

Studi Pengaruh Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Block Stress Whitney Terhadap Block Stress Test PCA

Study Of The Effect Of Bending Capacity Of Reinforced Concrete Beam With Whitney Stress Block On Pca's Block Stress Test

Ahmad Efendi¹, Pujo Priyono^{2*}, Amri Gunasti³

¹Mahasiswa Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ahmadefen8@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember* Koresponden Author
email: pujopriyono@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: amrigunasti@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Kapasitas lentur dalam balok menggunakan dua titik beban yang diberikan secara sentris dalam masing-masing 1/3 bentang balok membentuk besaran momen lentur yang diukur menjadi kapasitas momen balok. Dalam analisa lentur menggunakan *Block Stress whitney* dalam rangka penyederhanaan, langkah penyederhanaan itu dalam tujuan desain praktis, melalui *Block Stress PCA-Test* yang telah dilakukan suatu studi *Block Stress* yang berupa kurva lengkung. Bentuk blok tegangan tekan ekuivalen dalam penampang beton bertulang merupakan kurva parabolic, namun menghitung luasan parabolic tersebut adalah susah sehingga perlu dilakukan penyederhanaan menggunakan cara mengalikan dengan nilai ekuivalensi sehingga luasan bisa dihitung menggunakan cara mengalikan nilai persegi yang sangat mudah dan tanpa mengurangi ketelitian pada perhitungan yang telah ditetapkan. Dalam pengujian ini menggunakan tulangan tunggal dan rangkap dengan menggunakan mutu beton (f_c') = 20.7, 27.6, 34.5, 41.4 dan 48.3. Analisa menggunakan penampang balok nilai rasio tulangan yang dapat diterima test whitney terhadap test PCA adalah 34,5 Mpa karena tidak mempengaruhi kapasitas lentur dan nilainya stabil dari beberapa dimensi balok sedangkan nilai rasio tulangan yang dapat di terima test whitney terhadap test PCA adalah 27,6 Mpa , 34,5 Mpa dan 41,4 Mpa sedangkan nilai yang tidak bisa di terima adalah 20,7 Mpa karena menggunakan mutu beton tersebut tidak disarankan untuk bangunan gedung.

Kata Kunci: Kapasitas Lentur, *Block Stress*, Balok Beton

Abstract

The bending capacity in the beam using two load points which are given centrally in each 1/3 span of the beam forms the amount of bending moment which is measured to be the moment capacity of the beam. In the flexural analysis using the Whitney Block Stress for simplification, the simplification step is for practical design purposes, through the Block Stress PCA-Test a Block Stress study has been carried out in the form of a curved curve. The shape of the equivalent compressive stress block in a reinforced concrete cross-section is a parabolic curve, but calculating the parabolic area is difficult so it is necessary to simplify it by multiplying by the equivalent value so that the area can be calculated by multiplying the square value which is very easy and without reducing the accuracy of the calculations that have been made. set. In this test using single and double reinforcement using concrete quality (f_c') = 20.7, 27.6, 34.5, 41.4 and 48.3. Analysis using beam cross-section the value of the acceptable reinforcement ratio from the Whitney test to the PCA test is 34.5 MPa because it does not affect the bending capacity and the value is stable from several beam dimensions while the reinforcement ratio value that is acceptable to the Whitney test to the PCA test is 27.6 MPa , 34.5 MPa and 41.4 MPa while the unacceptable value is 20.7 MPa because the use of this quality concrete is not recommended for buildings.

Keywords: Flexural Capacity, Block Stress, Concrete Blocks

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan beton untuk struktur dalam bagian teknik sipil, saat ini terus bertambah, sehingga menuntut teknologi beton yang lebih baik dan banyak penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti untuk mengkombinasikan bahan-bahan beton yang dapat digunakan untuk tujuan tertentu (Suarnita, 2012)

Kapasitas lentur dalam balok menggunakan dua titik beban yang diberikan secara sentris dalam masing-masing $1/3$ bentang balok membentuk besaran momen lentur yang diukur menjadi kapasitas momen balok. Pada wilayah tengah bentang berdasarkan struktur balok tersebut hanya terjadi beban lentur murni tanpa adanya beban geser dalam penampang (Rommel et al., 2015)

Dalam analisa lentur menggunakan Block Stress whitney dalam rangka penyederhanaan, langkah penyederhanaan itu dalam tujuan desain praktis, melalui *Block Stress* PCA-Test yang telah dilakukan suatu studi *Block Stress* yang berupa kurva lengkung. kurva tegangan-regangan bilinear di mana pengerasan regangan dimulai tidak ditentukan dalam spesifikasi baja, dan oleh karena itu sulit untuk memasukkannya. Biasanya tidak mengandalkan peningkatan kekuatan karena ini dapat dikaitkan dengan deformasi ultimit yang sangat besar dari komponen struktur (Park & Paulay, 1975).

