

PENGARUH BENTUK PENAMPANG TERHADAP GAYA PRATEGANG DENGAN MUTU BETON, DAN LUAS PENAMPANG YANG SAMA

Johan Oberly Simanjuntak¹, Nurvita Insani M. Simanjuntak², Jona Preddi Sianipar³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nomensen, Medan

email : oberlyn.simanjuntak@yahoo.com¹, nurvita.simanjuntak@uhn.ac.id²,

jona.sianipar@student.uhn.ac.id³

ABSTRAK

Struktur beton prategang didesain berdasarkan konsep persamaan keseimbangan tegangan yang terjadi pada struktur. Dengan memanfaatkan kemampuan beton untuk menahan gaya tekan yang cukup besar, gaya prategang dapat diberikan melalui plat anker dengan menggunakan tendon prategang. Untuk meminimalkan tegangan yang terjadi ada kolerasinya dengan bentuk penampang. tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada serat atas ($f'a$) dan serat bawah ($f'b$) pada kelima bentuk penampang, Penelitian ini merupakan studi literature dengan menggunakan metode kombinasi beban dalam menganalisa permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini, Data yang direncanakan dalam Analisa perhitungan tegangan pada penampang persegi, penampang T, penampang Y, penampang I, dan penampang I tidak simetris dengan luas penampang yang sama (A)= 3663.9 cm², bentang 17 meter dan Mutu Beton $f'c$ = 40 MPa dilakukan dengan meninjau kondisi jalur kabel lurus eksentrisitas, Dari hasil analisa Tegangan terkecil sesaat transfer gaya prategang yang terkecil pada serat atas terdapat pada penampang I (5.95 kg/cm²), dan pada serat bawah terdapat pada penampang I tidak simetris (97.06 kg/cm²). Tegangan terkecil pada saat kondisi layan pada serat atas terdapat pada penampang Y(100.3 kg/cm²), dan serat bawah terdapat pada penampang I tidak simetris(8.4 kg/cm²). Dan lendutan terkecil terdapat pada penampang bentuk I tidak simetris (δ = 1,53 cm).

Kata kunci : Bentuk penampang, Gaya prategang, Tegangan, Lendutan

ABSTRACT

The prestressed concrete structure is designed based on the concept of the stress balance equation that occurs in the structure. By utilizing the ability of concrete to withstand a sufficiently large compressive force, prestressing forces can be applied through the armature plate by means of prestressing tendons. To minimize the stress that occurs there is a correlation with the shape of the cross section. The purpose of this study is to determine the stresses that occur in the top fiber ($f'a$) and the bottom fiber ($f'b$) in the five cross-sectional shapes, This research is a literature study using the combined load method in analyzing the problems raised in this study, The data planned in the analysis of stress calculations on a square cross-section, T-section, Y-section, I-section, and I-section are not symmetrical with the same cross-sectional area (A) = 3663.9 cm², span 17 meters and Concrete Quality $f'c$ = 40 MPa is carried out by reviewing the condition of the eccentricity straight cable path From the results of the analysis of the smallest instantaneous stress transfer of the smallest prestressing force on the top fiber is found in the I section (5.95 kg/cm²), and the bottom fiber is in the asymmetrical section I (97.06 kg/cm²). The smallest stress during service conditions on the top fiber is found in the Y section (100.3 kg/cm²), and the bottom fiber is in the asymmetrical I section (8.4 kg/cm²). And the smallest deflection is found in the asymmetrical I shape cross section (δ =1.53 cm).

Keywords: Cross-sectional shape, Prestressing force, Stress, Deflection

PENDAHULUAN

Struktur beton prategang didesain berdasarkan konsep persamaan keseimbangan tegangan yang terjadi pada struktur. Dengan memanfaatkan kemampuan beton untuk menahan gaya tekan yang cukup besar, gaya prategang dapat diberikan pada struktur melalui plat anker dengan menggunakan tendon prategang.

