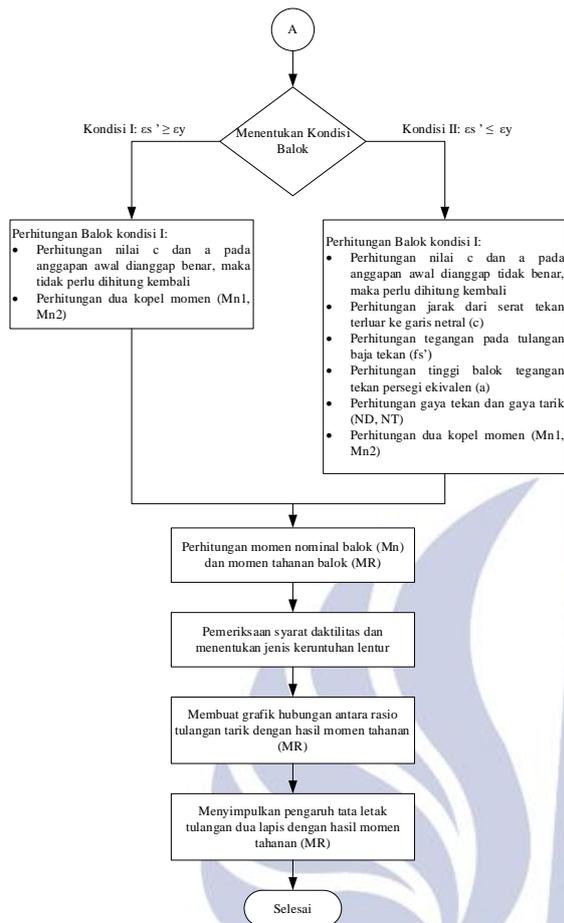
Penelitian ini tidak dilakukan pengujian fisik. Jenis keruntuhan tarik (*under reinforced*). Acuan yang digunakan hanya pada penampang balok B1 pada proyek PT. DYP daerah tumpuan. Penelitian yang akan dilakukan mengacu pada penelitian sebelumnya yang berjudul “Pemodelan dan Analisis Perilaku Balok Beton Bertulang yang Berbeda Diameter Akibat Variasi Tata Letak Tulangannya” oleh Yohanes Laka Suku (2018).

## METODE

### Bagan Alir

Pada proses penelitian ini akan dilaksanakan menjadi beberapa tahapan sesuai dengan bagan alir berikut:





Gambar 1. Bagan Alir Penelitian (Sumber: Data Penelitian)

### Penyajian Data

Data perencanaan struktur gedung beton bertulang yang digunakan berdasarkan data gedung perkantoran dengan 5 lantai yang terletak di Kabupaten Sidoarjo. Beban mati dan beban hidup yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Beban Mati dan Beban Hidup Pelat

Jenis Beban	Berat (kg/m <sup>2</sup> )
Berat sendiri pelat	360
Rangka dan plesteran semen (plafond)	72
Gypsumboard per mm	7,2
Keramik 19 mm dan mortar 13 mm	77
<b>Total Beban Mati</b>	<b>516,2</b>
<b>Beban Hidup</b>	<b>240</b>

Sumber: Data Penelitian dan SNI-1727-2020

Berdasarkan Tabel 2 beban sendiri pelat dihitung dari volume pelat dikali dengan berat jenis beton yaitu 2400 kg/m<sup>3</sup>. Beban hidup yang digunakan yaitu 240 kg/m<sup>2</sup> karena jenis bangunan perkantoran.

Data dari PT. DYP adalah sebagai berikut:

Lokasi Gedung = Sidoarjo  
 Jumlah Lantai = 5 Lantai  
 Fungsi Gedung = Perkantoran  
 Tinggi Gedung = 22,95 m  
 Lebar Gedung = 26,00 m  
 Panjang Gedung = 71,50 m  
 Tinggi Tiap Lantai:

1<sup>st</sup> floor = 4,95 m

2<sup>nd</sup> – 5<sup>th</sup> floor = 4,00 m

Mutu Bahan:

Mutu Beton = 29,50 Mpa (K350)

Mutu Baja Ulir = 390 Mpa

Mutu Baja Polos = 240 Mpa

Mutu Wiremesh = 490 Mpa (U50)

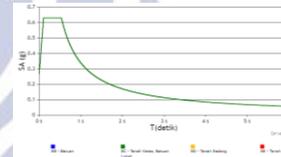
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Dasar Perencanaan

Berikut merupakan parameter yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan:

1. Perhitungan Momen Ultimate Menggunakan aplikasi komputer

Perencanaan beban gempa yang digunakan dalam perhitungan *software* tersebut yaitu sesuai dengan grafik hasil respon spektrum daerah Sidoarjo dengan koordinat lintang -7,37487264 dan koordinat bujur 112,731167. Berikut merupakan grafik hasil dari analisis spektrum respon desain berdasarkan garis bujur dan garis lintang lokasi gedung:

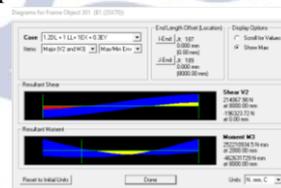


Gambar 1 Grafik Respon Spektrum

(Sumber:

[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_a\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_a_2011/))

Berikut hasil dari perhitungan menggunakan aplikasi komputer:



Gambar 2 Grafik Dan Besarnya Beban Yang Diterima Balok B1

(Sumber: Output SAP2000 Penulis)

Berdasarkan Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa nilai momen ultimit pada B1 adalah 462,632 kNm dengan gaya geser sebesar 214,068 kN.