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana kapasitas balok hasil block stress Whitney terhadap block stress PCA dengan variasi penampang?
2. Bagaimana kapasitas balok hasil block stress Whitney terhadap block stress PCA dengan variasi mutu beton?

C. Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi masalah yang akan dibahas dalam penelitian sebagai berikut :

1. Hanya di peruntuhkan untuk balok lentur.
2. Dengan menggunakan analisa secara terbatas SNI.

D. Tujuan

Adapun tujuan dalam studi tingkat pengaruh kapasitas lentur dengan blok stress parabola, adalah :

1. Mengetahui kapasitas balok hasil block stress Whitney terhadap block stress PCA dengan variasi penampang
2. Mengetahui kapasitas balok hasil block stress Whitney terhadap block stress PCA dengan variasi mutu beton

E. Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Studi ini Merupakan kesempatan Bagi penulis untuk menerapkan ilmu yang telah dipelajari selama di bangku perkuliahan dan digunakan dalam praktek secara langsung di lapangan. Maka akan menambah pemahaman penulis dan dapat memberikan manfaat penelitian untuk mengetahui bagaimana kapasitas Lentur pada balok beton bertulang tunggal menggunakan agregat beton normal.
2. Hasil studi ini bisa digunakan sebagai masukan terkait perkembangan bidang konstruksi yang terus meningkat di masa yang akan datang.
3. Hasil studi ini bisa digunakan sebagai bahan referensi dan untuk membandingkan dalam memecahkan masalah yang sama di masa akan datang ataupun digunakan sebagai bahan studi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan beton yang ditulangi menggunakan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang berdasarkan nilai minimum yang disyaratkan menggunakan tanpa prategang dan direncanakan dari perkiraan bahwa ke dua material bekerja bersama-sama pada menunda gaya yang bekerja (Polypropylene et al., n.d.)

B. Baja Tulangan

Baja Tulangan Beton adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang dibuat dari bahan baku billet dengan cara canal panas (hot

rolling). Baja tulangan memiliki kekuatan tarik yang biasanya tidak dimiliki oleh baja beton. Baja yang dapat memberikan ruang bagi suatu struktur yang dapat menahan gaya tekan. Dengan demikian, campuran kedua bahan ini memegang peranan penting dalam setiap pekerjaan konstruksi yang dilakukan (Prasytio & Baja, 2019). Baja tulangan beton dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu baja tulangan beton polos dan baja tulangan beton sirip.

C. Kapasitas lentur balok

Kapasitas lentur balok merupakan momen tahanan penampang yang berfungsi menahan atau memikul momen rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar akan menyebabkan lentur pada balok. Deformasi dan regangan tambahan pada balok terjadi akibat pembebanan menyebabkan timbulnya atau bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan maksimum demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur (Nuralinah, 2016).

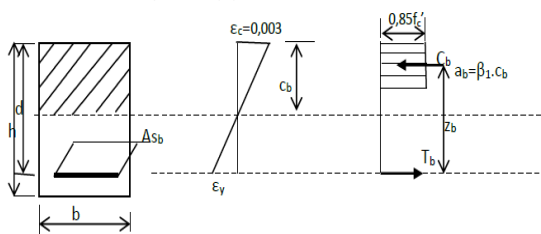
$$C = T$$

$$Mn = T(d - 1/2 a)$$

dimana:

- Mn = kuat lentur balok (N/mm)
- d = tinggi efektif balok (mm)
- a = tinggi blok tegangan (mm)

1. Kapasitas Lentur Balok penampang bertulang tunggal



Gambar 1. Diagram Tegangan dan Regangan Balok Beton Bertulang Kondisi Seimbang.

Sumber: (Priyono & Nurtjahjaningtyas, 2021)

Pada keadaan setimbang pada (**Gambar 1**)

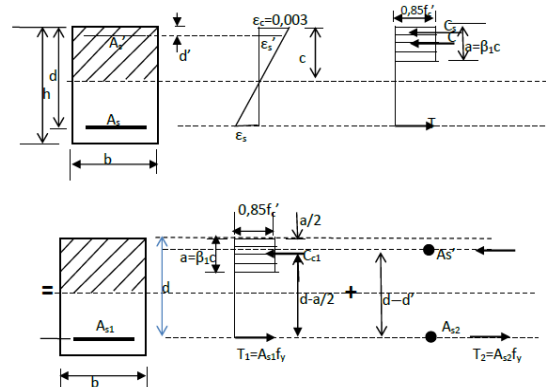
Terjadi regangan ultimit beton sebesar,

$$\epsilon_c = 0,003 \text{ (SNI 2847-2019)}$$

Regangan baja tulangan

$$\epsilon_s = \epsilon_y \text{ (regangan baja pada keadaan leleh)}$$

2. Kapasitas Lentur Balok penampang bertulang tunggal



Gambar 2. Penampang balok tulangan rangkap dan analogi analisisnya.