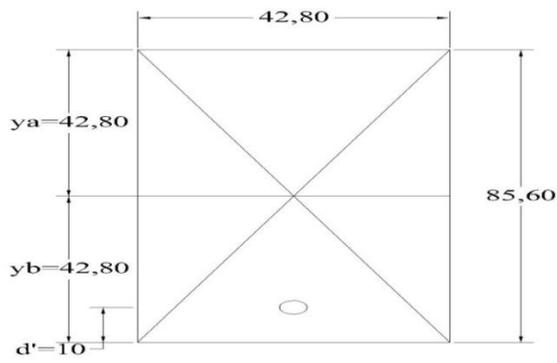
Beton Prategang adalah beton yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja. Beton prategang pada dasarnya adalah beton di mana tegangan-tegangan internal dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh beban-beban luar dilawan sampai suatu tingkat yang diinginkan. Prategang meliputi tambahan gaya tekan pada struktur untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan gaya tarik internal dan dalam hal ini retak pada beton dapat dihilangkan. Pada beton prategang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangan. Gaya tekan disebabkan oleh reaksi baja tulangan yang ditarik, mengakibatkan berkurangnya retak, elemen beton prategang akan jauh lebih kokoh dari elemen beton prategang biasa. Prategang juga menyebabkan gaya dalam yang berlawanan dengan gaya luar dan mengurangi atau bahkan menghilangkan lendutan secara signifikan pada struktur (Jeremy Maruli Sitorus, 2019).

Salah satu faktor yang mempengaruhi dalam penggunaan beton prategang ialah pemilihan bentuk penampang yang terbaik untuk beton prategang akibat lenturan. Bentuk yang sederhana adalah bentuk persegi panjang yang dimiliki oleh semua pelat pejal dan digunakan dalam untuk beberapa balok bentang pendek. Sejalan ini pemikiran mengenai acuan (cetakan, bekisting), penampang persegi panjang adalah yang paling ekonomis tetapi jarak kern kecil dan lengan momen yang tersedia untuk baja terbatas. Beton dekat sumbu yang melalui titik berat dan pada sisi tarik tidak efektif dalam menahan momen, terutama pada tahap batas. Sehingga bentuk-bentuk lain seringkali digunakan untuk beton prategang seperti penampang I dan penampang T (T. Y. Lin dan Ned H. Burns, 1988).

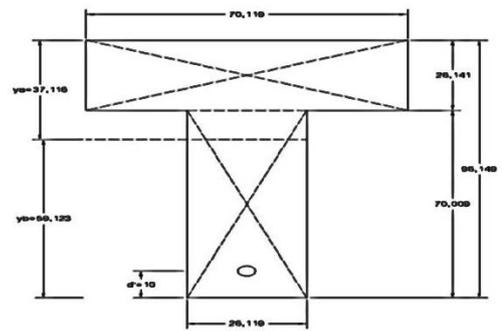
Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana cara menganalisa gaya prategang dari setiap bentuk profil. Jika ditinjau dari bentuk profil yang berbeda, tetapi mutu bahan, jarak eksentrisitas, luas penampang, dan beban luar yang sama melalui metode perhitungan beban kombinasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

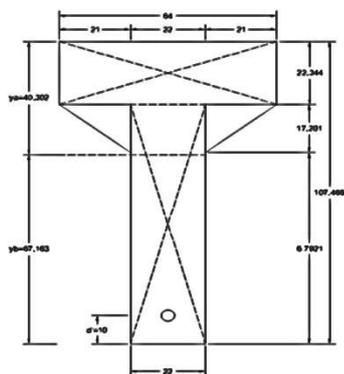
1. Untuk mengetahui tegangan yang terjadi sepanjang bentang pada kelima bentuk penampang.
2. Untuk mengetahui lendutan akibat bentuk jalur kabel lurus eksentris pada kelima bentuk penampang.