### Perhitungan Desain Tulangan Penampang Balok

Berikut merupakan hasil analisis aplikasi SAP2000 yang ditabulasikan:

Tabel 2 Dimensi Balok Dan Momen Yang Bekerja

Data Perencanaan	Nilai	Satuan
b	350	mm
h	700	mm
Selimit beton	30	mm
Tulangan utama	D19	mm
Sengkang	Ø10	mm
E	200000	Mpa
Mu tumpuan	462,632	kNm
Vu	214,068	kN

Sumber: Data Penelitian

1. Perhitungan Rasio Tulangan Longitudinal

Berikut perhitungan rasio tulangan dengan menggunakan tulangan ulir D19 mm:

$$R_n = \frac{462631729}{0,9 \times 350 \times 632,125^2} = 3,676$$

$$m = \frac{390}{0,85 \times 29,5} = 15,553$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{15,553} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,553 \times 3,676}{390}}\right) = 0,0102$$

2. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Tarik

Berikut merupakan perhitungan kebutuhan tulangan tarik dengan menggunakan tulangan ulir D19 mm:

$$A_s = 0,0102 \times 350 \times 632,125 = 2265,498 \text{ mm}^2$$

$$A_s D_{19} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 = 283,385 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{2265,498}{283,385} = 8 \text{ buah}$$

$$A_{spakai} = 8 \times 283,385 = 2267,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{spakai} > A_{perlu} \dots\dots\dots \text{Ok.}$$

3. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Tekan

Berikut merupakan perhitungan kebutuhan tulangan pada daerah tekan dengan diameter tulangan yang digunakan adalah D19 mm:

$$A_s = 0,5 \times 2267,08 = 1133,54 \text{ mm}^2$$

$$A_s D_{19} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 = 283,385 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{1133,54}{283,385} = 4 \text{ buah}$$

4. Kontrol Kekuatan Lentur

Berikut merupakan perhitungan untuk melakukan control kekuatan lentur pada balok:

$$a = \frac{2267,08 \times 390}{0,85 \times 29,5 \times 350} = 100,745 \text{ mm}$$

$$c = \frac{100,745}{0,84} = 119,934$$

$$M_n = 2267,08 \times 390 \times \frac{632,125 - 100,745}{2} = 514363094,6 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 514363094,6 = 462926785,11 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$462926785,11 \text{ Nmm} > 462631729 \dots\dots\dots \text{Ok.}$$

5. Perhitungan Tulangan Geser

Berikut merupakan perhitungan kebutuhan tulangan geser pada balok beton bertulangan:

a. Penulangan Geser

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{29,5} \times 350 \times 632,125 = 200276,858 \text{ N}$$

$$V_c = 0,75 \times 200276,858 = 150207,643 \text{ N}$$

b. Batas Spasi

$$S_{max} = \frac{532,125}{2} = 316,063 \text{ mm}$$

Spasi sengkang tidak boleh melebihi dari 4 poin berikut:

$$I = \frac{532,125}{3} = 158,031 \text{ mm}$$

$$II = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

$$III = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$$

$$IV = 300 \text{ mm}$$

Berdasarkan pernyataan diatas digunakan spasi sebesar 100 mm

c. Tulangan Geser Minimum

$$A_{vmin} = 0,35 \times 350 \times \frac{100}{240} = 51,042 \text{ mm}^2$$

$$A_s \emptyset 10 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 = 78,7 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{51,042}{78,7} = 1$$

$$A_{vpakai} = 78,7 \text{ mm}^2$$

6. Kontrol Kuat Geser

Berikut merupakan perhitungan control tulangan geser pada balok beton bertulang:

a. Kuat Geser

$$V_s = 78,7 \times 240 \times \frac{632,125}{100} = 119395,77 \text{ N}$$

$$V_{smax} = 0,66 \times \sqrt{29,5} \times 350 \times 632,125 = 793096,356 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 119395,77 = 89546,831 \text{ N}$$

b. Geser Nominal

$$V_n = 200276,858 + 119395,77 = 993373,214 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 993373,214 = 745029,910 \text{ N}$$

c. Kontrol Kuat Geser

$$V_u < \phi V_n$$

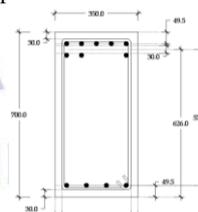
$$214067,98 \text{ N} < 745029,910 \text{ N} \dots\dots\dots \text{Ok.}$$

**Variasi Tata Letak Dan Selimut Balok Beton Bertulang**

Berdasarkan hasil perhitungan desain tulangan pada B1 balok beton bertulang yang digunakan pada proyek PT. DYP, maka dilakukan variasi tebal selimut beton dan jarak tulangan lapis kedua pada daerah tekan. Berikut merupakan variasi desain yang digunakan:

1. Balok Desain 1

Pada balok desain 1 menggunakan selimut beton 30 mm dan d1' (jarak tulangan lapis kedua) 30 mm. Desain balok 1 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 3 Desain Balok 1 (Sumber: Data Penelitian)

Gambar 5 merupakan gambar desain balok (B1) dengan dimensi 350 x 700 mm. Berikut merupakan tabulasi spesifikasi balok desain 1:

Tabel 3 Spesifikasi Balok Desain 1

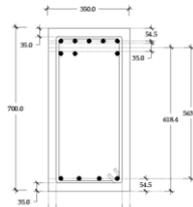
Data Balok	Nilai	Satuan
b	350	mm
h	700	mm
Tulangan Atas	8 D19	
Tulangan Bawah	4 D19	
Sengkang	D10 - 100	