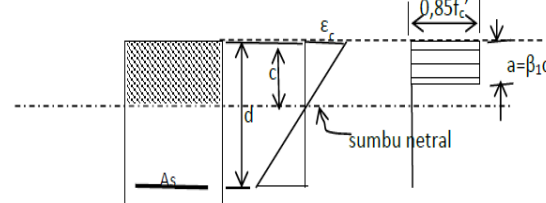
Sumber: (Priyono & Nurtjahjaningtyas, 2021)

Terkadang dalam desain balok beton bertulang, tulangan rangkap, yaitu tarik dan tekan harus digunakan. Peristiwa ini dapat terjadi ketika rasio tulangan penampang balok p_{maks} dan rasio tulangan p_{maks} dan gaya momen desain yang dihasilkan menunjukkan bahwa gaya momen luar faktor masih lebih besar dari momen desain.

D. Block Stress Whitney

Perencanaan struktur beton yang diawali dari analisis lentur balok beton bertulang berdasarkan pada Tatacara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) di Indonesia menggunakan model tegangan beton ultimit berbentuk persegi ekuivalen menurut penelitian Whitney tahun 1937.

Gambar 3. Penampang balok dengan diagram regangan dan blok tegangan ekuivalen.



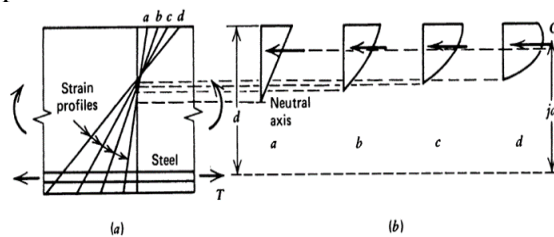
Sumber: (Priyono & Nurtjahjaningtyas, 2021)

Pendekatan persegi yang diusulkan oleh Whitney sebagai pendekatan yang dianjurkan pada penentuan kekuatan balok beton bertulang karena sangat memudahkan pada perhitungan. Tetapi pendekatan ini mempunyai kekurangan

karena bentuk persegi tidak bisa menggambarkan bentuk sebenarnya berdasarkan diagram distribusi tegangan beton yang berbentuk parabolik.

E. Block Stress Test PCA

Bentuk blok tegangan saat momen lentur pada penampang balok meningkat. Penampang mencapai kekuatan lenturnya (momen tahanan maksimum) ketika gaya tekan total dalam beton dikalikan dengan lengan tuas internal jd adalah maksimum. Sifat-sifat blok tegangan tekan pada penampang momen maksimum dapat dilihat pada **Gambar 4**

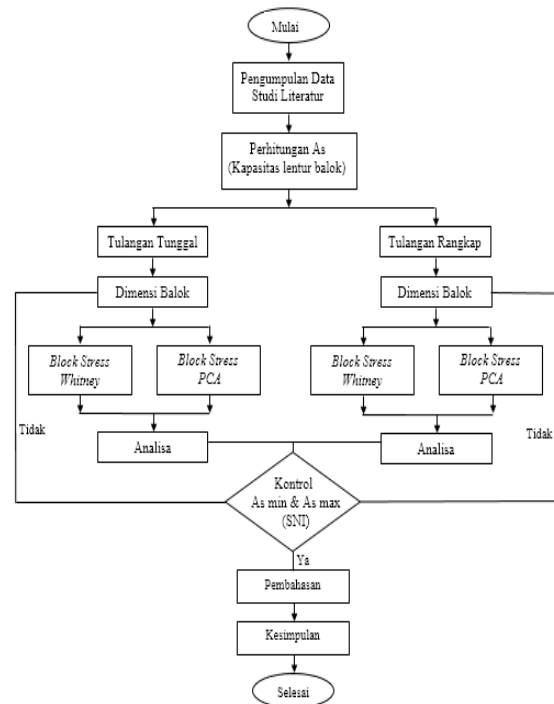


Gambar 4. Distribusi regangan dan tegangan pada beton tekan suatu penampang saat momen lentur dinaikkan hingga mencapai kekuatan lentur. (a) Elemen balok. (b) Distribusi tegangan tekan pada beton sesuai dengan profil regangan a, b, c, dan d.

Sumber: (Park & Paulay, 1975)

3. PERENCANAAN PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Rancangan Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Sumber: (Penulis, 2022)

B. Perhitungan

1. Metode menurut Whitney yaitu metode yang memperhitungkan kuat lentur balok dengan mengalikan tinggi efektif balok sebagai keseimbangan gaya.

$$Mn = 0.85 \cdot f'c \cdot b \cdot d$$

dimana:

Mn = kuat lentur balok (N/mm)

$f'c$ = kuat mutu beton (Mpa)

b = lebar balok (mm)

d = tinggi efektif balok (mm)

2. Metode menurut Test PCa yaitu metode yang menggunakan momen kapasitas dengan menggunakan nilai K dan metode ini bergantung pada mutu beton.

$$C = K_1 \cdot K_3 f'c \cdot b \cdot d$$

dimana:

Mn = kuat lentur balok (N/mm)

$f'c$ = kuat mutu beton (Mpa)

b = lebar balok (mm)
 d = tinggi efektif balok (mm)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Perhitungan

Dalam penelitian/Analisa ini melakukan perhitungan pengaruh kapasitas lentur balok beton bertulang dengan *Block Strees Whitney* dan *Block Strees Test PCA*. Dengan menggunakan data nilai β_1 , K, dan data balok.