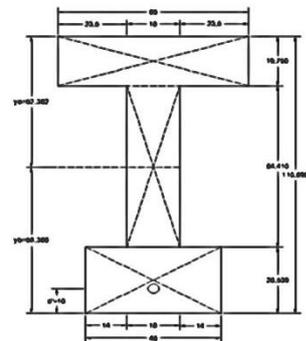
(A)



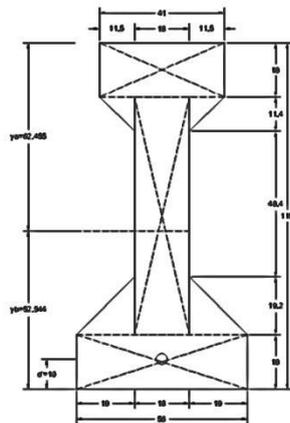
(B)



(C)



(D)



(E)

Gambar 1. 1 bentuk-bentuk penampang (A) penampang persegi, (B) penampang T, (C) penampang Y, (D) penampang I, (E) penampang I tidak simetris

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah suatu bahan yang mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, tetapi sebaliknya mempunyai kekuatan relatif sangat rendah terhadap tarik. Dengan menggunakan kombinasi beton dengan baja sebagai bahan struktur, maka tegangan-tegangan tarik dipikulkan kepada baja (Subiyanto, 1987).

a. Beton bertulang :

Cara bekerja beton bertulang adalah mengkombinasikan antara beton dan baja tulangan dengan membiarkan kedua material tersebut bekerja sendiri-sendiri, dimana beton bekerja memikul tegangan tekan dan baja penulangan memikul tegangan tarik. Jadi dengan menempatkan penulangan pada tempat yang tepat, beton bertulang dapat sekaligus memikul baik tegangan tekan maupun tegangan tarik (Ir. Soetoyo, 2015).

b. Beton pratekan :

Pada beton pratekan, kombinasi antara beton dengan mutu yang tinggi dan baja bermutu tinggi dikombinasikan dengan cara aktif, sedangkan beton bertulang kombinasinya secara pasif. Cara aktif ini dapat dicapai dengan cara menarik baja dengan menahannya kebeton, sehingga beton dalam keadaan tertekan. Karena penampang beton sebelum beban bekerja telah dalam kondisi tertekan, maka bila beban bekerja tegangan tarik yang terjadi dapat dieliminir oleh tegangan tekan yang telah diberikan pada penampang sebelum beban bekerja (Ir. Soetoyo, 2015).

Tidak seperti pada perencanaan beton bertulang biasa. pada perencanaan beton prategang ada dua tahap pembebanan yang harus dianalisa. Pada setiap tahap pembebanan harus selalu diadakan pengecekan atas kondisi pada bagian yang tertekan maupun bagian yang tertarik untuk setiap penampang.

Dua tahap pembebanan pada beton prategang adalah *Tahap Transfer* dan *Tahap Service (Layan)* (Ir. Soetoyo, 2015).

1. Tahap Transfer

Untuk metode pratarik, tahap transfer ini terjadi pada saat angker dilepas dan gaya prategang ditransfer ke beton. Untuk metode pascatarik, tahap transfer ini terjadi pada saat beton sudah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel prategang (Ir. Soetoyo, 2015).

Pada saat ini beban yang bekerja hanya berat sendiri struktur, beban pekerja dan peralatan, sedangkan beban hidup belum bekerja sepenuhnya, jadi beban yang bekerja sangat minimum, sementara gaya prategang yang bekerja adalah maksimum karena belum ada kehilangan gaya prategang.

Menghitung Tegangan sesaat transfer gaya prategang :

a. Tegangan tarik pada serat bawah balok :

$$f_b = -\frac{F_i}{A} - \frac{F_i.e}{W_a} + \frac{M_{bs}}{w_a} \leq \frac{1}{4}\sqrt{f'c} \quad 2.1$$

b. Tegangan tekan pada serat atas balok :

$$f_a = -\frac{F_i}{A} + \frac{F_i.e}{W_b} - \frac{M_{bs}}{w_b} \leq 0.6 f'c \quad 2.2$$

Dimana :

- A = Luas penampang (cm²)
- F_i = Gaya prategang awal (kg)
- MF = Momen akibat gaya prategang (kgcm)
- M_{bs} = Momen maksimum akibat beban mati (kgm)
- w_a = Momen perlawanan pada serat atas (cm³)
- w_b = Momen perlawanan pada serat bawah (cm³)

2. Tahap Serfis

Setelah beton prategang digunakan atau difungsikan sebagai komponen struktur, maka mulailah masuk ke tahap *service*, atau tahap layan dari beton prategang tersebut. Pada tahap ini beban luar seperti *live load*, angin, gempa dll. mulai bekerja, sedangkan pada tahap ini semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan didalam analisa strukturnya (Ir. Soetoyo, 2015).