$\rho$	0,0102	
Selimit Beton	30	mm
$d'$	49,5	mm
$d$	626	mm
$d_1'$	30	mm

Sumber: Data Penelitian

2. Balok Desain 2

Pada balok desain 2 menggunakan selimit beton 35 mm dan  $d_1'$  (jarak tulangan lapis kedua) 35 mm. Desain balok 2 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 4 Desain Balok 2  
(Sumber: Data Penelitian)

Gambar 6 merupakan gambar desain balok (B1) variasi ke dua dengan dimensi 350 x 700 mm. Berikut merupakan tabulasi spesifikasi balok desain 2:

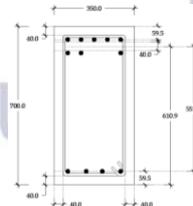
Tabel 4 Spesifikasi Balok Desain 2

Data Balok	Nilai	Satuan
b	350	mm
h	700	mm
Tulangan Atas	8 D19	
Tulangan Bawah	4 D19	
Sengkang	D10 - 100	
$\rho$	0,0102	
Selimit Beton	35	mm
$d'$	54,5	mm
$d$	625,25	mm
$d_1'$	35	mm

Sumber: Data Penelitian

3. Balok Desain 3

Pada balok desain 3 menggunakan selimit beton 40 mm dan  $d_1'$  (jarak tulangan lapis kedua) 40 mm. Desain balok 3 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 5 Desain Balok 3  
(Sumber: Data Penelitian)

Gambar 7 merupakan gambar desain balok (B1) variasi ke tiga dengan dimensi 350 x 700 mm. Berikut merupakan tabulasi spesifikasi balok desain 3:

Tabel 5 Spesifikasi Balok Desain 3

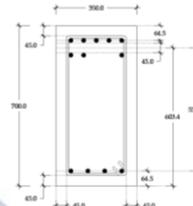
Data Balok	Nilai	Satuan
b	350	mm
h	700	mm
Tulangan Atas	8 D19	
Tulangan Bawah	4 D19	

Sengkang	D10 - 100	
Selimit Beton	40	mm
$\rho$	0,0102	
$d'$	59,5	mm
$d$	618,38	mm
$d_1'$	40	mm

Sumber: Data Penelitian

4. Balok Desain 4

Pada balok desain 4 menggunakan selimit beton 45 mm dan  $d_1'$  (jarak tulangan lapis kedua) 45 mm. Desain balok 4 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 6 Desain Balok 4  
(Sumber: Data Penelitian)

Gambar 8 merupakan gambar desain balok (B1) variasi ke empat dengan dimensi 350 x 700 mm. Berikut merupakan tabulasi spesifikasi balok desain 4:

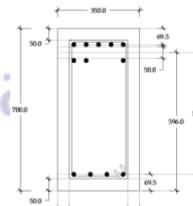
Tabel 6 Spesifikasi Balok Desain 4

Data Balok	Nilai	Satuan
b	350	mm
h	700	mm
Tulangan Atas	8 D19	
Tulangan Bawah	4 D19	
Sengkang	D10 - 100	
$\rho$	0,0102	
Selimit Beton	45	mm
$d'$	64,5	mm
$d$	613,38	mm
$d_1'$	45	mm

Sumber: Data Penelitian

5. Balok Desain 5

Pada balok desain 5 menggunakan selimit beton 50 mm dan  $d_1'$  (jarak tulangan lapis kedua) 50 mm. Desain balok 5 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 7 Desain Balok 5  
(Sumber: Data Penelitian)

Gambar 9 merupakan gambar desain balok (B1) variasi ke lima dengan dimensi 350 x 700 mm. Berikut merupakan tabulasi spesifikasi balok desain 5:

Tabel 7 Spesifikasi Balok Desain 5

Data Balok	Nilai	Satuan
b	350	mm
h	700	mm
Tulangan Atas	8 D19	
Tulangan Bawah	4 D19	

Sengkang	D10 - 100	
$\rho$	0,0102	
Selimut Beton	50	mm
$d'$	69,5	mm
$d$	608,38	mm
$d_1'$	50	mm

Sumber: Data Penelitian

### Perhitungan Momen Tahanan Balok

#### 1. Analisis Titik Berat

##### a. Titik Berat Serat Tarik

Luas tulangan dihitung sama karena diameter tulangan pada seluruh desain sama:

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2$$

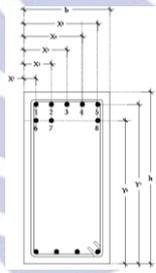
$$= 283,385 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 8 \times A$$

$$= 8 \times 283,385$$

$$= 2267,08 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pada serat tarik pada desain 1, desain 2, desain 3, desain 4, dan desain 5 sama yaitu 8 tulangan utama dengan diameter tulangan 19 mm. Berikut merupakan letak tulangan utama pada serat tarik:



Gambar 8 Letak Tulangan Pada Serat Tarik

(Sumber: Data Penelitian)

Berdasarkan Gambar 10 nilai  $X_1 = X_6$ , nilai  $X_2 = X_7$ , nilai  $X_5 = X_8$ , nilai  $Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y_4 = Y_5$ , nilai  $Y_6 = Y_7 = Y_8$ . Berikut merupakan titik berat tulangan pada serat tarik dilihat berdasarkan Gambar 10 adalah sebagai berikut:

Tabel 8 Titik Berat Serat Tarik

Desain 1			
$X_1$	49,50 mm	$Y_1$	650,50 mm
$X_2$	112,30 mm	$Y_2$	650,50 mm
$X_3$	175 mm	$Y_3$	650,50 mm
$X_4$	237,80 mm	$Y_4$	650,50 mm
$X_5$	300,50 mm	$Y_5$	650,50 mm
$X_6$	49,50 mm	$Y_6$	604,50 mm
$X_7$	112,30 mm	$Y_7$	604,50 mm
$X_8$	300,55 mm	$Y_8$	604,50 mm
Desain 2			
$X_1$	54,50 mm	$Y_1$	645,50 mm
$X_2$	114,75 mm	$Y_2$	645,50 mm
$X_3$	175 mm	$Y_3$	645,50 mm
$X_4$	235,25 mm	$Y_4$	645,50 mm
$X_5$	295,50 mm	$Y_5$	645,50 mm
$X_6$	54,50 mm	$Y_6$	591,50 mm

$X_7$	114,75 mm	$Y_7$	591,50 mm
$X_8$	295,50 mm	$Y_8$	591,50 mm
Desain 3			
$X_1$	59,50 mm	$Y_1$	640,50 mm
$X_2$	117,30 mm	$Y_2$	640,50 mm
$X_3$	175 mm	$Y_3$	640,50 mm
$X_4$	232,80 mm	$Y_4$	640,50 mm
$X_5$	290,50 mm	$Y_5$	640,50 mm
$X_6$	59,50 mm	$Y_6$	581,50 mm
$X_7$	117,30 mm	$Y_7$	581,50 mm
$X_8$	290,50 mm	$Y_8$	581,50 mm
Desain 4			
$X_1$	64,50 mm	$Y_1$	635,50 mm
$X_2$	119,75 mm	$Y_2$	635,50 mm
$X_3$	175 mm	$Y_3$	635,50 mm
$X_4$	230,25 mm	$Y_4$	635,50 mm
$X_5$	285,50 mm	$Y_5$	635,50 mm
$X_6$	64,50 mm	$Y_6$	571,50 mm
$X_7$	119,75 mm	$Y_7$	571,50 mm
$X_8$	285,50 mm	$Y_8$	571,50 mm
Desain 5			
$X_1$	69,50 mm	$Y_1$	630,50 mm
$X_2$	122,30 mm	$Y_2$	630,50 mm
$X_3$	175 mm	$Y_3$	630,50 mm
$X_4$	227,80 mm	$Y_4$	630,50 mm
$X_5$	280,50 mm	$Y_5$	630,50 mm
$X_6$	69,50 mm	$Y_6$	561,50 mm
$X_7$	122,30 mm	$Y_7$	561,50 mm
$X_8$	280,50 mm	$Y_8$	561,50 mm

Sumber: Data Penelitian

$$X = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i}$$

$$= \frac{A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_4 X_4 + A_5 X_5 + A_6 X_6 + A_7 X_7 + A_8 X_8}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8}$$

$$= \frac{2(283,385 \times 49,5) + 2(283,385 \times 112,3) + (283,385 \times 175) + (283,385 \times 237,8) + 2(283,385 \times 300,5) + 2(283,385 \times 49,5) + 2(283,385 \times 112,3) + (283,385 \times 175) + (283,385 \times 237,8) + 2(283,385 \times 300,5)}{8(283,385)}$$

$$= \frac{378957,59}{2267,08}$$

$$= 167,156 \text{ mm}$$

Nilai X pada serat tarik berdasarkan desain 1, desain 2, desain 3, desain 4, desain 5 adalah sebagai berikut:

Tabel 9 Nilai X Pada Serat Tarik

Jenis Desain	X (mm)
Desain 1	167,156
Desain 2	167,469
Desain 3	167,781
Desain 4	168,094
Desain 5	168,406

Sumber: Data Penelitian

$$Y = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i}$$

$$= \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2 + A_3 Y_3 + A_4 Y_4 + A_5 Y_5 + A_6 Y_6 + A_7 Y_7 + A_8 Y_8}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8}$$

$$= \frac{5(283,385 \times 650,5) + 3(283,385 \times 604,5)}{8(283,385)}$$

$$= \frac{1435628,41}{2267,08}$$

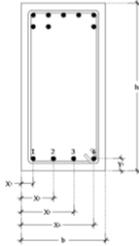
$$= 632,125 \text{ mm (nilai d yang diambil)}$$

Tabel 10 Nilai d Pada Tiap Desain

Jenis Desain	Y = d (mm)
Desain 1	632,125
Desain 2	625,250
Desain 3	618,375
Desain 4	613,375
Desain 5	608,375

Sumber: Data Penelitian

b. Titik Berat Serat Tekan



Gambar 9 Letak Tulangan Pada Serat Tekan  
(Sumber: Data Penelitian)

Berdasarkan Gambar 11 nilai  $Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y_4$ . Berikut merupakan titik berat tulangan pada serat tekan pada desain 1, desain 2, desain 3, desain 4, dan desain 5 dilihat berdasarkan Gambar 11 adalah sebagai berikut:

Tabel 11 Titik Berat Serat Tekan

Desain 1			
X <sub>1</sub>	49,50 mm	Y <sub>1</sub>	49,50 mm
X <sub>2</sub>	133,17 mm	Y <sub>2</sub>	49,50 mm
X <sub>3</sub>	216,83 mm	Y <sub>3</sub>	49,50 mm
X <sub>4</sub>	300,50 mm	Y <sub>4</sub>	49,50 mm
Desain 2			
X <sub>1</sub>	54,50 mm	Y <sub>1</sub>	54,50 mm
X <sub>2</sub>	134,83 mm	Y <sub>2</sub>	54,50 mm
X <sub>3</sub>	215,17 mm	Y <sub>3</sub>	54,50 mm
X <sub>4</sub>	295,50 mm	Y <sub>4</sub>	54,50 mm
Desain 3			
X <sub>1</sub>	59,50 mm	Y <sub>1</sub>	59,50 mm
X <sub>2</sub>	136,50 mm	Y <sub>2</sub>	59,50 mm
X <sub>3</sub>	213,50 mm	Y <sub>3</sub>	59,50 mm
X <sub>4</sub>	290,50 mm	Y <sub>4</sub>	59,50 mm
Desain 4			
X <sub>1</sub>	64,50 mm	Y <sub>1</sub>	64,50 mm
X <sub>2</sub>	138,17 mm	Y <sub>2</sub>	64,50 mm
X <sub>3</sub>	211,83 mm	Y <sub>3</sub>	64,50 mm
X <sub>4</sub>	285,50 mm	Y <sub>4</sub>	64,50 mm
Desain 5			
X <sub>1</sub>	69,50 mm	Y <sub>1</sub>	69,50 mm
X <sub>2</sub>	143,17 mm	Y <sub>2</sub>	69,50 mm
X <sub>3</sub>	216,83 mm	Y <sub>3</sub>	69,50 mm
X <sub>4</sub>	280,50 mm	Y <sub>4</sub>	69,50 mm

Sumber: Data Penelitian

Berikut merupakan contoh perhitungan X pada serat tekan:

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i} \\
 &= \frac{A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_4 X_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \\
 &= \frac{(283,385 \times 49,5) + (283,385 \times 133,17) + (283,385 \times 216,83) + (283,385 \times 300,5)}{283,385 + 283,385 + 283,385 + 283,385}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{198369,5}{1133,54} \\
 &= 175 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai X pada serat tekan disemua desain adalah sebagai berikut:

Tabel 12 Nilai X Pada Serat Tekan

Jenis Desain	X (mm)
Desain 1	175
Desain 2	175
Desain 3	175
Desain 4	175
Desain 5	177,50

Sumber: Data Penelitian

Berikut merupakan contoh perhitungan d':

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i} \\
 &= \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2 + A_3 Y_3 + A_4 Y_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \\
 &= \frac{4(283,385 \times 49,50)}{4(283,385)} \\
 &= \frac{56110,23}{1133,54} \\
 &= 49,5 \text{ mm (nilai d' yang diambil)}
 \end{aligned}$$

Tabel 13 Nilai d' Pada Setiap Desain

Jenis Desain	Y = d' (mm)
Desain 1	49,50
Desain 2	54,50
Desain 3	59,50
Desain 4	64,50
Desain 5	69,50

Sumber: Data Penelitian

2. Analisis Balok Bertulangan Rangkap

a. Menentukan Garis Netral

1) Nilai Tinggi Balok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2267,08 \text{ mm}^2 \\
 A_s' &= 4 \times (1/4 \pi d^2) \\
 &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\
 &= 1133,54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Nilai  $A_s$  dan  $A_s'$  pada desain 1, desain 2, desain 3, desain 4 dan desain 5 sama dikarenakan jumlah tulangan yang digunakan sama.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 f_c') b} \\
 &= \frac{(2267,08 - 1133,54) 390}{(0,85 \times 29,5) 350} \\
 &= 50,372 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2) Faktor Reduksi Tinggi Balok Tegangan Tekan Ekuivalen.

Berdasarkan SNI 2847-2019,  $\beta_1$  dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7} \\
 &= 0,85 - \frac{0,05(29,5 - 28)}{7} \\
 &= 0,84
 \end{aligned}$$

3) Jarak Serat Tekan Terluar Kegaris Netral.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{50,372}{0,84} = 60,018 \text{ mm}$$

4) Pemeriksaan Regangan Tulangan

a) Pada Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \frac{c-d'}{c} (0,003) \\ &= \frac{60,018-49,50}{60,018} (0,003) \\ &= 0,000526 \end{aligned}$$

Tabel 14 Nilai Regangan Tulangan Tekan

Jenis Desain	$\epsilon_s'$
Desain 1	0,000526
Desain 2	0,000276
Desain 3	0,000026
Desain 4	-0,000224
Desain 5	-0,000474

Sumber: Data Penelitian

b) Pada Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} (0,003) \\ &= \frac{632,125-60,018}{60,018} (0,003) \\ &= 0,028597 \end{aligned}$$

Tabel 15 Regangan Pada Tulangan Tarik

Jenis Desain	$\epsilon_s$
Desain 1	0,028597
Desain 2	0,028253
Desain 3	0,027909
Desain 4	0,027659
Desain 5	0,027410

Sumber: Data Penelitian

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{390}{200000} = 0,00195$$

Karena  $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$  maka tulangan tarik telah meluluh tetapi tulangan tekan belum (kondisi II). Dengan demikian anggapan pada langkah awal tidak benar, maka diperlukan mencari garis netral dahulu.

b. Mencari Letak Garis Netral

Dengan menggunakan keseimbangan gaya horizontal dan beberapa substitusi, didapatkan persamaan untuk mencari garis netral (c). Berikut merupakan contoh perhitungan garis netral (c):

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (600 A_s' - A_s f_y) c - 600 d' A_s' = 0$$

$$7365,78125 c^2 - 204037,2 c - 33666138 = 0$$

Dari hasil perhitungan kalkulator didapatkan  $c = 82,861$  mm.

Berikut merupakan tabulasi nilai garis netral (c) dari seluruh desain:

Tabel 16 Nilai c Pada Setiap Variasi Desain

Jenis Desain	c (mm)
Desain 1	82,861
Desain 2	86,128
Desain 3	89,255
Desain 4	92,256
Desain 5	95,147

Sumber: Data Penelitian

Dengan nilai c, dapat digunakan untuk mencari nilai-nilai yang belum diketahui.

