

PENGARUH RASIO TULANGAN TARIK TERHADAP KEKUATAN BALOK LENTUR

Indah Nur Azizah Karyanto

Program Studi S1-Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
indah.18067@mhs.unesa.ac.id

Ir. Drs. H. Bambang Sabariman, S.T., M.T.

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
bambangsabariman@unesa.ac.id

Abstrak

Balok merupakan material yang kuat dalam menahan gaya tekan, namun lemah dalam menahan gaya tarik. Oleh karena itu, balok dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kekuatannya. Pada perencanaan lentur balok, rasio tulangan dapat ditambah atau dikurangi yang akan menyebabkan keruntuhan lentur. Dilihat dari fungsi tulangan sebagai pemikul gaya tarik, maka apabila balok tersebut dibuat dengan rasio tulangan tarik yang berbeda dapat mempengaruhi kekuatan balok tersebut. Dalam perencanaan struktur gedung beton bertulang, data perencanaan yang diperlukan untuk diinput pada *software* SAP 2000 yaitu data mengenai desain bangunan gedung yang terdapat pada gambar kerja dan data perencanaan beban kerja struktur. Analisis dengan *software* SAP 2000 digunakan untuk menentukan Momen Ultimit (M_u) balok yang selanjutnya akan dilakukan perencanaan desain tulangan. Sehingga dari hasil perhitungan desain tulangan akan dilakukan variasi rasio tulangan tarik pada balok dengan melakukan perhitungan analisis balok bertulangan rangkap. Penggunaan rasio tulangan tarik akan mempengaruhi kapasitas beban yang dipikul oleh balok. Semakin besar rasio tulangan tarik maka kekuatan pada balok semakin meningkat yang menyebabkan momen maksimum yang dapat dipikul oleh balok juga semakin meningkat. Dalam cek keruntuhan, hasil keruntuhan yang terjadi pada masing-masing variasi rasio tulangan tarik balok yaitu keruntuhan tarik (*under reinforced*). Rekomendasi penggunaan rasio tulangan tarik pada Balok B₁ yaitu Desain 1 yang memiliki nilai ρ sebesar 0,0071 dengan menggunakan 8 tulangan tarik, karena beban layan yang terjadi pada Desain 1 Balok B₁ sudah terpenuhi.

Kata Kunci: balok terlentur, tulangan tarik, SAP 2000, momen tahanan, keruntuhan lentur

Abstract

Beam is a material that is strong in resisting compressive forces, but weak in resisting tensile forces. Therefore, the beam may crack if the load it bears gives rise to a tensile stress that exceeds its tensile strength. In beam bending planning, the ratio of reinforcement can be increased or decreased which will lead to bending collapse. Judging from the function of the reinforcement as a thinker of the pulling force, if the beam is made with different levels of pull reinforcement, it can affect the strength of the beam. In building structure planning, the planning data needed to be inputted in SAP 2000 software is data on building design contained in work drawings and structural workload planning data. Analysis with SAP 2000 software is used to determine the Ultimit Moment (M_u) of the beam which will then be carried out reinforcement design planning. So that from the results of the calculation of the reinforcement design, variations in the ratio of tensile reinforcement on the beam will be carried out by calculating the analysis of the double reinforced beam. The use of the tensile reinforcement ratio will affect the load capacity carried by the beam. The greater the ratio of tensile reinforcement, the strength on the beam increases which causes the maximum moment that the beam can carry is also increasing. In the collapse check, the result of the collapse that occurs in each variation in the ratio of beam pull reinforcement is under reinforced. Recommendations for the use of tensile reinforcement ratios on Block B 1, namely Design₁ which has a value of 0.0071 using 8 pull reinforcements, because the service load that occurs in Design 1 of Beam B₁ has been met.

Keywords: flexible beam, tensile rebar, SAP 2000, moment of resistance, bending collapse

PENDAHULUAN

Bangunan adalah hasil dari sebuah pembangunan proyek konstruksi. Bangunan juga merupakan kebutuhan pokok manusia yang tidak hanya berfungsi sebagai tempat tinggal tetapi juga menjadi penunjang manusia dalam beraktivitas, oleh karena itu dalam pembuatan atau pengerjaan proyek bangunan diperlukan ketelitian, kecermatan, dan pengetahuan didalam pekerjaan tersebut agar tidak terjadi keruntuhan atau hal yang tidak diinginkan lainnya. Salah satu struktur dari konstruksi bangunan yaitu menggunakan beton bertulang (Mukhdil, 2021).

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton dan baja tulangan. Beton mempunyai perilaku keruntuhan getas yaitu keruntuhan yang terjadi secara tiba-tiba jika beban yang bekerja sudah melampaui kekuatan bahan, sementara baja tulangan mempunyai perilaku keruntuhan daktail yang dimana terjadi peristiwa kelelahan sebelum bahan runtuh akibat pembebanan yang diberikan (Yohanes, 2015).

Pada konstruksi bangunan beton bertulang, balok beton bertulang merupakan elemen struktural yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai ke kolom sebagai penyangga vertikal. Pada umumnya balok dicor secara monolit dengan pelat dan secara struktural dipasang tulangan dibagian bawah atau dibagian atas dan bawah. Dua hal utama yang dialami oleh balok ialah tekan dan tarik, yang antara lain karena adanya pengaruh lentur ataupun gaya lateral (Wahyudi L dan Rahim, 1999).

Secara mekanis balok beton bertulang merupakan material yang kuat dalam menahan gaya tekan, namun lemah dalam menahan gaya tarik. Oleh karena itu, balok 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).

Berdasarkan penjelasan di atas, bahwa untuk mengatasi kelemahan balok beton bertulang dalam menahan gaya tarik maka ditambahkan tulangan baja pada bagian penampang beton yang berpotensi mengalami tarik pada saat menahan beban. Peranan tulangan baja dalam menahan gaya tarik sangat berguna karena baja mempunyai tegangan tarik dan regangan tarik yang sangat tinggi serta bersifat daktail (Nuryani, 2005).

Akibat pembebanan, balok beton bertulang akan mengalami beberapa gaya salah satunya adalah lentur. Lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila bebannya bertambah, maka pada balok beton bertulang akan terjadi deformasi

dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbul dan bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok (Nawy, 1990).

Balok beton bertulang merupakan elemen bangunan yang dapat diandalkan untuk menangani gaya geser dan momen lentur. Pada perencanaan lentur balok beton bertulang, rasio tulangan dapat ditambah atau dikurangi yang nantinya akan menyebabkan keruntuhan lentur. Dilihat dari fungsi tulangan sebagai pemikul gaya tarik, maka tidak menutup kemungkinan apabila balok beton bertulang tersebut dibuat dengan rasio tulangan yang berbeda (Stevie, 2015).

Dalam penelitian ini akan melihat seberapa besar pengaruh perubahan rasio tulangan tarik terhadap kekuatan lentur balok beton bertulang dengan dimensi balok serta mutu beton yang sama. Perubahan rasio tulangan tarik atau perbandingan pemakaian tulangan tarik dalam perencanaan pekerjaan balok beton bertulang akan sangat mempengaruhi kekuatan lentur balok beton bertulang tersebut.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi pengaruh perubahan rasio tulangan tarik terhadap hasil momen tahanan yang diterima oleh balok dan memberikan rekomendasi kombinasi penggunaan rasio tulangan tarik terbaik dalam aspek kekuatan balok beton bertulang.

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu menghitung pengaruh pada aspek kekuatan balok beton bertulang bukan pada aspek ekonomi. Acuan penampang struktur yang digunakan yaitu penampang Balok Beton Bertulang dengan Tipe B₁ berukuran 35 cm x 70 cm pada Gedung Perkantoran dengan 7 lantai yang terletak pada daerah Kabupaten Sidoarjo.

Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan komponen struktur beton yang diperkuat dengan tulangan baja untuk membantu menahan gaya tarik. Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Selain itu tulangan baja juga mampu memikul beban tekan, seperti digunakan pada elemen kolom beton (Agus Setiawan, 2013).

Standar Perencanaan Beton Bertulang

Peraturan dan standar persyaratan struktur bangunan pada hakekatnya ditujukan untuk kesejahteraan umat manusia dan untuk mencegah korban manusia. Oleh karena itu, peraturan struktur bangunan harus

menetapkan syarat minimum yang berhubungan dengan segi keamanan. Peraturan atau standar untuk perhitungan perencanaan beton bertulang yang berlaku di Indonesia mengalami perubahan beberapa kali. Peraturan yang pertama kali digunakan yaitu SK SNI T-15-1991-03, hingga yang terbaru yaitu menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI) 2847-2019. Semua peraturan dan pedoman standar tersebut diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia dan diberlakukan sebagai peraturan standar resmi. Apabila suatu dokumen mencantumkan peraturan tersebut sebagai peraturan resmi yang harus diikuti, maka sesuai dengan prosedur yang berlaku, peraturan tersebut berkekuatan hukum dalam pengendalian perencanaan dan pelaksanaan bangunan beton bertulang lengkap dengan sanksi yang diberlakukan (Dipohusodo, 1994).