Tabel 1 Koefisien Blok stress (β_1)

Koefisien Blok Stress	Mutu Beton(f_c')
β_1	Mpa
$\beta_1 = 0.85$	$17 \leq f_c' \leq 28$
$\beta_1 = 0.85 - 0.05 (f_c' - 28) / 7$	$28 < f_c' < 55$
$\beta_1 = 0.65$	$f_c' \geq 55$

Sumber: (Priyono & Nurtjahjaningtyas, 2021)

Tabel 2 Koefisien Blok stress (β_1)

psi	N/mm ²	K1	K2	K3	Ec
3000	20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
4000	27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
5000	34.5	0.75	0.44	0.92	0.0032
6000	41.4	0.71	0.42	0.92	0.0031
7000	48.3	0.67	0.41	0.93	0.0029

Sumber: (Park & Paulay, 1975)

Data Balok

- a) b (Lebar) = 200 mm
- h (Panjang) = 400 mm
- b) b (Lebar) = 300 mm
- h (Panjang) = 500 mm
- c) b (Lebar) = 400 mm
- d) h (Panjang) = 600 mm
- f_y (Teg. Leleh) = 400 Mpa

B. Menghitung Nilai Rasio Tulangan Tunggal Dengan Dimensi

Untuk Mutu Beton $f_c' = 20.7$ Mpa
 Regangan ultimit beton,
 $\epsilon_c = 0,003$ (SNI 2847-2013)
 b (Lebar) = 300 mm
 h (Panjang) = 400 mm
 d' (Tinggi Efektif) = 350 mm
 Regangan baja tulangan, $\epsilon_s = \epsilon_y$ (regangan baja pada keadaan leleh)

C_b dapat di peroleh dengan menggunakan segitiga sebanding dari diagram regangan :

$$\begin{aligned} c_b : d &= \epsilon_c : (\epsilon_s + \epsilon_c) \\ c_b &= \frac{\epsilon_c}{(\epsilon_s + \epsilon_c)} d \\ &= \frac{0,003}{\left(\frac{f_y}{200000} + 0,003\right)} d \\ &= \frac{0,003}{\left(\frac{400}{200000} + 0,003\right)} d \\ &= \frac{0,003 \cdot 200,000}{(400 + 600)} d \\ &= \frac{600}{600 + 400} d \\ &= \frac{600}{1000} \cdot 350 \\ &= 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari keseimbangan gaya-dalam C_b , maka rasio penulangan balace P_b dapat dicari :

$$\begin{aligned} P_b &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \beta_1 \cdot \frac{c_b}{d} \\ &= \frac{0,85 \cdot 20,7}{400} \cdot 0,85 \cdot \frac{210}{350} \\ &= 0,022 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dalam desain balok atau komponen struktur lentur lainnya, batas maksimum rasio tulangan dapat diambil dengan menggunakan nilai $\epsilon_t = 0,005$ dan $E_s = 200.000$ Mpa sehingga :

$$\begin{aligned} P_{maks} &= \frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{(\epsilon_t + 0,003)} P_b \\ &= \frac{0,003 + \frac{400}{200000}}{(0,005 + 0,003)} \cdot 0,022 \\ &= 0,0056 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi hasil :

$$\begin{aligned} A_{s_{maks}} &= P_{maks} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0056 \cdot 300 \cdot 350 \\ &= 588,887 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Mencari Nilai C_c Test Whitney ($\beta_1 = 0.85$)

$$\begin{aligned} T_s &= A_{s_{maks}} \cdot f_y \\ &= 588,887 \cdot 400 \\ &= 235554,83 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{cw} &= 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot (\beta_1 \cdot c) \\ &= 0,85 \cdot 20,7 \cdot 300 \cdot (0,85 \cdot c) \\ &= 4486,73 \cdot c \end{aligned}$$

Hasil Keseimbangan :

$$c_{cw} = T_s$$

$$4486,73.c = 235554,83$$

$$c = 235554,83/4486,73$$

$$c = 52,50 \text{ mm}$$

Sehingga :

$$c_{cw} = 4486,73.c$$

$$= 4486,73.(52,50)$$

$$= 235554,83 \text{ N}$$

Mencari Nilai Cc Test PCA

$$c_c = K_1.(K_3.fc'.b.c)$$

$$= 0,82.(0,97.20,7.3000.52,50)$$

$$= 259322,23 \text{ N}$$

$$T_{s,PCA} = c_c, PCA$$

$$= 259322,23 \text{ N}$$

$$A_{s,PCA.fy} = 259322,23$$

$$= 259322,23.400$$

$$= 648,306 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,maks} = 588,887 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rasio} = \frac{A_{s,maks}}{A_{s,PCA}}$$

$$= \frac{588,887}{648,306}$$

$$= 0,908$$

Setelah menghitung nilai rasio tulangan tunggal dengan dimensi 300 mm x 400 mm diperoleh nilai rasio sebesar : 0,908