Pada setiap tahap pembebanan pada beton prategang harus selalu dianalisis terhadap kekuatan, daya layan, lendutan terhadap lendutan ijin, nilai retak terhadap nilai batas yang diijinkan. Perhitungan untuk tegangan dapat dilakukan dengan pendekatan kombinasi pembebanan, konsep kopel internal (*internal couple concept*) atau metode be- ban penyeimbang (*load balancing method*), yang akan dibahas pada kuliah-kuliah berikutnya.

Menghitung Tegangan pada saat kondisi layan :

a. Tegangan tarik pada serat bawah balok :

$$f_b = -\frac{F_e}{A} - \frac{F_e.e}{W_a} + \frac{M_n}{w_a} \leq 0.25\sqrt{f'c} \quad 2.3$$

b. Tegangan tekan pada serat atas balok :

$$f_a = -\frac{F_e}{A} + \frac{F_e.e}{W_b} - \frac{M_n}{w_b} \leq 0.6\sqrt{f'c} \quad 2.4$$

Dimana :

- A = Luas penampang (cm²)
- F_e = Gaya prategang efektif setelah semua kehilangan prategang diperhitungkan (kg)
- MF = Momen akibat gaya prategang (kgcm)

- Mn = Momen nominal (kgm)
- wa = Momen perlawanan pada serat atas
- wb = Momen perlawanan pada serat bawah

Pengaruh Profil Tendon Terhadap Lendutan

Hampir semua kasus balok prategang menempatkan tendon dengan eksentrisitas mengarah ke tepi bawah balok untuk melawan momen lentur yang melengkungkan balok akibat beban transversal. Sebagai akibatnya, balok beton akan melengkungkan ke atas (*camber*) pada waktu pemberian prategang. Oleh karena itu, momen lentur pada setiap penampang merupakan hasil perkalian gaya prategang dan eksentrisitas, maka profil tendon itu sendiri akan menunjukkan bentuk D.M.L. Berikut ini dijelaskan metode perhitungan lendutan balok dengan profil kabel yang berbeda-beda (N Krishna Raju, 1989).

1. Tendon Lurus

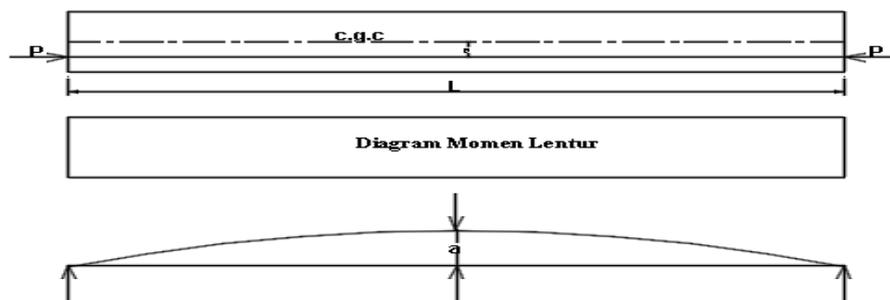
Profil atau jalur kabel lurus, menunjukkan sebuah balok dengan suatu tendon lurus dengan eksentrisitas yang konstan di bawah sumbu garis berat.