Balok Terlentur

Balok yang diberi beban akan bekerja menahan beban dengan memperhitungkan tegangan regangan balok itu sendiri. Lenturan akibat beban yang diberikan pada balok dapat digambarkan dengan bidang momen pada tumpuan sederhana. Kekuatan lentur nominal pada penampang dimisalkan tercapai bila regangan di dalam serat tepi tekan terluar sama dengan regangan runtuh beton $\epsilon_{cu} = 0,003$. Pada saat beton runtuh, dua kemungkinan yang akan terjadi pada regangan baja tulangan ϵ_s akan lebih besar atau lebih kecil dari regangan $\epsilon_y = f_y / E_s$ pada saat luluh pertama (Dwi Puji dan Lenny, 1998).

Standar Perencanaan Balok Terlentur

Struktur balok beton bertulang harus direncanakan kekuatannya untuk menahan beban-beban rencana yang bekerja pada balok beton bertulang tersebut. Perencanaan kekuatan ini mencakup perhitungan besarnya penulangan atau pembesian yang harus dilakukan agar kriteria kekuatan dapat tercapai. Struktur balok yang melalui perhitungan perencanaan dinyatakan kuat, harus diperiksa terhadap tiga hal yang penting dalam konstruksi beton bertulang yaitu, pemeriksaan terhadap daktilitas struktur dengan melakukan pembatasan rasio tulangan, pemeriksaan terhadap kekuatan dengan melakukan analisis defleksi, dan pemeriksaan terhadap pembatasan retak. Perencanaan kekuatan struktur terhadap lentur diwujudkan dalam perhitungan perencanaan pembesian lentur. Perencanaan pembesian (tulangan) yang dilakukan dalam perencanaan kekuatan penampang terhadap lentur dimaksudkan untuk menghitung seberapa besar pembesian yang harus

dipasang pada struktur balok agar diperoleh suatu struktur balok beton bertulang dengan pembesian yang berperilaku komposit dalam menahan beban rencana yang bekerja. Momen ultimit balok dan kuat geser ultimit balok digunakan untuk menghitung perencanaan pembesian (tulangan) yang dibutuhkan pada sebuah penampang balok (Dipohusodo, 1994). Berikut tahap perencanaan pembesian (tulangan) pada penampang balok:

1. Perhitungan Rasio Tulangan Longitudinal

Rumus yang dapat digunakan dalam menghitung rasio tulangan longitudinal (ρ) yang diperlukan sebagai berikut:

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} \quad \dots\dots(1)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} \quad \dots\dots(2)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \quad \dots\dots(3)$$

Dengan:

M_u = Momen ultimit balok (Nmm)

b = Lebar penampang balok (mm)

d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)

f_y = Tegangan luluh baja (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

2. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Tarik

Rumus yang dapat digunakan dalam menghitung kebutuhan tulangan tarik (A_s) pada penampang balok beton bertulang sebagai berikut:

$$A_s \text{ perlu} = \rho b d \quad \dots\dots(4)$$

$$A_s \text{ D.tulangan} = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad \dots\dots(5)$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ D.tulangan}} \quad \dots\dots(6)$$

$$A_s \text{ pakai} = n \times A_s \text{ D.tulangan} \quad \dots\dots(7)$$

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu} \quad \dots\dots(8)$$

Dengan:

ρ = Rasio penulangan

b = Lebar penampang balok (mm)

d = Diameter tulangan (mm)

3. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Tekan

Rumus yang dapat digunakan dalam menghitung kebutuhan tulangan tekan (A_s') pada penampang balok beton bertulang sebagai berikut:

$$A_s' \text{ perlu} = 0,5 A_s \quad \dots\dots(9)$$

$$A_s \text{ D.tulangan} = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad \dots\dots(10)$$

$$n = \frac{A_s' \text{ perlu}}{A_s \text{ D.tulangan}} \quad \dots\dots(11)$$

$$A_s' \text{ pakai} = n \times A_s \text{ D.tulangan} \quad \dots\dots(12)$$

$$A_s'_{pakai} > A_s'_{perlu} \quad \dots\dots(13)$$

Dengan:

- ρ = Rasio penulangan
- b = Lebar penampang balok (mm)
- d = Diameter tulangan (mm)

4. Kontrol Kekuatan Lentur

Berikut beberapa rumus yang dapat digunakan untuk melakukan kontrol kekuatan lentur pada balok beton bertulang antara lain:

a. Tinggi Balok Tegangan

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad \dots\dots(14)$$

b. Jarak Garis Netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad \dots\dots(15)$$

c. Momen Nominal Rencana

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \dots\dots(16)$$

$$\phi M_n = 0,9 M_n \quad \dots\dots(17)$$

Dengan:

- A_s = Luas tulangan tarik yang dipakai (mm²)
- f_y = Tegangan luluh baja (MPa)
- f'_c = Kuat tekan beton (MPa)
- b = Lebar penampang balok (mm)
- β_1 = Faktor reduksi tinggi blok tegangan
- M_n = Momen nominal penampang balok (Nmm)

5. Perhitungan Tulangan Geser

Rumus yang dapat digunakan dalam menghitung tulangan geser pada penampang balok beton bertulang sebagai berikut:

a. Nilai Kuat Geser Beton Komponen Prategang

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad \dots\dots(18)$$

$$\phi V_c = 0,75 V_c \quad \dots\dots(19)$$

b. Batas Spasi

$$S_{max} = \frac{d}{2} \quad \dots\dots(20)$$

Spasi Senggang yang digunakan tidak boleh melebihi dari 4 poin dibawah ini:

- I = $d/4$
- II = 8D
- III = 24 \emptyset
- IV = 300 mm

c. Tulangan Geser Minimum

$$A_{v \min} = 0,35 \times b \times \frac{s}{f_y} \quad \dots\dots(21)$$

d. Tulangan Geser

$$A_s \emptyset.tulangan = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad \dots\dots(22)$$

$$n = \frac{A_{v \min}}{A_s \emptyset.tulangan} \quad \dots\dots(23)$$

$$A_v_{pakai} = n \times A_s \emptyset.tulangan \quad \dots\dots(24)$$

Dengan:

- f'_c = Kuat tekan beton (MPa)
- b = Lebar penampang balok (mm)
- d = Diameter tulangan (mm)
- f_y = Tegangan luluh baja (MPa)
- s = Spasi tulangan geser (mm)

6. Kontrol Kuat Geser

Berikut beberapa rumus yang dapat digunakan untuk melakukan kontrol kuat geser pada balok beton bertulang antara lain:

a. Kuat Geser

$$V_s = A_v \times f_y \times \frac{d}{s} \quad \dots\dots(25)$$

$$V_{s \max} = 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad \dots\dots(26)$$

$$\phi V_s = 0,75 V_{s \max} \quad \dots\dots(27)$$

b. Kuat Geser Nominal

$$V_n = V_c + V_s \quad \dots\dots(28)$$

$$\phi V_n = 0,75 V_n \quad \dots\dots(29)$$

c. Kontrol Kuat Geser

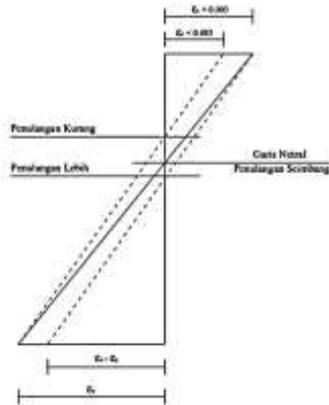
$$V_u < \phi V_n \quad \dots\dots(30)$$

Dengan:

- A_v = Luas tulangan geser yang dipakai (mm²)
- f_y = Tegangan luluh baja (MPa)
- d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
- s = Spasi tulangan geser (mm)
- b = Lebar penampang balok (mm)

Penampang Balok Bertulangan Seimbang, Kurang, dan Lebih

Dalam analisis penampang, garis netral tertentu adalah perbandingan antara regangan baja dengan regangan beton maksimum dapat ditetapkan berdasarkan distribusi regangan linear. Sedangkan untuk letak garis netral tergantung pada jumlah tulangan baja tarik yang dipasang dalam suatu penampang sedemikian blok tegangan tekan beton mempunyai kedalaman cukup agar dapat tercapai keseimbangan gaya-gaya. Apabila penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan penampang balok demikian disebut bertulangan lebih (*over reinforced*). Apabila suatu penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang demikian disebut bertulangan kurang (*under reinforced*) (Dipohusodo, 1994). Variasi letak garis netral dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Variasi Letak Garis Netral
Sumber: Istimawan Dipohusodo

Pembatasan Tulangan Tarik

Standart SK SNI T-15-1991-03 menetapkan pembatasan penulangan perlu diperhatikan. Pada pasal 3.3.3 ditetapkan bahwa jumlah tulangan baja tarik tidak boleh melebihi 0,75 dari jumlah tulangan baja tarik yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan ($A_s \leq 0,75 A_{sb}$). Apabila jumlah batas penulangan tersebut dapat dipenuhi akan memberikan jaminan bahwa kehancuran daktail dapat berlangsung dengan diawali meluluhnya tulangan baja tarik terlebih dahulu dan tidak akan terjadi kehancuran getas yang lebih mendadak. Pembatasan jumlah penulangan dapat pula dihubungkan dalam kaitanya dengan rasio penulangan (ρ) atau kadang-kadang disebut rasio baja, yaitu perbandingan antara jumlah luas penampang tulangan baja tarik terhadap luas efektif penampang (Dipohusodo, 1994).