Hasil dan Pembahasan Rasio Tulangan Tunggal Dimensi 300 mm x 400 mm

Hasil perhitungan $A_{s,PCA}$ dan $A_{s,Whitney}$ dapat dilihat pada tabel

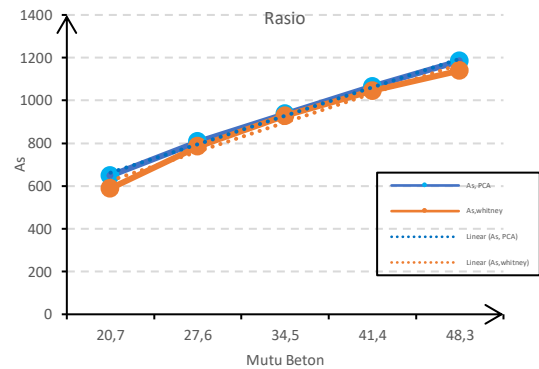
Tabel 3 Rasio Tulangan Tunggal Dimensi 300 mm x 400 mm

No	Mutu Beton	As, PCA	As,whitney	Rasio
	Mpa	mm ²	mm ²	
1	20.7	648	589	0.908
2	27.6	807	785	0.973
3	34.5	937	928	0.990
4	41.4	1065	1045	0.982
5	48.3	1185	1140	0.962

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan dengan mutu beton 20.7 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 648 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$:

589 mm², 27.6 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 807 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$: 785 mm², 34,5 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 937 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$: 928 mm², 41,4 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 1065 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$: 1045 mm², dan 41,4 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 1185 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$: 1140 mm²



Gambar 6. Grafik nilai Rasio dengan Tulangan Tunggal dimensi 300 mm x 400 mm
 Sumber: Hasil Perhitungan,2022

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa mutu beton mempunyai pengaruh terhadap nilai $A_{s,PCA}$ dan $A_{s,Whitney}$.

C. Menghitung Nilai Rasio Tulangan Rangkap Dengan Dimensi

Untuk Mutu Beton $f_c' = 20.7$ Mpa

Regangan ultimit beton,

$$\epsilon_c = 0,003 \text{ (SNI 2847-2013)}$$

$$b \text{ (Lebar)} = 300 \text{ mm}$$

$$h \text{ (Panjang)} = 400 \text{ mm}$$

$$d' \text{ (Tinggi Efektif)} = 350 \text{ mm}$$

Regangan baja tulangan, $\epsilon_s = \epsilon_y$ (regangan baja pada keadaan leleh)

c_b dapat di peroleh dengan menggunakan segitiga sebanding dari diagram regangan :

$$c_b : d = \epsilon_c : (\epsilon_s + \epsilon_c)$$

$$c_b = \frac{\epsilon_c}{(\epsilon_s + \epsilon_c)} d$$

$$= \frac{0,003}{\left(\frac{f_y}{200000} + 0,003\right)} d$$

$$= \frac{0,003}{(f_y + 200000.0,003)} d$$

$$= \frac{200,000}{0,003.200,000} d$$

$$= \frac{600}{(f_y + 600)} d$$

$$= \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$= \frac{600}{600+400} \cdot 350$$

$$= 210 \text{ mm}$$

Dari keseimbangan gaya-dalam Cb, maka rasio penulangan *balace* Pb dapat dicari :

$$P_b = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \beta_1 \cdot \frac{c_b}{d}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 20,7}{400} \cdot 0,85 \cdot \frac{210}{350}$$

$$= 0,022 \text{ mm}$$

Dalam desain balok atau komponen struktur lentur lainnya, batas maksimum rasio tulangan dapat diambil dengan menggunakan nilai $\epsilon_t = 0,005$ dan $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$ sehingga :

$$P_{maks} = \frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{(\epsilon_t + 0,003)} P_b$$

$$= \frac{0,003 + \frac{400}{200000}}{(0,005 + 0,003)} \cdot 0,022$$

$$= 0,0056 \text{ mm}$$

Jadi hasil :

$$A_{S_{maks}} = P_{maks} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0056 \cdot 300 \cdot 350$$

$$= 588,887 \text{ mm}^2$$

Momen Mu.1 merupakan momen yang diperoleh dari balok bertulangan tunggal sebagai berikut :