1) Tegangan Pada Tulangan Baja Tekan ( $f_s'$ )

Berikut merupakan contoh perhitungan tegangan pada tulangan baja tekan ( $f_s'$ ), yaitu:

$$f_s' = \frac{(c-d')}{c} (600)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{82,861 - 49,50}{82,861} (600) \\ &= 241,568 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 17 Nilai  $f_s'$  Pada Setiap Desain

Jenis Desain	$f_s'$ (MPa)
Desain 1	241,568
Desain 2	220,333
Desain 3	200,022
Desain 4	180,515
Desain 5	161,731

Sumber: Data Penelitian

$f_s' < f_y$  (anggapan yang digunakan benar)

2) Mencari Nilai  $N_D$  dan  $N_T$

Berikut merupakan contoh perhitungan a pada desain, yaitu:

$$a = \beta_1 c = 0,84 \times 82,861 = 69,544 \text{ mm}$$

Berikut merupakan tabulasi nilai a dari desain 1, desain 2, desain 3, desain 4, dan desain 5:

Tabel 18 Nilai a Pada Setiap Variasi Desain

Jenis Desain	a
Desain 1	69,544
Desain 2	72,286
Desain 3	74,910
Desain 4	77,429
Desain 5	79,856

Sumber: Data Penelitian

Berikut merupakan contoh perhitungan  $N_{D1}$ , yaitu:

$$\begin{aligned} N_{D1} &= (0,85 f_c') a b \\ &= (0,85 \times 29,5) \times 69,544 \times 350 \\ &= 610334,646 \text{ N} \\ &= 610,336 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berikut merupakan tabulasi nilai  $N_{D1}$  dari desain 1, desain 2, desain 3, desain 4, dan desain 5:

Tabel 19 Nilai  $N_{D1}$  Pada Setiap Variasi Desain

Jenis Desain	$N_{D1}$ (kN)
Desain 1	610,336
Desain 2	634,400
Desain 3	657,433
Desain 4	679,538
Desain 5	700,832

Sumber: Data Penelitian

Contoh perhitungan  $N_{D2}$  pada balok adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_{D2} &= A_s' f_s' \\ &= 1133,54 \times 241,568 \\ &= 273,827 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berikut merupakan tabulasi nilai  $N_{D2}$  dari desain 1, desain 2, desain 3, desain 4, dan desain 5:

Tabel 20 Nilai  $N_{D2}$  Pada Setiap Desain

Jenis Desain	$N_{D2}$ (kN)
Desain 1	273,827
Desain 2	249,756
Desain 3	226,733
Desain 4	204,621
Desain 5	183,328

Sumber: Data Penelitian

Nilai  $N_D$  pada seluruh variasi desain memiliki nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_D &= N_{D1} + N_{D2} \\ &= 610,335 + 273,827 \\ &= 884,160 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 21 Nilai  $N_D$  Pada Setiap Desain

Jenis Desain	$N_D$ (kN)
Desain 1	884,160
Desain 2	884,160
Desain 3	884,160
Desain 4	884,160
Desain 5	884,160

Sumber: Data Penelitian

Nilai  $N_T$  pada seluruh variasi desain memiliki nilai yang sama, yaitu:

$$\begin{aligned} N_T &= A_s f_y \\ &= 2267,08 \times 390 \\ &= 884,160 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$N_D = N_T$$

### 3) Mencari Momen Tahanan

$$\begin{aligned} M_{n1} &= N_{D1} (d - \frac{1}{2} a) \\ &= 610,336 (632,125 - \frac{1}{2} \times 69,544) \\ &= 364,586 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Nilai  $M_{n1}$  pada setiap desain adalah sebagai berikut:

Tabel 22 Nilai  $M_{n1}$  Pada Setiap Desain

Jenis Desain	$M_{n1}$ (kNm)
Desain 1	364,586
Desain 2	373,729
Desain 3	381,916
Desain 4	390,503
Desain 5	398,386

Sumber: Data Penelitian

Berikut merupakan contoh perhitungan  $M_{n2}$ :

$$\begin{aligned} M_{n2} &= N_{D2} (d - d') \\ &= 273,827 (632,125 - 49,50) \\ &= 159,539 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Nilai  $M_{n2}$  pada desain 1, desain 2, desain 3, desain 4, dan desain 5 adalah sebagai berikut:

Tabel 23 Nilai  $M_{n2}$  Pada Setiap Desain

Jenis Desain	$M_{n2}$ (kNm)
Desain 1	159,539
Desain 2	142,548
Desain 3	126,716
Desain 4	112,311
Desain 5	98,791

Sumber: Data Penelitian

Berikut merupakan contoh perhitungan  $M_n$ :

$$\begin{aligned} M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\ &= 364,586 + 159,539 \\ &= 524,125 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Nilai  $M_n$  pada desain 1, desain 2, desain 3, desain 4, dan desain 5 adalah sebagai berikut:

Tabel 24 Nilai  $M_n$  Pada Setiap Desain

Jenis Desain	$M_n$ (kNm)
Desain 1	524,125
Desain 2	516,278

Desain 3	508,631
Desain 4	502,815
Desain 5	497,177

Sumber: Data Penelitian

Berikut merupakan contoh perhitungan  $M_R$ :

$$\begin{aligned} M_R &= \phi M_n \\ &= 0,8 (524,125) \\ &= 419,300 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Nilai  $M_R$  pada desain 1, desain 2, desain 3, desain 4, dan desain 5 adalah sebagai berikut:

Tabel 25  $M_R$  Pada Setiap Desain

Jenis Desain	$M_R$ (kNm)
Desain 1	419,300
Desain 2	413,022
Desain 3	406,905
Desain 4	402,252
Desain 5	397,742