Analisis Titik Berat Penampang Balok

Penentuan titik berat suatu penampang perlu dilakukan untuk mengetahui keseimbangan dari penampang. Hal ini bertujuan agar beban dari setiap komponen yang bekerja pada beton dapat diketahui titik seimbangya. Dalam perhitungan titik berat suatu penampang balok beton bertulang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i} \dots\dots(31)$$

$$Y = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i} \dots\dots(32)$$

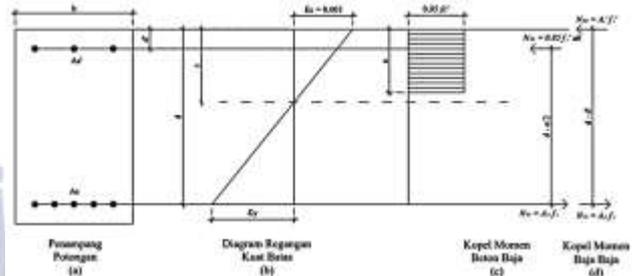
Dengan:

- A = Luas penampang tulangan
- X = Titik berat sisi horizontal
- Y = Titik berat sisi vertikal

Analisis Balok Terlentur Bertulangan Rangkap

Analisis balok terlentur berhubungan dengan nilai nominal lentur M_n dan nilai kuat momen tahanan M_R .

Dalam mencari nilai M_n dan M_R terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi nilai tersebut, yaitu ukuran penampang balok, perletakan tulangan, ukuran diameter tulangan, jumlah tulangan, kuat tekan beton dan tegangan luluh baja. Nilai kuat momen total balok bertulangan rangkap merupakan penjumlahan kedua kopel momen dalam dengan mengabaikan luas beton tekan yang ditempati oleh tulangan baja tekan (Dipohusodo, 1994).



Gambar 2. Analisis Balok Bertulangan Rangkap

Sumber: Istimawan Dipohusodo

Pada perhitungan analisis balok terlentur, terdapat beberapa anggapan awal yang perlu dihitung, yaitu :

1. Luas Tulangan Tarik (A_s) dan Luas Tulangan Tekan (A_s')

Dalam menghitung luas tulangan tarik (A_s) dan luas tulangan tekan (A_s') dapat menggunakan rumus berikut:

$$A_s = n \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) \dots\dots(33)$$

$$A_s' = n \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) \dots\dots(34)$$

Dengan :

- n = Jumlah tulangan tarik / tulangan tekan
- d = Diameter tulangan tarik / tulangan tekan (mm)

2. Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen (a)
Dalam mencari nilai a dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 f_c') b} \dots\dots(35)$$

Dengan :

- f_y = Tegangan luluh baja (MPa)
- f_c' = Kuat tekan beton (MPa)
- b = Lebar balok (mm)
- A_s = Luas tulangan tarik yang dipakai (mm^2)
- A_s' = Luas tulangan tekan yang dipakai (mm^2)

3. Faktor Reduksi Tinggi Blok Tegangan Tekan Ekuivalen (β_1)

Dalam mencari nilai β_1 dapat dicari dengan menggunakan rumus pada Tabel 1 sesuai pada SNI 2847-2019.

Tabel 1. Nilai β_1 Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen untuk Desain Tulangan Nonprategang

f_c' MPa	β_1	
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \geq 55$	0,65	c)

Sumber: SNI 2847-2019

4. Jarak Dari Serat Tekan Terluar Ke Garis Netral (c)
 Dalam mencari nilai c dalam satuan mm dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$c = \frac{a}{\beta_1} \dots\dots(36)$$

Dengan :

- a = Tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen.
- β_1 = Faktor reduksi tinggi blok tegangan tekan ekuivalen.

5. Menghitung Regangan ϵ_s' , ϵ_s dan ϵ_y
 a. Nilai Regangan Tulangan Tekan (ϵ_s') dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\epsilon_s' = \frac{c-d'}{c} (0,003) \dots\dots(37)$$

- b. Regangan Tulangan Tarik (ϵ_s) dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} (0,003) \dots\dots(38)$$

- c. Nilai Regangan Luluh (ϵ_y) dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots(39)$$

Dengan :

- d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
- d' = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm)
- f_y = Tegangan luluh baja (MPa)
- E_s = Modulus elastisitas baja ($E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$)
- c = Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)

Setelah menghitung anggapan awal, dilanjutkan dengan menentukan salah satu dari dua kondisi balok, yaitu:

- a. Kondisi I
 Pada kondisi I terjadi dimana ϵ_s' (regangan tulangan tekan) dan ϵ_s (regangan tulangan tarik) telah melampaui ϵ_y (regangan luluh). Pada kondisi tersebut dapat dikatakan bahwa anggapan awal yang dihitung benar dan perhitungan dilanjutkan ke tahap selanjutnya, yaitu:

- 1) Perhitungan Dua Kopel Momen (M_{n1} , M_{n2})
 Kopel momen beton tekan dan tulangan tarik (M_{n1}) dan kopel momen tulangan tekan dan tarik (M_{n2}) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$M_{n1} = A_{s1} f_y (d - \frac{1}{2} a) \dots\dots(40)$$

$$M_{n2} = A_s' f_y (d - d') \dots\dots(41)$$

Dengan :

- A_s = Luas tulangan tarik non-prategang (mm^2)
- A_s' = Luas tulangan tekan (mm^2)
- A_{s1} = Didapatkan dari hasil ($A_s - A_s'$)
- d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
- d' = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm)

- 2) Perhitungan Kuat Momen Tahanan Balok (M_R)

Dalam menentukan nilai kuat momen tahanan balok (M_R), terlebih dahulu mencari nilai kuat momen total balok (M_n) yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \dots\dots(42)$$

Apabila nilai kuat momen total balok (M_n) telah didapatkan, maka mencari nilai momen tahanan balok (M_R) bisa dicari dengan rumus :

$$M_R = \phi M_n \dots\dots(43)$$

Dengan :

$\phi = 0,8$ faktor reduksi kekuatan

- b. Kondisi II
 Pada kondisi II terjadi dimana ϵ_s' (regangan tulangan tekan) belum melampaui ϵ_y (regangan luluh), sedangkan ϵ_s (regangan tulangan tarik) telah melampaui ϵ_y (regangan luluh). Pada kondisi tersebut dapat dikatakan bahwa beberapa anggapan awal yang dihitung tidak benar yaitu nilai jarak serat tekan terluar ke garis netral (c) dan nilai tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen (a), maka untuk perhitungan akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya, yaitu:

- 1) Perhitungan Jarak Dari Serat Tekan Terluar Ke Garis Netral (c)

Dalam menentukan nilai c dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (600 A_s' - A_s f_y) c - 600 d' A_s' = 0 \dots\dots(44)$$

- 2) Perhitungan Tegangan Pada Tulangan Baja Tekan (f_s')

Dalam menentukan nilai tegangan pada tulangan baja tekan (f_s') dapat dihitung dengan rumus :

$$f_s' = \frac{c-d'}{c} (600) \dots\dots(45)$$

- 3) Perhitungan Nilai Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen (a)

Dalam menentukan nilai a dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$a = \beta_1 c \dots\dots(46)$$

- 4) Perhitungan Gaya Tekan Dan Gaya Tarik (N_D, N_T)

Dalam perhitungan gaya tekan (N_D) terdapat dua komponen yang menahan gaya tekan, yaitu gaya tekan yang ditahan oleh beton (N_{D1}) dan gaya tekan yang ditahan oleh tulangan baja tekan (N_{D2}).