Lendutan ke atas dianggap negative.

$$\delta = -\frac{F_e e L^2}{8 E_c I_c} \tag{2.5}$$

Dimana :

- F_e = gaya prategang efektif (kN)
- e = eksentrisitas (mm)
- L = panjang balok (mm)
- δ = lendutan (mm)
- E_c = modulus elastisitas beton (MPa)
- I_c = inersia penampang (mm⁴)



Gambar 2.9 Balok yang melengkung ke atas dengan Tendon Lurus
(Sumber : beton prategang edisi kedua, 1989)

METODE PENELITIAN

Analisis penampang digunakan untuk mengetahui luasan, titik berat, momen inersia dan modulus penampang pada balok. Analisis penampang persegi adalah sebagai berikut :

Analisa perhitungan sebagai berikut :

1. Menghitung luas penampang balok :

$$A = b \times h \quad 3.1$$

2. Menghitung titik berat penampang :

$$y = y_a = y_b = \frac{1}{2} h \quad 3.2$$

3. Menghitung inersia :

$$I = \frac{1}{12} b \times h^3 \quad 3.1.3$$

4. Modulus penampang beton

$$W_a = W_b = I/y_a = I/y_b \quad 3.1.4$$

5. Inti kern (kern atas dan kern bawah

$$i^2 = \frac{I}{A} \quad 3.1.5a$$

$$K a' = \frac{i^2}{Y'_b}, K b' = \frac{i^2}{Y'_a} \quad 3.1.5b$$

6. Beban mati (berat sendiri balok) :

$$q_D = \text{luas penampang (A)} \times \text{berat isi beton } (\gamma) \quad 3.1.6$$

7. Menghitung momen pada balok :

- a. Momen akibat beban mati

$$M_D = \frac{1}{8} \times q_D \times L^2 \quad 3.1.7a$$

- b. Momen akibat beban hidup

$$M_L = \frac{1}{8} \times q_L \times L^2 + \frac{1}{4} \times P \times L \quad 3.1.7b$$

- c. Momen maksimum akibat Beban Mati dan Beban Hidup :

$$M = 1,2 M_D + 1,6 M_L \quad 3.1.7c$$

- d. Momen nominal yang dapat dipikul penampang :

$$M_n = Mu/\phi, \quad \text{dimana : } \phi = 0,85 \quad 3.1.7d$$

8. Gaya prategang

- a. Tegangan pada serat bawah

$$-\frac{F_0}{A_c} - \frac{F_0 \times e}{W_b} + \frac{M_n}{W_b} = 0 \quad 3.3.8a$$

b. Gaya prategang saat jacking

$$F_j = \frac{F_0}{0,85} \quad 3.3.8b$$

$$F_j = 0,80 \times n_t \times P_{bt}$$

Berdasarkan kedua rumus diatas maka diperoleh jumlah tendon yang digunakan dapat ditentukan dengan rumus :

$$n_t = \frac{F_0}{0,85 \times 0,8 \times P_{bt}} \quad 3.3.8b$$

c. Jumlah untaian kawat (*strand cable*)

$$n_s = \frac{F_0}{0,85 \times 0,8 \times P_{bs}} \quad 3.3.8c$$

d. Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% *jacking force*) :

$$p_o = \frac{F_0}{0,85 \times n_s \times P_{bs}} \quad 3.3.8d$$

e. Gaya prategang akibat *jacking* :

$$F_j = p_o * n_t * P_{bt} \quad 3.3.8e$$

Maka gaya prategang efektif (setelah mengalami kehilangan gaya prategang)

$$F_e = (100 - KP)\% \times P_j \quad 3.3.8f$$

9. Menghitung Tegangan sesaat transfer gaya prategang :

a. Tegangan tarik pada serat bawah balok :

$$f_b = -\frac{F_i}{A} - \frac{F_i.e}{W_a} + \frac{M_{bs}}{W_a} \quad 3.3.9a$$

b. Tegangan tarik pada serat atas balok :

$$f_a = -\frac{F_i}{A} + \frac{F_i.e}{W_b} - \frac{M_{bs}}{W_b} \quad 3.3.9b$$

10. Menghitung Tegangan pada kondisi layan :

a. Tegangan tarik pada serat bawah balok :

$$f_b = -\frac{F_e}{A} + \frac{F_e.e}{W_a} - \frac{M_n}{W_a} \quad 3.3.10a$$

b. Tegangan tarik pada serat atas balok :