Sumber: Data Penelitian

### c. Menentukan Jenis Keruntuhan

Menentukan jenis keruntuhan lentur berdasarkan rasio tulangan, menurut tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan pada SNI 2847:2019. Di dapat dari perhitungan adalah sebagai berikut:

#### 1) Desain 1

$$\begin{aligned} \epsilon_s &> \epsilon_y \\ 0,028597 &> 0,00195 \end{aligned}$$

Maka jenis keruntuhan lentur yang terjadi yaitu keruntuhan tarik (*under reinforced*)

#### 2) Desain 2

$$\begin{aligned} \epsilon_s &> \epsilon_y \\ 0,028253 &> 0,00195 \end{aligned}$$

Maka jenis keruntuhan lentur yang terjadi yaitu keruntuhan tarik (*under reinforced*)

#### 3) Desain 3

$$\begin{aligned} \epsilon_s &> \epsilon_y \\ 0,027909 &> 0,00195 \end{aligned}$$

Maka jenis keruntuhan lentur yang terjadi yaitu keruntuhan tarik (*under reinforced*)

#### 4) Desain 4

$$\begin{aligned} \epsilon_s &> \epsilon_y \\ 0,027659 &> 0,00195 \end{aligned}$$

Maka jenis keruntuhan lentur yang terjadi yaitu keruntuhan tarik (*under reinforced*)

#### 5) Desain 5

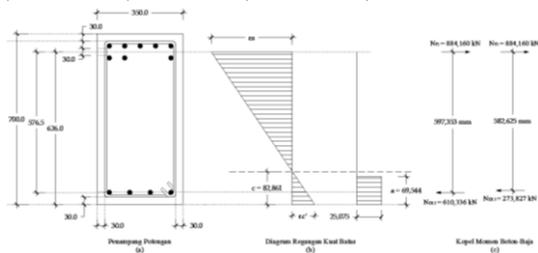
$$\begin{aligned} \epsilon_s &> \epsilon_y \\ 0,027410 &> 0,00195 \end{aligned}$$

Maka jenis keruntuhan lentur yang terjadi yaitu keruntuhan tarik (*under reinforced*)

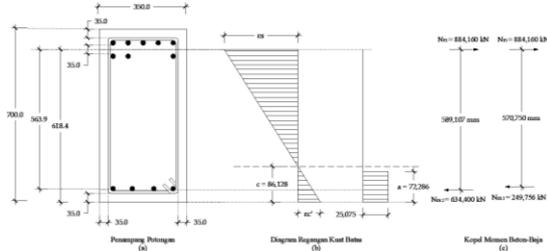
### Diagram Tegangan Regangan

Berdasarkan hasil perhitungan gaya dalam penampang balok, dapat digambarkan melalui diagram tegangan regangan balok. Pada diagram tegangan regangan terdiri dari gambar penampang potongan, diagram regangan kuat batas, dan kopel momen beton baja. Gambar diagram tegangan regangan balok desain 1, desain 2, desain 3, desain 4 dan desain 5 pada daerah tumpuan yang kondisi diagramnya

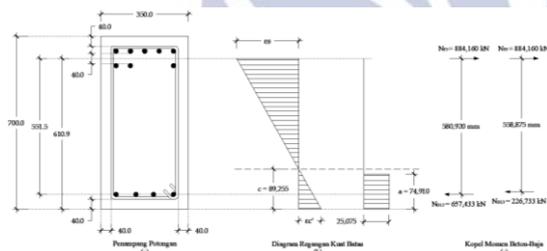
berbeda dengan daerah lapangan dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16.



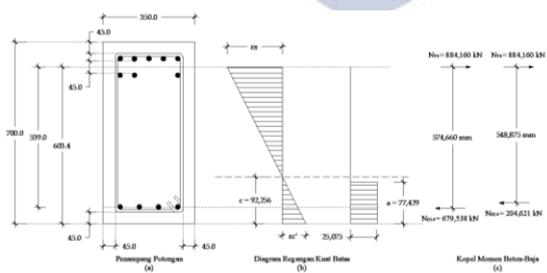
Gambar 10 Diagram Tegangan Regangan Balok Desain 1 Pada Daerah Tumpuan (Sumber: Data Penelitian)



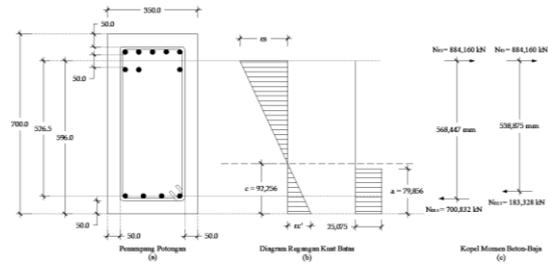
Gambar 11 Diagram Tegangan Regangan Balok Desain 2 Pada Daerah Tumpuan (Sumber: Data Penelitian)



Gambar 12 Diagram Tegangan Regangan Balok Desain 3 Pada Daerah Tumpuan (Sumber: Data Penelitian)



Gambar 13 Diagram Tegangan Regangan Balok Desain 4 Pada Daerah Tumpuan (Sumber: Data Penelitian)

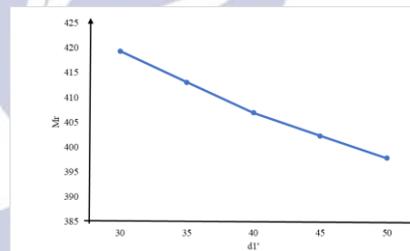


Gambar 14 Diagram Tegangan Regangan Balok Desain 5 Pada Daerah Tumpuan (Sumber: Data Penelitian)