$$T_1 = A_{S, maks} \cdot f_y$$

$$= 588,887 \cdot 400$$

$$= 235554,83 \text{ N}$$

$$C_{c1} = T_1$$

$$C_{c1} = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a$$

$$a = \frac{C_{c1}}{0,85 \cdot f_c \cdot b}$$

$$= \frac{235554,83}{0,85 \cdot 20,7 \cdot 300}$$

$$= \frac{235554,83}{5278,50}$$

$$= 44,63 \text{ N}$$

Mencari Nilai Mu1 Test Whitney

$$Mu. 1 = A_s \cdot f_y (d - \frac{1}{2} a)$$

$$= 588,887 \cdot 400 (350 - (0,5 \cdot 44,63))$$

$$= 588,887 \cdot 400 (350 - 22,31)$$

$$= 77188333,66 \text{ N}$$

Selanjutnya Mu,2 dapat dihitung dengan mengangsumsi tulangan tekan leleh yaitu :

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

$$= \frac{44,63}{0,85}$$

$$= 52,50 \text{ mm}^2$$

$$C = K_1 \cdot (K_3 \cdot f_c' \cdot b \cdot c)$$

$$= 0,82 \cdot (0,97 \cdot 20,7 \cdot 300 \cdot 52,50)$$

$$= 259322,23 \text{ N}$$

Mencari Nilai Mu,2 Test PCA

$$Mu. 1 = C \cdot (d - K_2 \cdot c)$$

$$= 259322,23 \cdot (350 - (0,48 \cdot 52,50))$$

$$= 259322,23 \cdot (350 - 24,150)$$

$$= 87881948,21 \text{ N} - \text{mm}$$

Luas total tulangan tarik yang digunakan adalah jumlah As,1 dan A, Sehingga :

$$\frac{Mu'}{Mu,1} = 1,25$$

$$C = Mu' - Mu, 1$$

$$= 1,25 \cdot Mu, 1 - Mu, 1$$

$$= 0,25 Mu, 1$$

$$M_{u,sisa} = 0,25 Mu' - Mu, 1 \text{ whitney}$$

$$= 0,25 \cdot (77188333,66)$$

$$= 19297083,41 \text{ N} - \text{mm}$$

$$M_{u,sisa} = 0,25 Mu' - Mu, 1 \text{ PCA}$$

$$= 0,25 \cdot (87881948,21)$$

$$= 21970487,05 \text{ N} - \text{mm}$$

$$C_s = \frac{M_{u,sisa} \text{ Whitney}}{\phi \cdot (d - d')}$$

$$= \frac{19297083,41}{0,9 \cdot (350 - 50)}$$

$$= 71470,679 \text{ N} - \text{mm}$$

$$C_s = \frac{M_{u,sisa} \text{ PCA}}{\phi \cdot (d - d')}$$

$$= \frac{21970487,05}{0,9 \cdot (350 - 50)}$$

$$= 81372,174 \text{ N} - \text{mm}$$

Selanjutnya :

$$A'_{s,w} = \frac{C_{s,w}}{(f_y - (0,85 \cdot f_c'))}$$

$$= \frac{71470,679}{400 - (0,85 \cdot 20,7)}$$

$$= 186,898 \text{ N} - \text{mm}$$

$$A'_{s,PCA} = \frac{C_s,PCA}{(f_y - K_1(K_3 \cdot f'c))} \\ = \frac{81372,174}{400 - 0,82(0,97 \cdot 20,7)} \\ = 212,162 \text{ N - mm}$$

Selanjutnya menentukan tulangan tarik yaitu :

$$T, w = c_{c1} + c_s \\ = 235554,83 + 71470,679 \\ = 307025,51 \text{ N}$$

$$A_{s,W} = T, w / f_y \\ = 235554,83 / 400 \\ = 767,534 \text{ mm}^2$$

$$T, PCA = C + c_s \\ = 259322,23 + 81372,174 \\ = 340694,40 \text{ N}$$

$$A_{s,W} = T, PCA / f_y \\ = 340691,85 / 400 \\ = 851,736 \text{ mm}^2$$

Serta diperoleh pula syarat batas maksimum rasio tulangan, yaitu:

$$\text{Rasio}_A = \frac{A_s W}{A_s PCA} \\ = \frac{767,564}{851,736} \\ = 0,901 \text{ N - mm}$$

$$\text{Rasio}_{As'} = \frac{A_s W}{A_s PCA} \\ = \frac{186,898}{212,163} \\ = 0,881 \text{ N - mm}$$

Setelah menghitung nilai rasio tulangan Rangkap dengan dimensi 300 mm x 600 mm diperoleh nilai rasio A sebesar : 0,901 dan nilai rasio As' sebesar : 0,881