- a. Nilai N_{D1} dan N_{D2} dapat dihitung menggunakan rumus :

$$N_{D1} = (0,85 f_c') b a \dots\dots(47)$$

$$N_{D2} = A_s f_s' \dots\dots(48)$$

- b. Nilai gaya tarik (N_T) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$N_T = A_s f_y \dots\dots(49)$$

Setelah didapatkan nilai gaya tekan dan gaya tarik, kemudian dilakukan pengecekan dengan rumus berikut :

$$N_T = N_{D1} + N_{D2} \dots\dots(50)$$

- 5) Perhitungan Dua Kopel Momen (M_{n1}, M_{n2})

Kopel momen beton tekan dan tulangan tarik (M_{n1}) dan kopel momen tulangan tekan dan tarik (M_{n2}) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$M_{n1} = N_{D1} (d - \frac{1}{2} a) \dots\dots(51)$$

$$M_{n2} = N_{D2} (d - d') \dots\dots(52)$$

Dengan :

d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)

d' = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm)

- 6) Perhitungan Kuat Momen Tahanan Balok (M_R)

Dalam menentukan nilai kuat momen tahanan balok (M_R), terlebih dahulu mencari nilai kuat momen total balok (M_n) yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \dots\dots(53)$$

Apabila nilai kuat momen total balok (M_n) telah didapatkan, maka mencari nilai

momen tahanan balok (M_R) bisa dicari dengan rumus :

$$M_R = \phi M_n \dots\dots(54)$$

Dengan :

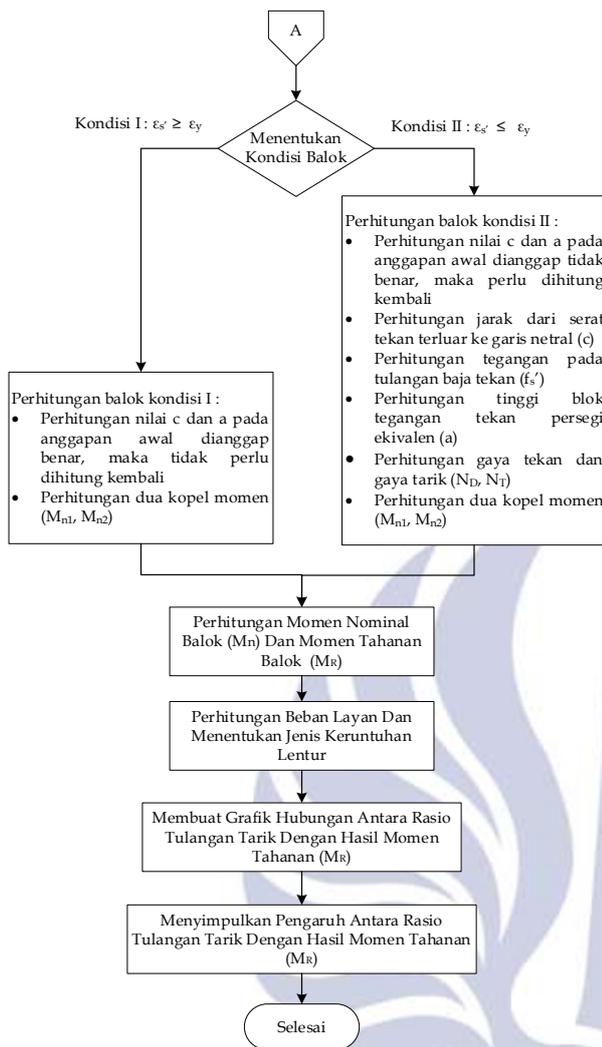
$\phi = 0,8$ faktor reduksi kekuatan

METODE PENELITIAN

Bagan Alir

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





Gambar 3. Bagan Alir Penelitian
Sumber: Data Penelitian

Penyajian Data

Pada penelitian ini menggunakan data perencanaan struktur gedung beton bertulang yang akan dilakukan analisis menggunakan *software* SAP 2000. Data perencanaan struktur gedung beton bertulang yang digunakan berdasarkan Gedung Perkantoran dengan 7 lantai yang terletak di Kabupaten Sidoarjo. Untuk data penampang struktur yang digunakan dalam penelitian ini berupa gambar kerja (*shop drawing*) yang didapat dari kontraktor PT. ABC. Berikut data perencanaan struktur gedung beton bertulang yang akan digunakan dalam penelitian ini:

1. Bangunan Gedung:
 - a. Lokasi : Kabupaten Sidoarjo
 - b. Fungsi : Gedung Perkantoran
 - c. Lantai : 7 Lantai
 - d. Panjang : 79 m
 - e. Lebar : 26 m
 - f. Tinggi : 28,9 m

2. Beton:
 - a. f_c' : 29,5 MPa
 - b. E_c : 25527 MPa
 - c. λ_c : 24 kN/m³
3. Baja Tulangan:
 - a. Tegangan Leleh Tulangan Ulir, f_y : 390 MPa
 - b. Tegangan Leleh Tulangan Polos, f_y : 240 MPa
 - c. Tegangan Leleh Wiremesh : 490 MPa
4. Penampang Struktur:
 - a. Balok (B_1) : 35 x 70 cm
 - b. Balok (B_2) : 25 x 50 cm
 - c. Kolom (K_1) : 60 x 60 cm
 - d. Kolom (K_2) : D 60 cm
 - e. Kolom (K_3) : 30 x 30 cm
 - f. Tebal Pelat : 15 cm

Pada penelitian ini akan membahas mengenai variasi rasio tulangan tarik pada penampang struktur balok beton bertulang. Variasi ini digunakan untuk mengetahui perbandingan hasil momen tahanan terhadap penambahan rasio tulangan tarik pada balok beton bertulang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Input Data Perencanaan Struktur pada *Software* SAP 2000

Dalam Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang, data perencanaan yang diperlukan untuk diinput pada *software* SAP 2000 yaitu data mengenai desain bangunan gedung yang terdapat pada gambar kerja dan data perencanaan beban kerja struktur yang terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Sesuai dengan SNI-1727-2020 maka dapat dilihat pada Tabel 2 untuk perencanaan beban mati dan beban hidup.

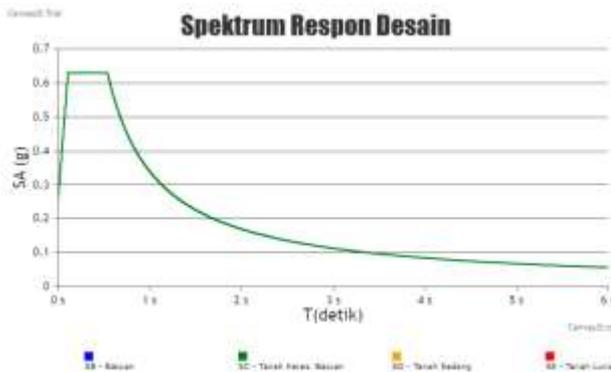
Tabel 2. Perencanaan Beban Mati dan Beban Hidup

JENIS BEBAN		BERAT (Kg/m ²)
A. Beban Mati (Q_{DL})		
1. Berat Sendiri Pelat	0,15 x 2400	360,0
2. Rangka Logam dan Plester Semen		72,0
3. Gypsumboard per mm	9,0 x 0,8	7,2
4. Keramik 19 mm dan mortar 13 mm		77,0
Total Beban Mati (Q_{DL})		516,2
B. Beban Hidup (Q_{LL})		
1. Beban hidup untuk lantai perkantoran		240
Total Beban Hidup (Q_{LL})		240

Sumber: Data Penelitian

Perencanaan beban gempa yang digunakan dalam perhitungan *software* SAP 2000 yaitu sesuai dengan grafik hasil respon spektrum daerah Kabupaten Sidoarjo dalam Koordinat Lintang -7,37487264 dan Koordinat Bujur 112,731167. Jenis tanah Kabupaten Sidoarjo yaitu

SC atau tanah keras dengan batuan lunak. Grafik hasil respon spektrum dapat dilihat pada Gambar 4, dan untuk data hasil respon spektrum yang akan diinput pada software SAP 2000 dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 4. Grafik Hasil Respon Spektrum
Sumber: Desain Spektra Indonesia

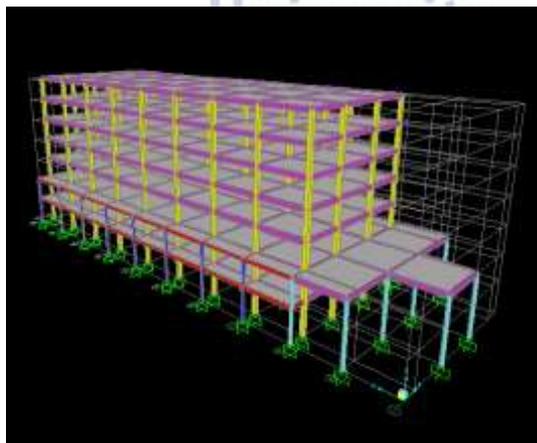
Tabel 3. Data Hasil Respon Spektrum

No.	Data Hasil	Nilai
1	i_e	1,00
2	S_s	0,79
3	S_1	0,34
4	F_a	1,2
5	F_v	1,5
6	S_{D_s}	0,63
7	S_{D_1}	0,34
8	R	8,0

Sumber: Desain Spektra Indonesia

Kategori resiko bangunan gedung untuk beban gempa yaitu gedung perkantoran termasuk kedalam kategori resiko II sesuai dengan SNI 1726-2019. Untuk kombinasi pembebanan struktur yang digunakan yaitu sesuai dengan SNI 1726-2019 sebagai berikut:

- 1,4D
- 1,2D + 1,6L
- 1,2D + E_v + E_h + L



Gambar 5. Desain Bangunan Gedung
Sumber: Data Penelitian

Berdasarkan Gambar 5 diatas, bahwa desain bangunan gedung perencanaan yang akan digunakan dalam penelitian ini memiliki 7 lantai dengan fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran.