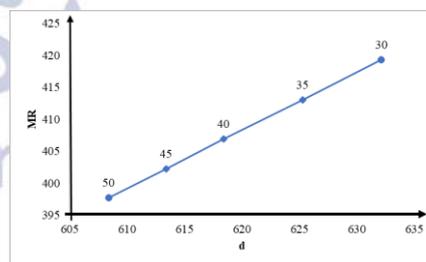
Berdasarkan gambar diagram tegangan regangan diatas, dapat dilihat bahwa perbedaan tebal selimut beton dapat mempengaruhi nilai  $d$  dan  $d'$ . Apabila nilai  $d$  dan  $d'$  mengalami perubahan, maka nilai  $c$  dan  $a$  juga mengalami perubahan. Berdasarkan hasil diagram diatas dapat disimpulkan bahwa nilai  $c$  dan  $a$  terbesar yaitu pada Gambar 16 balok desain ke lima.

### Grafik Pengaruh Tata Letak Tulangan Dua Lapis Dengan Momen Tahanan

Berdasarkan hasil perhitungan momen tahanan pada balok dengan variasi tebal selimut beton dan letak tulangan dua lapis, dapat digambarkan melalui grafik. Pada grafik pengaruh variasi letak tulangan dua lapis tersebut dapat dilihat pada Grafik 1.



Grafik 1 Pengaruh Letak Tulangan Dua Lapis Terhadap Momen Tahanan (Sumber: Data Penelitian)



Grafik 2 Pengaruh Tinggi Efektif Balok Terhadap Momen Tahanan (Sumber: Data Penelitian)

Berdasarkan Grafik 2 nilai 30, 35, 40, 45, 50 merupakan nilai tebal selimut beton dan jarak tulangan dua lapis. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tebal selimut beton dan semakin jauh letak tulangan dua lapis maka semakin rendah nilai momen tahanan pada balok.

### Perbandingan Analisis Penulis Dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul “Pemodelan dan Analisis Perilaku Balok Beton Bertulang yang Berbeda Diameter Akibat Variasi Tata Letak Tulangannya” oleh Yohanes Laka Suku (2018) memiliki hasil penelitian yaitu tata letak tulangan pada balok beton bertulang yang tulangan pokoknya menggunakan diameter yang berbeda mempengaruhi besarnya kapasitas beban, defleksi, daktilitas dan kekakuan balok. Pada jumlah luas tulangan yang sama, tata letak tulangan yang dipasang satu lapis mempunyai kapasitas beban dan kekakuan lebih besar dari tulangan dua lapis tetapi daktilitasnya lebih kecil. Hal ini mendukung dengan hasil penelitian yang saya lakukan. Maka dengan hasil yang didapatkan dari penelitian ini masih berada pada kisaran penelitian terdahulu yang artinya penelitian ini dapat dilanjutkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Kekuatan balok (B1) dengan dimensi balok 350x700 mm dengan selimut beton yang semakin tebal dan semakin jauh letak tulangan dua lapis maka akan sangat rendah nilai momen tahanan pada balok. Pada hasil diagram tegangan-regangan balok menunjukkan bahwa selimut beton dan jarak tulangan dua lapis sangat berpengaruh terhadap kekuatan balok karena jika balok mengalami rompal (*spalling*) dan letak tulangan dua lapis pada daerah tekan semakin jauh maka balok akan mengalami penurunan kekuatan hal ini terjadi karena tinggi efektif balok semakin mengecil.

### Saran

Saran yang dihasilkan dari penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian ini hanya membahas sampai kekuatan momen tahanan balok saja, apabila penelitian ini dilanjutkan maka disarankan untuk menghitung dari segi daktilitas struktur serta uji kelenturan balok.
2. Penelitian ini hanya mementingkan aspek kekuatan saja, apabila penelitian akan dilanjutkan maka disarankan dapat menambahkan perhitungan pengaruh dari segi ekonomi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya serta sholawat dan salam kepada baginda Rasulullah SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dari awal hingga akhir pada proses penelitian ini. Kepada yang terhormat:

1. Ir. Drs. H. Bambang Sabariman, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan artikel.

2. Bapak Ir. Arie Wardhono, S.T., M.MT., M.T., Ph.D. selaku dosen penilai yang telah memberikan arahan dan saran kepada penulis.
3. Mochamad Firmansyah Sofianto S.T., MS.c., M.T. selaku dosen penilai yang telah memberikan arahan dan saran kepada penulis.
4. Bapak Drs. H. Soeparno, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya
5. Ibu Prof. Dr. Erina Rahmadyanti, S.T., M.T. selaku Koordinator Skripsi dan Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya
6. Kepada kedua orang tua yang telah memberikan doa kepada penulis selama penyusunan artikel dan proses penelitian
7. Kepada teman-teman seperjuangan yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian dan artikel

## DAFTAR PUSTAKA

- Laka Suku, Yohanes. 2018. *Pemodelan dan Analisis Perilaku Balok Beton Bertulang yang Berbeda Diameter Akibat Variasi Tata Letak Tulangannya*. Universitas Flores, Vol. 24, No. 1, 2018.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Agus Setiawan, S.T., M.T. 2013. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Edisi Kedua (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Penerbit Erlangga: Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI - 2847 – 2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- ACI Committee 318. 2011. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-11) and Commentary*. American Concrete Institute.
- Utami, Dwi Puji dan Winnasny S, Lenny. 1998. *Analisis Lentur dan Geser pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi*. Universitas Islam Indonesia.
- Ginting, Arusmalem dan Rio Masriyanto. *Pengaruh Tebal Selimut Beton Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang*. Jurnal Janateknika, Vol. 10, No. 1, Januari 2008.