Hasil dan Pembahasan Rasio Tulangan Rangkap Dimensi 300 mm x 400 mm

Hasil perhitungan $A_{s,PCA}$ dan $A_{s,Whitney}$ dapat dilihat pada tabel

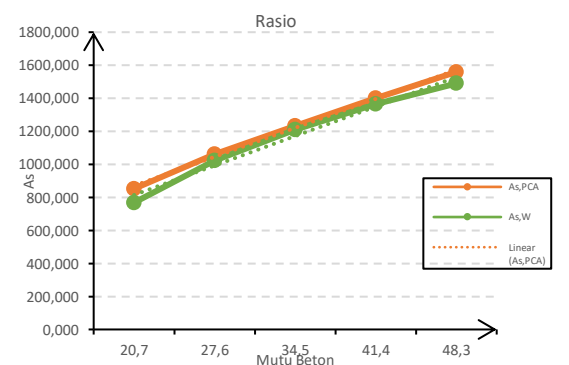
Tabel 4 Rasio Tulangan Rangkap Dimensi 300 mm x 400 mm

No	Mutu Beton	As,PCA	As,W	Rasio,A	Rasio,As'
	Mpa	mm ²	mm ²		
1	20.7	851.736	767.564	0.901	0.881
2	27.6	1060.619	1023.418	0.965	0.947
3	34.5	1232.272	1210.444	0.982	0.972
4	41.4	1399.860	1364.696	0.975	0.975
5	48.3	1559.382	1489.478	0.955	0.963

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan dengan mutu beton 20.7 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 851,736 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$: 767,564 mm², 27.6 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 1060,619 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$: 1023,418 mm², 34,5 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 1232,272 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$: 1210,444 mm², 41,4 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 1399,860 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$: 1364,696 mm², dan 48,3,4 Mpa mendapatkan nilai $A_{s,PCA}$: 1559,382 mm² sedangkan $A_{s,Whitney}$: 1489,478 mm²

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa mutu beton mempunyai pengaruh terhadap nilai $A_{s,PCA}$ dan $A_{s,Whitney}$.



Gambar 7. Grafik nilai Rasio dengan Tulangan Rangkap dimensi 300 mm x 400 mm

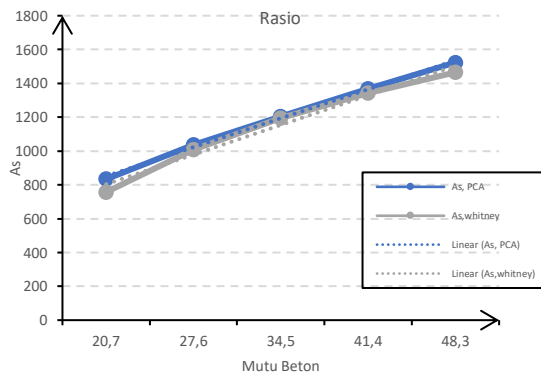
Sumber: Hasil Perhitungan,2022

Hasil dan Pembahasan Rasio Tulangan Adapun grafik nilai $A_{s,PCA}$ dan $A_{s,Whitney}$ dapat dilihat pada gambar sebagai berikut :

Tabel 5 Rasio Tulangan Tunggal Dimensi 300 mm x 500 m

No	Mutu Beton	As, PCA	As,whitney	Rasio
	Mpa	mm ²	mm ²	
1	20.7	834	757	0.908
2	27.6	1038	1010	0.973
3	34.5	1205	1193	0.990
4	41.4	1369	1344	0.982
5	48.3	1524	1465	0.962

Sumber: Hasil Perhitungan

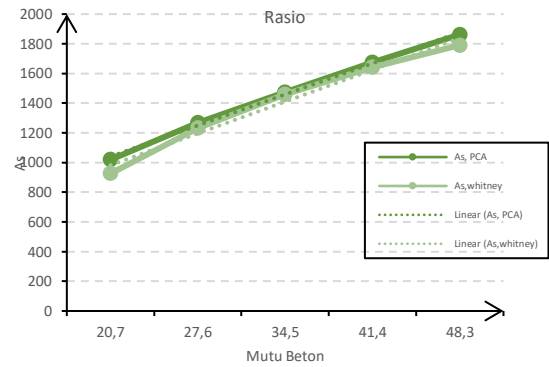


Gambar 8. Grafik nilai Rasio dengan Tulangan Tunggal dimensi 300 mm x 500 mm
 Sumber: Hasil Perhitungan,2022

Tabel 6 Rasio Tulangan Tunggal Dimensi 300 mm x 600 m

No	Mutu Beton	As, PCA	As,whitney	Rasio
	Mpa	mm ²	mm ²	
1	20.7	1019	925	0.908
2	27.6	1268	1234	0.973
3	34.5	1473	1458	0.990
4	41.4	1673	1642	0.982
5	48.3	1862	1791	0.962