Output Hasil Analisis pada Software SAP 2000

Output hasil analisis dari software SAP 2000 meliputi nilai momen, gaya geser, dan gaya aksial pada bangunan gedung tersebut. Pada penelitian ini akan memfokuskan pada penampang struktur Balok B₁ yang berukuran 35 x 70 cm untuk dilakukan variasi rasio tulangan tarik, sehingga diperlukan nilai momen (M_u) dan nilai gaya geser (V_u) terbesar yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan perencanaan desain tulangan penampang. Berikut hasil momen (M_u) dan gaya geser (V_u) terbesar untuk Balok B₁ dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Nilai M_u dan V_u Balok B₁
Sumber: Output Software SAP 2000

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui hasil dari momen ultimit (M_u) Balok B₁ sebesar 444,3786 kNm dan nilai dari gaya geser (V_u) Balok B₁ sebesar 256, 557 kN.

Perhitungan Desain Tulangan Penampang Struktur Balok Beton Bertulang

Berikut data perencanaan perhitungan desain tulangan penampang struktur balok beton bertulang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Perencanaan Desain Tulangan

No	Data Perencanaan	Nilai	Satuan
1	h	700	mm
2	b	350	mm
3	Tul. Ulir	D 19	mm
4	Tul. Polos	ø 10	mm
5	s	30	mm
6	f _c '	29,5	Mpa
7	f _y (Tul. Ulir)	390	MPa
8	f _y (Tul. Polos)	240	MPa
9	φ	0,9	mm
10	d	626	mm
11	d'	49,5	mm
12	M _u	444,3786	kNm
13	V _u	256, 557	kN

Sumber: Data Penelitian

Berdasarkan Tabel 4 diatas dapat dihitung desain tulangan penampang pada struktur balok beton bertulang sebagai berikut:

1. Perhitungan Rasio Tulangan Longitudinal

Berikut perhitungan rasio tulangan dengan menggunakan tulangan ulir berdiameter 19 mm:

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = 3,5999$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = 15,55334$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) = 0,010009$$

2. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Tarik

Berikut perhitungan kebutuhan tulangan tarik dengan menggunakan tulangan ulir berdiameter 19 mm :

$$A_{s\ perlu} = \rho b d = 2193,1418 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\ D.tulangan} = \frac{1}{4} \pi d^2 = 283,385 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s\ perlu}}{A_{s\ D.tulangan}} = 7,74 \approx 8$$

Jumlah Tulangan Tarik = 8 buah

$$A_{s\ pakai} = n \times A_{s\ D.tulangan} = 2267,08 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\ pakai} > A_{s\ perlu}$$

$$2267,08 \text{ mm}^2 > 2193,1418 \text{ mm}^2$$

3. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Tekan

Berikut perhitungan kebutuhan tulangan tekan dengan menggunakan tulangan ulir berdiameter 19 mm:

$$A'_{s\ perlu} = 0,5 A_s = 1096,7905 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\ D.tulangan} = \frac{1}{4} \pi d^2 = 283,385 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A'_{s\ perlu}}{A_{s\ D.tulangan}} = 3,84 \approx 4$$

Jumlah Tulangan Tekan = 4 buah

$$A'_{s\ pakai} = n \times A_{s\ D.tulangan} = 1141,54 \text{ mm}^2$$

$$A'_{s\ pakai} > A'_{s\ perlu}$$

$$1141,54 \text{ mm}^2 > 1096,7905 \text{ mm}^2$$

4. Kontrol Kekuatan Lentur

Berikut rumus yang dapat digunakan untuk melakukan kontrol kekuatan lentur pada balok beton bertulang:

a. Tinggi Balok Tegangan

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = 100,745 \text{ mm}$$

b. Jarak Garis Netral

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 119,934 \text{ mm}$$

c. Momen Nominal Rencana

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 508947607,2 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 M_n = 458052846,5 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$458052846,5 \text{ Nmm} > 444378643 \text{ Nmm}$$

5. Perhitungan Tulangan Geser

Berikut perhitungan tulangan geser dengan menggunakan tulangan polos berdiameter 10 mm:

a. Nilai Kuat Geser Beton Komponen Prategang

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = 198336,2671 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 V_c = 148752,2004 \text{ N}$$

b. Batas Spasi

$$S_{max} = \frac{d}{2} = 313 \text{ mm}$$

Spasi Sengkang yang digunakan tidak boleh melebihi dari 4 poin dibawah ini:

$$I = \frac{d}{4} = 156,5 \text{ mm}$$

$$II = 8D = 152 \text{ mm}$$

$$III = 24\phi = 240 \text{ mm}$$

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

Sehingga digunakan spasi sebesar 100 mm

c. Tulangan Geser Minimum

$$A_{v\ min} = 0,35 \times b \times \frac{s}{f_y} = 51,0416667 \text{ mm}^2$$

d. Tulangan Geser

$$A_{s\ \emptyset.tulangan} = \frac{1}{4} \pi d^2 = 78,7 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{v\ min}}{A_{s\ \emptyset.tulangan}} = 0,6485 \approx 1$$

$$A_{v\ pakai} = n \times A_{s\ \emptyset.tulangan} = 78,7 \text{ mm}^2$$

6. Kontrol Kuat Geser

Berikut rumus yang dapat digunakan untuk melakukan kontrol kuat geser pada balok beton bertulang antara lain:

a. Kuat Geser

$$V_s = A_v \times f_y \times \frac{d}{s} = 118238,88 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = 785411,618 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 V_{s \max} = 589058,713 \text{ N}$$

b. Kuat Geser Nominal

$$V_n = V_c + V_s = 983747,885 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,75 V_n = 737810,9137 \text{ N}$$

c. Kontrol Kuat Geser

$$V_u < \phi V_n$$

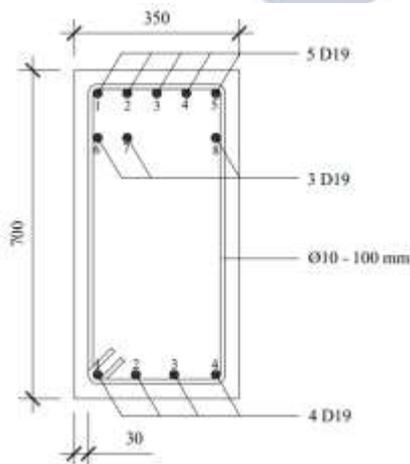
$$256557 \text{ N} < 737810,9137 \text{ N}$$

Variasi Rasio Tulangan Tarik Pada Balok Beton Bertulang

Berdasarkan hasil perhitungan desain tulangan pada Balok B₁, maka akan dilakukan variasi rasio tulangan tarik dengan 3 desain tulangan tarik. Pada desain pertama menggunakan 8 tulangan tarik, desain kedua menggunakan 9 tulangan tarik dan desain ketiga menggunakan 10 tulangan tarik. Semua desain variasi tulangan tarik menggunakan tulangan ulir berdiameter 19 mm dan mempunyai mutu beton yang sama serta jarak spasi antar tulangan yaitu sebesar ≥ 25 mm.

1. Desain 1 Balok B₁

Pada Desain 1 Balok B₁ yaitu menggunakan 8 tulangan tarik dan 4 tulangan tekan. Desain 1 Balok B₁ dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain 1 Balok B₁

Sumber: Data Penelitian

Berikut perhitungan rasio tulangan pada Desain 1 Balok B₁:

$$A_s = 8 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right)$$

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

$$A_s' = 4 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right)$$

$$= 1133,54 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A_s - \frac{A_s' f_s'}{f_y}$$

$$= 1564,959 \text{ mm}^2$$

Rasio tulangan:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b d}$$

$$= 0,0071$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_b = 0,85 \beta \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$$

$$= 0,0327$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0,0245$$

Syarat $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0,0071 < 0,0245$$

Dari hasil perhitungan rasio tulangan diatas maka Desain 1 Balok B₁ memiliki nilai ρ sebesar 0,0071.

Batas tulangan tarik:

$$A_s \leq 0,75 A_{sb}$$

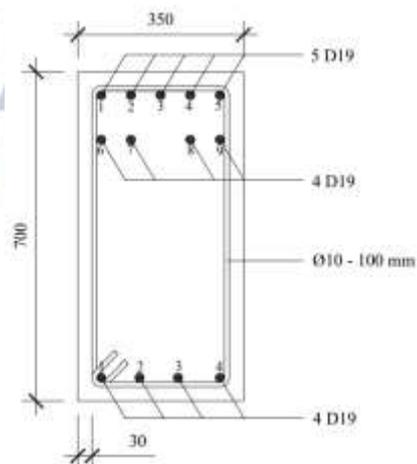
$$A_s \leq 0,75 (\rho_b b d)$$

$$2267,08 \text{ mm}^2 \leq 5373,43 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan batas tulangan tarik diatas, batas tulangan tarik pada balok terpenuhi maka kehancuran daktail diawali dengan meluluhnya tulangan baja tarik terlebih dahulu dan tidak akan terjadi kehancuran getas yang bersifat mendadak (Dipohusodo, 1994).

2. Desain 2 Balok B₁

Pada Desain 2 Balok B₁ yaitu menggunakan 9 tulangan tarik dan 4 tulangan tekan. Desain 2 Balok B₁ dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Desain 2 Balok B₁

Sumber: Data Penelitian

Berikut perhitungan rasio tulangan pada Desain 2 Balok B₁:

$$A_s = 9 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right)$$

$$= 2550,46 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 4 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right)$$

$$= 1133,54 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A_s - \frac{A_s' f_s'}{f_y}$$

$$= 1742,301 \text{ mm}^2$$

Rasio tulangan:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b d}$$

$$= 0,0079$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_b = 0,85 \beta \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$$

$$= 0,0327$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0,0245$$

Syarat $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0079 < 0,0245$

Dari hasil perhitungan rasio tulangan diatas maka Desain 2 Balok B₁ memiliki nilai ρ sebesar 0,0079.

Batas tulangan tarik:

$$A_s \leq 0,75 A_{sb}$$

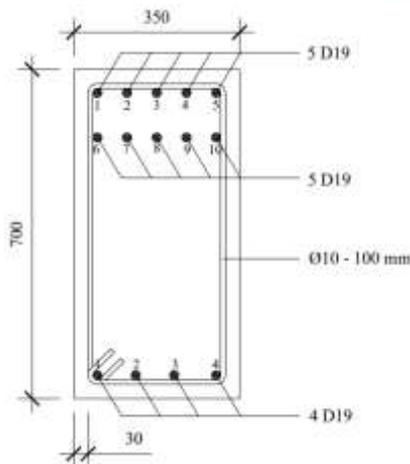
$$A_s \leq 0,75 (\rho_b b d)$$

$$2550,46 \text{ mm}^2 \leq 5373,43 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan batas tulangan tarik diatas, batas tulangan tarik pada balok terpenuhi maka kehancuran daktail diawali dengan meluluhnya tulangan baja tarik terlebih dahulu dan tidak akan terjadi kehancuran getas yang bersifat mendadak (Dipohusodo, 1994).

3. Desain 3 Balok B₁

Pada Desain 3 Balok B₁ yaitu menggunakan 10 tulangan tarik dan 4 tulangan tekan. Desain 3 Balok B₁ dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Desain 3 Balok B₁
 Sumber: Data Penelitian

Berikut perhitungan rasio tulangan pada Desain 3 Balok B₁:

$$A_s = 10 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right)$$

$$= 2833,85 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 4 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right)$$

$$= 1133,54 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A_s - \frac{A_s' f_s'}{f_y}$$

$$= 1933,2619 \text{ mm}^2$$

Rasio tulangan:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b d}$$

$$= 0,0088$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= 0,0035$$

$$\rho_b = 0,85 \beta \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \left(\frac{600}{600+f_y}\right)$$

$$= 0,0327$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0,0245$$

Syarat $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0088 < 0,0245$

Dari hasil perhitungan rasio tulangan diatas maka Desain 3 Balok B₁ memiliki nilai ρ sebesar 0,0088.

Batas tulangan tarik:

$$A_s \leq 0,75 A_{sb}$$

$$A_s \leq 0,75 (\rho_b b d)$$

$$2833,85 \text{ mm}^2 \leq 5373,43 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan batas tulangan tarik diatas, batas tulangan tarik pada balok terpenuhi maka kehancuran daktail diawali dengan meluluhnya tulangan baja tarik terlebih dahulu dan tidak akan terjadi kehancuran getas yang bersifat mendadak (Dipohusodo, 1994).

Berdasarkan perhitungan rasio tulangan tarik diatas, maka dapat dilihat pada Tabel 5 yaitu 3 desain rasio tulangan Balok B₁ yang akan dilakukan analisis.

Tabel 5. Desain Variasi Rasio Tulangan Balok B₁

Desain Balok B ₁	Rasio Tulangan (ρ)
1	0,0071
2	0,0079
3	0,0088

Sumber: Data Penelitian

Perhitungan Momen Tahanan Balok Beton Bertulang

1. Analisis Titik Berat Penampang Balok

a. Desain 1 Balok B₁

1) Titik Berat Serat Tarik

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

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

Titik berat tulangan dilihat berdasarkan Gambar 7 sebagai berikut:

Dengan:

X_n = Jarak titik berat tulangan tarik ke-n pada arah X

Y_n = Jarak titik berat tulangan tarik ke-n pada arah Y

$$X_1 = 49,5 \text{ mm} \quad Y_1 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_2 = 112,3 \text{ mm} \quad Y_2 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_3 = 175 \text{ mm} \quad Y_3 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_4 = 237,8 \text{ mm} \quad Y_4 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_5 = 300,5 \text{ mm} \quad Y_5 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_6 = 49,5 \text{ mm} \quad Y_6 = 601,5 \text{ mm}$$

$$X_7 = 112,3 \text{ mm} \quad Y_7 = 601,5 \text{ mm}$$

$$X_8 = 300,5 \text{ mm} \quad Y_8 = 601,5 \text{ mm}$$

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

$$= 167,2 \text{ mm}$$

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

$$= 632,125 \text{ mm}$$

2) Titik Berat Serat Tekan

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

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

Titik berat tulangan dilihat berdasarkan Gambar 7 sebagai berikut:

Dengan:

X_n' = Jarak titik berat tulangan tekan ke-n pada arah X

Y_n' = Jarak titik berat tulangan tekan ke-n pada arah Y

$$X_1' = 49,5 \text{ mm} \quad Y_1' = 49,5 \text{ mm}$$

$$X_2' = 133,17 \text{ mm} \quad Y_2' = 49,5 \text{ mm}$$

$$X_3' = 216,83 \text{ mm} \quad Y_3' = 49,5 \text{ mm}$$

$$X_4' = 300,5 \text{ mm} \quad Y_4' = 49,5 \text{ mm}$$

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

$$= 175 \text{ mm}$$

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

$$= 49,5 \text{ mm}$$

b. Desain 2 Balok B₁

1) Titik Berat Serat Tarik

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

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

Titik berat tulangan dilihat berdasarkan Gambar 8 sebagai berikut:

Dengan:

X_n = Jarak titik berat tulangan tarik ke-n pada arah X

Y_n = Jarak titik berat tulangan tarik ke-n pada arah Y

$$X_1 = 49,5 \text{ mm} \quad Y_1 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_2 = 112,3 \text{ mm} \quad Y_2 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_3 = 175 \text{ mm} \quad Y_3 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_4 = 237,8 \text{ mm} \quad Y_4 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_5 = 300,5 \text{ mm} \quad Y_5 = 650,5 \text{ mm}$$

$$X_6 = 49,5 \text{ mm} \quad Y_6 = 601,5 \text{ mm}$$

$$X_7 = 112,3 \text{ mm} \quad Y_7 = 601,5 \text{ mm}$$

$$X_8 = 237,8 \text{ mm} \quad Y_8 = 601,5 \text{ mm}$$

$$X_9 = 300,5 \text{ mm} \quad Y_9 = 601,5 \text{ mm}$$

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

$$= 175 \text{ mm}$$

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

$$= 628,385 \text{ mm}$$

2) Titik Berat Serat Tekan

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

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

Titik berat tulangan dilihat berdasarkan Gambar 8 sebagai berikut:

Dengan:

X_n' = Jarak titik berat tulangan tekan ke-n pada arah X

Y_n' = Jarak titik berat tulangan tekan ke-n pada arah Y

$$X_1' = 49,5 \text{ mm} \quad Y_1' = 49,5 \text{ mm}$$

$$X_2' = 133,17 \text{ mm} \quad Y_2' = 49,5 \text{ mm}$$

$$X_3' = 216,83 \text{ mm} \quad Y_3' = 49,5 \text{ mm}$$

$$X_4' = 300,5 \text{ mm} \quad Y_4' = 49,5 \text{ mm}$$

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

$$= 175 \text{ mm}$$

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

$$= 49,5 \text{ mm}$$

c. Desain 3 Balok B₁

1) Titik Berat Serat Tarik

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

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

Titik berat tulangan dilihat berdasarkan Gambar 9 sebagai berikut:

Dengan:

X_n = Jarak titik berat tulangan tarik ke-n pada arah X

Y_n = Jarak titik berat tulangan tarik ke-n pada arah Y

$X_1 = 49,5 \text{ mm}$	$Y_1 = 650,5 \text{ mm}$
$X_2 = 112,3 \text{ mm}$	$Y_2 = 650,5 \text{ mm}$
$X_3 = 175 \text{ mm}$	$Y_3 = 650,5 \text{ mm}$
$X_4 = 237,8 \text{ mm}$	$Y_4 = 650,5 \text{ mm}$
$X_5 = 300,5 \text{ mm}$	$Y_5 = 650,5 \text{ mm}$
$X_6 = 49,5 \text{ mm}$	$Y_6 = 601,5 \text{ mm}$
$X_7 = 112,3 \text{ mm}$	$Y_7 = 601,5 \text{ mm}$
$X_8 = 175 \text{ mm}$	$Y_8 = 601,5 \text{ mm}$
$X_9 = 237,75 \text{ mm}$	$Y_9 = 601,5 \text{ mm}$
$X_{10} = 300,5 \text{ mm}$	$Y_{10} = 601,5 \text{ mm}$

$$X = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i} = 175 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i} = 626 \text{ mm}$$

2) Titik Berat Serat Tekan

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 = 283,385 \text{ mm}^2$$

Titik berat tulangan dilihat berdasarkan Gambar 9 sebagai berikut:

Dengan:

X_n' = Jarak titik berat tulangan tekan ke-n pada arah X

Y_n' = Jarak titik berat tulangan tekan ke-n pada arah Y

$X_1' = 49,5 \text{ mm}$	$Y_1' = 49,5 \text{ mm}$
$X_2' = 133,17 \text{ mm}$	$Y_2' = 49,5 \text{ mm}$
$X_3' = 216,83 \text{ mm}$	$Y_3' = 49,5 \text{ mm}$
$X_4' = 300,5 \text{ mm}$	$Y_4' = 49,5 \text{ mm}$

$$X = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i} = 175 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i} = 49,5 \text{ mm}$$

2. Analisis Balok Bertulangan Rangkap

a. Menentukan Garis Netral (Anggapan Awal)

1) Desain 1 Balok B₁

a) Nilai Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen (a)

$$A_s = 8 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = 2267,08 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 4 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = 1133,54 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 f_c') b} = 50,372 \text{ mm}$$

b) Faktor Reduksi Tinggi Blok Tegangan Tekan Ekuivalen (β_1)

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7} = 0,84$$

c) Jarak dari Serat Tekan Terluar ke Garis Netral (c)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 60,018 \text{ mm}$$

d) Nilai Regangan ϵ_s' , ϵ_s , dan ϵ_y Pada tulangan tekan

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} (0,003) = 0,0005257$$

Pada tulangan tarik

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003) = 0,0285967$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 0,00195$$

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

2) Desain 2 Balok B₁

a) Nilai Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen (a)

$$A_s = 9 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = 2550,46 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 4 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = 1133,54 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 f_c') b} = 62,965 \text{ mm}$$

b) Faktor Reduksi Tinggi Blok Tegangan Tekan Ekuivalen (β_1)

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7} = 0,84$$

c) Jarak dari Serat Tekan Terluar ke Garis Netral (c)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 75,022 \text{ mm}$$

d) Nilai Regangan ϵ_s' , ϵ_s , dan ϵ_y Pada tulangan tekan

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} (0,003) = 0,00102$$

Pada tulangan tarik

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} (0,003)$$

$$= 0,0221$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 0,00195$$

Karena $\varepsilon_s > \varepsilon_y > \varepsilon_s'$ maka tulangan tarik telah meluluh tetapi tulangan tekan belum termasuk dalam Kondisi II. Dengan demikian anggapan pada langkah awal tidak benar, maka diperlukan mencari garis netral dahulu.

3) Desain 3 Balok B₁

a) Nilai Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen (a)

$$A_s = 10 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right)$$

$$= 2833,85 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 4 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right)$$

$$= 1133,54 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 f_c') b}$$

$$= 75,55857 \text{ mm}$$

b) Faktor Reduksi Tinggi Blok Tegangan Tekan Ekuivalen (β_1)

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$$

$$= 0,84$$

c) Jarak dari Serat Tekan Terluar ke Garis Netral (c)

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

$$= 90,0272 \text{ mm}$$

d) Nilai Regangan ε_s' , ε_s , dan ε_y

Pada tulangan tekan

$$\varepsilon_s' = \frac{c-d'}{c} (0,003)$$

$$= 0,00135$$

Pada tulangan tarik

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} (0,003)$$

$$= 0,0179$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 0,00195$$

Karena $\varepsilon_s > \varepsilon_y > \varepsilon_s'$ maka tulangan tarik telah meluluh tetapi tulangan tekan belum termasuk dalam Kondisi II. Dengan demikian anggapan pada langkah awal tidak benar, maka diperlukan mencari garis netral dahulu.

b. Menentukan Letak Garis Netral

Dengan menggunakan keseimbangan gaya horizontal dan beberapa substitusi, didapatkan persamaan untuk mencari garis netral (c) sebagai berikut:

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

1) Desain 1 Balok B₁

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

Dari hasil perhitungan kalkulator didapatkan nilai c:

$$c = 82,861 \text{ mm}$$

2) Desain 2 Balok B₁

$$7365,78125 c^2 - 314555,4 c - 33666138 = 0$$

Dari hasil perhitungan kalkulator didapatkan nilai c:

$$c = 92,25058 \text{ mm}$$

3) Desain 3 Balok B₁

$$7365,78125 c^2 - 425077,5 c - 33666138 = 0$$

Dari hasil perhitungan kalkulator didapatkan nilai c:

$$c = 102,3614639 \text{ mm}$$

c. Perhitungan Berdasarkan Kondisi Balok

1) Desain 1 Balok B₁

a) Tegangan pada Tulangan baja tekan (f_s')

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

$$= 241,568 \text{ MPa}$$

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

b) Nilai Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen (a)

$$a = \beta_1 c$$

$$= 69,5439 \text{ mm}$$

c) Nilai Gaya Tekan dan Gaya Tarik (N_D , N_T)

$$N_{D1} = (0,85 f_c') a b$$

$$= 610334,6462 \text{ N}$$

$$N_{D2} = A_s' f_s'$$

$$= 273826,5538 \text{ N}$$

$$N_D = N_{D1} + N_{D2}$$

$$= 884161,2 \text{ N}$$

$$N_T = A_s f_y$$

$$= 884161,2 \text{ N}$$

$$N_D = N_T$$

d) Nilai Kuat Total Momen Balok (M_n)

$$M_{n1} = N_{D1} \left(d - \frac{1}{2} a\right)$$

$$= 364585262,631 \text{ Nmm}$$

$$M_{n2} = N_{D2} (d - d')$$

$$= 159538195,936 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$= 524123458,566 \text{ Nmm}$$

e) Nilai Momen Tahanan (M_R)

$$M_R = \phi M_n$$

$$= 0,8 (524123458,566)$$

$$= 419298766,853 \text{ Nmm}$$

$$= 419,2988 \text{ kNm}$$

2) Desain 2 Balok B₁

a) Tegangan pada Tulangan baja tekan (f_s')

$$f_s' = \frac{(c-d')}{c} (600) = 241,568 \text{ MPa}$$

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

b) Nilai Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen (a)

$$a = \beta_1 c = 77,424 \text{ mm}$$

c) Nilai Gaya Tekan dan Gaya Tarik (N_D , N_T)

$$N_{D1} = (0,85 f_c') a b = 679497,6565 \text{ N}$$

$$N_{D2} = A_s' f_s' = 679497,6565 \text{ N}$$

$$N_D = N_{D1} + N_{D2} = 994679,4 \text{ N}$$

$$N_T = A_s f_y = 994679,4 \text{ N}$$

$$N_D = N_T$$

d) Nilai Kuat Total Momen Balok (M_n)

$$M_{n1} = N_{D1} (d - \frac{1}{2} a) = 400908849,037 \text{ Nmm}$$

$$M_{n2} = N_{D2} (d - d') = 182559569,470 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 466774734,805 \text{ Nmm}$$

e) Nilai Momen Tahanan (M_R)

$$M_R = \phi M_n = 0,8 (583468418,507) = 466774734,805 \text{ Nmm} = 466,7747 \text{ kNm}$$

3) Desain 3 Balok B₁

a) Tegangan pada Tulangan baja tekan (f_s')

$$f_s' = \frac{(c-d')}{c} (600) = 309,8517463 \text{ MPa}$$

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

b) Nilai Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen (a)

$$a = \beta_1 c = 85,91051 \text{ mm}$$

c) Nilai Gaya Tekan dan Gaya Tarik (N_D , N_T)

$$N_{D1} = (0,85 f_c') a b = 753972,1515 \text{ N}$$

$$N_{D2} = A_s' f_s' = 351229,3485 \text{ N}$$

$$N_D = N_{D1} + N_{D2} = 1105201,5 \text{ N}$$

$$N_T = A_s f_y$$

$$= 1105201,5 \text{ N}$$

$$N_D = N_T$$

d) Nilai Kuat Total Momen Balok (M_n)

$$M_{n1} = N_{D1} (d - \frac{1}{2} a) = 439599499,181 \text{ Nmm}$$

$$M_{n2} = N_{D2} (d - d') = 202483719,390 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 642083218,571 \text{ Nmm}$$

e) Nilai Momen Tahanan (M_R)

$$M_R = \phi M_n = 0,8 (642083218,571) = 513666574,857 \text{ Nmm} = 513,6666 \text{ kNm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka dapat dilihat hasil perhitungan momen tahanan pada semua Desain Balok B₁ pada Tabel 6.