Sumber: Hasil Perhitungan

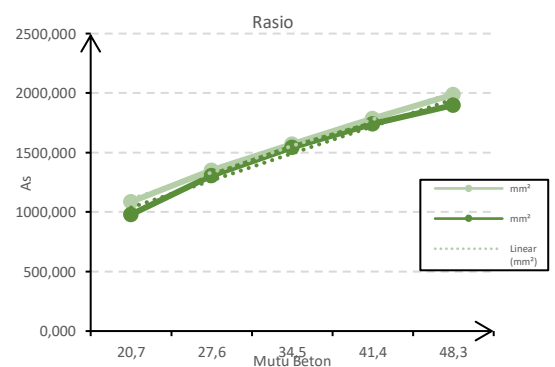


Gambar 9. Grafik nilai Rasio dengan Tulangan Tunggal dimensi 300 mm x 600 mm
 Sumber: Hasil Perhitungan,2022

Tabel 7 Rasio Tulangan Rangkap Dimensi 300 mm x 500 m

No	Mutu Beton	As,PCA	As,W	Rasio,A	Rasio,As'
	Mpa	mm ²	mm ²		
1	20.7	1085.748	978.663	0.901	0.881
2	27.6	1352.008	1304.884	0.965	0.947
3	34.5	1570.806	1543.309	0.982	0.972
4	41.4	1784.435	1739.936	0.975	0.975
5	48.3	1987.730	1898.981	0.955	0.963

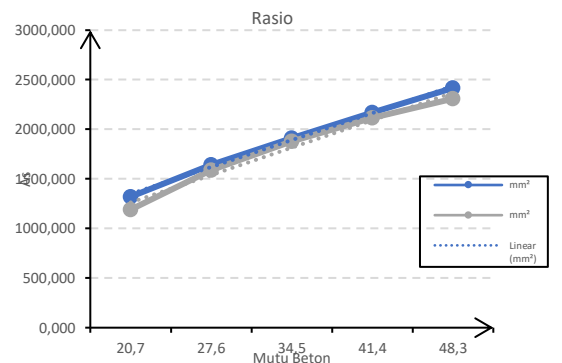
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 10. Grafik nilai Rasio dengan Tulangan Rangkap dimensi 300 mm x 500 mm
 Sumber: Hasil Perhitungan,2022

Tabel 8 Rasio Tulangan Rangkap Dimensi 300 mm x 600 m

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 11. Grafik nilai Rasio dengan Tulangan Rangkap dimensi 300 mm x 600 mm
Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

5. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan pengaruh kapasitas lentur balok beton bertulang dengan block stress whitney terhadap block stress test PCA dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisa menggunakan penampang balok nilai rasio tulangan yang dapat diterima test whitney terhadap test PCA adalah 34,5 Mpa karena tidak mempengaruhi kapasitas lentur dan nilainya stabil dari beberapa dimensi balok.
2. Berdasarkan analisa menggunakan nilai rasio tulangan yang dapat di terima test whitney terhadap test PCA adalah 27,6 Mpa , 34,5 Mpa dan 41,4 Mpa sedangkan nilai yang tidak bisa di terima adalah 20,7 Mpa karena menggunakan mutu beton tersebut tidak disarankan untuk bangunan gedung.

B. Saran

Dari hasil analisa perhitungan pengaruh kapasitas lentur balok beton bertulang dengan block stress whitney terhadap block stress test PCA dapat diambil beberapa saran antara lain sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan mutu beton diatas 20,7

Mpa karena beresiko pada bangunan mengalami keruntuhan.

2. Pemeriksaan nilai rasio pada balok perlu dilaksanakan untuk melengkapi informasi tentang pengaruh mutu beton terhadap kapasitas lentur balok beton bertulang.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Nuralinah, D. (2016). Beton Bertulangan Bambu Rajutan. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 10(2), 146–150.
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concret Structures*. John Wiley & Sons.
- Polypropylene, D., Sebesar, F., & Apriyatno, H. (n.d.). *KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG DARI BERAT SEMEN*. 149–160.
- Prasytio, Y., & Baja, P. P. (2019). *DAN MUTU PEKERJAAN PADA PROYEK GEDUNG BERTINGKAT ROYAL DENTAL HOSPITAL DI TANGERANG , BANTEN Identifikasi Masalah*. 01(02), 53–66.
- Priyono, P., & Nurtjahjaningtyas, I. (2021). *DESAIN DAN ANALISIS: STRUKTUR BETON BERTULANG 1* (Edisi kedua). CV. REVKA PRIMA MEDIA.
- Rommel, E., Rusdianto, Y., Malang, U. M., Malang, U. M., & Rommel, E. (2015). *Pemakaian Serat Plastik Secara Parsial Pada*. 978–979. <http://research-report.umm.ac.id/index.php/sentra/article/view/2021>
- Suarnita, I. W. (2012). Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang dengan Styrofoam Sebagai Pengganti Agregat Kasar. *SMARTek*, 9(2). <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/SMARTEK/article/view/614>
- Park, R dan. Paulay, T. 1975. Reinforced Concret Structures. John Wiley & Sons. New York-USA.
- Priyono, Pujo dan. Nurtjahjaningtyas, Indra. 2021. Desain Dan Analisis: Struktur Beton Bertulang 1. Edisi 1. CV. REVKA PRIMA MEDIA. Surabaya-INA.