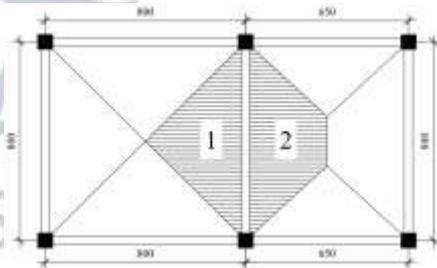
Tabel 6. Hasil Perhitungan Momen Tahanan (M_R) Balok

Desain	Rasio Tulangan	Momen Tahanan (M_R)
1	0,0071	419,2988 kNm
2	0,0079	466,7747 kNm
3	0,0088	513,6666 kNm

Sumber: Data Penelitian

d. Perhitungan Beban Layan

Perhitungan pembebanan dilakukan dengan menggunakan *envelope method*, dengan metode tersebut beban yang dihitung dan diequivalenkan akan menjadi beban merata. Pembebanan *envelope method* pada Balok B₁ dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pembebanan *Envelope Method* Pada Balok B₁

Sumber: Data Penelitian

Dalam SNI 1727-2020, beban hidup pada pelat lantai gedung dengan fungsi ruang perkantoran adalah 240 kg/m^2

Berikut perhitungan beban equivalen:

Beban Segitiga:

$$Q_{eq1} = \frac{1}{3} Q_{LL} l_x$$

$$Q_{eq1} = \frac{1}{3} \cdot 240 \text{ kg/m}^2 \cdot 8 \text{ m}$$

$$Q_{eq1} = 640 \text{ kg/m}$$

Beban Trapesium:

$$Q_{eq2} = \frac{1}{2} Q_{LL} \frac{l_x}{l_y^2} (l_x^2 - \frac{1}{3} l_y^2)$$

$$Q_{eq2} = \frac{1}{2} \cdot 240 \text{ kg/m}^2 \cdot \frac{6,5}{8^2} (8^2 - \frac{1}{3} 6,5^2)$$

$$Q_{eq2} = 608,359 \text{ kg/m}$$

Total beban hidup yang diterima oleh balok adalah 1248,359 kg/m

Kemudian dalam menentukan beban layan pada balok dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

1) Desain 1 Balok B₁

$$M_u = \frac{1}{10} W_u l_n^2$$

$$M_u = \frac{1}{10} W_u l_n^2$$

$$419298766,853 = \frac{1}{10} W_u 8000^2$$

$$419298766,853 = W_u 6400000$$

$$W_u = 65,5154 \text{ N/mm}$$

$$W_u = 6680,7116 \text{ kg/m}$$

$$W_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$6680,7116 = 1,2 D + 1,6 \cdot 1248,359$$

$$D = 3902,7805 \text{ kg/m}$$

2) Desain 2 Balok B₁

$$M_u = \frac{1}{10} W_u l_n^2$$

$$466774734,805 = \frac{1}{10} W_u 8000^2$$

$$466774734,805 = W_u 6400000$$

$$W_u = 72,9335 \text{ N/mm}$$

$$W_u = 7437,0963 \text{ kg/m}$$

$$W_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$7437,0963 = 1,2 D + 1,6 \cdot 1248,3593$$

$$D = 4533,101 \text{ kg/m}$$

3) Desain 3 Balok B₁

$$M_u = \frac{1}{10} W_u l_n^2$$

$$513666574,857 = \frac{1}{10} W_u 8000^2$$

$$513666574,857 = W_u 6400000$$

$$W_u = 80,2604 \text{ N/mm}$$

$$W_u = 8184,2831 \text{ kg/m}$$

$$W_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$8184,2831 = 1,2 D + 1,6 \cdot 1248,359$$

$$D = 5155,757 \text{ kg/m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai beban mati pada semua Desain Balok B₁ yang didapat lebih besar dari beban mati rencana. Nilai beban mati rencana adalah 2685,01 kg/m. Karena beban layan yang terjadi pada Desain 1 Balok B₁ sudah terpenuhi sehingga tidak perlu menggunakan Desain 2 dengan menggunakan 9 tulangan tarik dan Desain 3 dengan menggunakan 10 tulangan tarik.

e. Cek Keruntuhan Balok

Menentukan jenis keruntuhan berdasarkan rasio tulangan, menurut tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung pada SNI 2847-2019. Didapat dari perhitungan sebagai berikut:

1) Desain 1 Balok B₁

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003) = 0,0285967$$

$$\epsilon'_c = 0,003$$

$$\epsilon_s > \epsilon'_c$$

2) Desain 2 Balok B₁

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003) = 0,0221$$

$$\epsilon'_c = 0,003$$

$$\epsilon_s > \epsilon'_c$$

3) Desain 3 Balok B₁

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} (0,003) = 0,0179$$

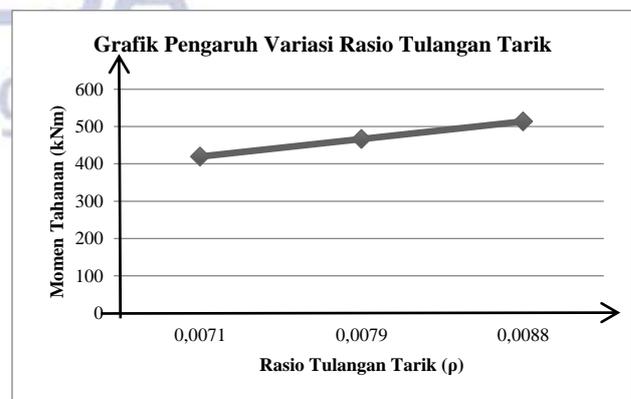
$$\epsilon'_c = 0,003$$

$$\epsilon_s > \epsilon'_c$$

Maka dapat disimpulkan bahwa dari semua Desain Balok B₁ memiliki nilai regangan ϵ_s lebih besar dibandingkan dengan nilai regangan beton tekan yang diijinkan (ϵ'_c). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jenis keruntuhan balok semua desain balok adalah keruntuhan tarik (*under-reinforced*).

Grafik Pengaruh Rasio Tulangan Tarik pada Balok Beton Bertulang

Berdasarkan perhitungan analisis balok bertulangan rangkap, variasi rasio tulangan tarik akan berpengaruh terhadap nilai momen tahanan yang semakin besar. Berikut grafik pengaruh rasio tulangan tarik pada balok dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Pengaruh Rasio Tulangan Tarik
Sumber: Data Penelitian

Berdasarkan grafik pengaruh rasio tulangan tarik diatas maka dapat diketahui bahwa semakin besar rasio

tulangan tarik maka kekuatan pada balok beton bertulang semakin meningkat yang menyebabkan momen maksimum yang dapat dipikul oleh balok beton bertulang semakin meningkat.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* SAP 2000 dan hasil perhitungan diatas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rekomendasi penggunaan rasio tulangan tarik pada Balok B₁ yaitu Desain 1 yang memiliki nilai ρ sebesar 0,0071 dengan menggunakan 8 tulangan tarik, karena beban layan yang terjadi pada Desain 1 Balok B₁ sudah terpenuhi sehingga tidak perlu menggunakan Desain 2 dengan menggunakan 9 tulangan tarik dan Desain 3 dengan menggunakan 10 tulangan tarik.
2. Pengaruh variasi rasio tulangan tarik terhadap hasil momen tahanan balok pada Gambar 11 dapat disimpulkan bahwa semakin besar rasio tulangan tarik maka kekuatan pada balok beton bertulang semakin meningkat yang menyebabkan momen maksimum yang dapat dipikul oleh balok juga semakin meningkat. Namun keruntuhan lentur yang terjadi pada masing-masing balok tetap harus keruntuhan tarik (*under reinforced*).

Saran

Saran yang dihasilkan dari penelitian ini adalah: Penelitian ini hanya mementingkan pada aspek kekuatan, sehingga apabila akan dilakukan penelitian selanjutnya disarankan dapat menambahkan perhitungan pengaruh variasi rasio tulangan tarik dari segi ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Setiawan, S.T., M.T. 2013. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Edisi Kedua (Berdasarkan SNI 03-1729- 2002)*. Jakarta: Erlangga.
- Andreas, Stevi. 2015. *Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Variasi Rasio Tulangan Tarik*. Jurnal Sipil Statik Vol. 3, No. 3, Maret, PP. 175-182.
- Ashour, Samir A. 2000. *Effect of Compressive Strength and Tensile Reinforcement Ratio on Flexural Behavior of High-Strength Concrete Beams*. Engineering Structures Vol. 22, No. 5, May, PP. 413-423.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI - 1726 - 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI - 2847 – 2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Dady, Yohanes Trian. 2015. *Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang*, Jurnal Teknik Sipil Vol.3, No.5, Mei, PP. 341-350.
- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Idris, Mukhdil Khairi. 2021. *Analisis Pengaruh Rasio Tulangan dan Inersia Penampang Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Berpenampang I akibat Momen Negatif*. Padang: Universitas Andalas.
- L. Wahyudi dan Syahril A. Rahim. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Mansor, Ahmed Abdullah. 2020. *Effect of Longitudinal Steel Reinforcement Ratio on Deflection and Ductility in Reinforced Concrete Beams*. Material Science and Engineering Vol. 888, June, PP. 10-11.
- Mohammadhassani, Mohammad.. 2014. *An Experimental Study on The Failure Modes of High Strength Concrete Beams with Particular References to Variation of The Tensile Reinforcement Ratio*. Engineering Failure Analysis Vol. 41, June, PP. 73-80.
- Nawy. 1990. *Beton Bertulang - Suatu Pendekatan Dasar*. Jakarta: Erlangga.
- TA, Nuryani. 2005. *Pengaruh Rasio Tulangan Pada Berbagai Mutu Beton Terhadap Penguatan Tarik Baja Tulangan Beton Bertulang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Utami, Dwi Puji dan Winnasny S, Lenny. 1998. *Analisis Lentur dan Geser pada Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.