$$f_a = -\frac{F_e}{A} - \frac{F_e.e}{W_b} + \frac{M_n}{W_b} \quad 3.3.1b$$

11. Analisa lendutan

Batas lendutan maksimum

$$\delta_{maks} = \frac{L}{250} \quad 3.3.11a$$

Modulus elastisitas beton

$$E = 4700\sqrt{f'c} \quad 3.3.11b$$

Lenduta jalur kabel lurus eksentris

$$\delta = -\frac{P_{eff} \times e \times L^2}{8EI} \quad 3.3.11c$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum menghitung analisa tegangan pada berapa bentuk penampang, penulis menetapkan data dari analisa tersebut sebagai berikut :

- Kuat tekan beton $f'c = 40$ MPa
- Kuat tekan awal beton ($f'ci$) $= (85\% f'c) = 34$ Mpa
- Panjang bentang yang direncanakan adalah $L = 17,1205$ m
- Berat isi beton adalah $\gamma = 2,4$ T/m³
- Beban hidup bergerak terpusat $P = 10$ Ton
- Beban hidup merata adalah $ql = 450$ kg/m³
- Jarak tendon keserat terluar adalah $d' = 10$ cm

1. Hasil perhitungan Tegangan beton kondisi layan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan diperoleh :

- Hasil perhitungan tegangan pada serat bawah (fb) sesaat transfer gaya

Tabel 4. 1 Tegangan pada serat bawah (fb) sesaat transfer gaya

No	Bentuk penampang	luas (A)	wb	Mbs	Fi	e	fb	ket 0.6 f'ci = 245,78
		cm ²	cm ³	kg/cm	kg	cm	kg/cm ²	kg/cm ²
1	bentuk persegi	3663.9	52268.5	5035441	333758.7	32.8	-204.1	fb < 0.6f'ci
2	bentuk T	3663.9	50320.35	5035441	249922	49.12	-212.1	fb < 0.6f'ci
3	bentuk Y	3663.9	53558.24	5035441	218850.7	57.16	-199.2	fb < 0.6f'ci
4	bentuk I	3663.9	91046.63		214658.4	48.33	-117.2	fb < 0.6f'ci

				5035441				
5	bentuk I tidak simetris	3663.9	109957.7	5035441	216518	42.54	-97.06	$f_b < 0.6 f'_{ci}$

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

Nilai tegangan serat bawah yang terjadi pada penampang bentuk persegi memiliki nilai sebesar -204.1 kg/cm^2 , penampang bentuk T sebesar -212.1 kg/cm^2 , penampang bentuk Y sebesar -199.2 kg/cm^2 , penampang bentuk I sebesar -117.2 kg/cm^2 , dan penampang bentuk I tidak simetris sebesar 97.06 kg/cm^2 . Dari hasil analisis perhitungan tegangan serat bawah pada Kelima bentuk penampang tersebut memenuhi syarat tegangan ijin pada serat bawah $0,6 f'_{ci}$ sebesar 245.78 kg/cm^2 . Dan tegangan serat bawah terkecil sesaat transfer gaya prategang terdapat pada penampang I sebesar 97.06 kg/cm^2 .

2. Hasil perhitungan tegangan pada serat atas (f_a) sesaat transfer gaya

Tabel 4. 2 Tegangan pada serat bawah (f_a) sesaat transfer gaya

No	Bentuk penampang	luas (A)	wa	Mbs	Fi	e	f_a	ket $0.25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 17.56$ kg/cm^2
		cm^2	cm^3	kg/cm	kg	cm	kg/cm^2	kg/cm^2
1	bentuk persegi	3663.9	52268.5	5035441	333758.7	32.8	22.0	$f_a > 0.6 f'_{ci}$
2	bentuk T	3663.9	80154.61	5035441	249922	49.12	22.1	$f_a > 0.6 f'_{ci}$
3	bentuk Y	3663.9	89254.21	5035441	218850.7	57.16	24.0	$f_a > 0.6 f'_{ci}$
4	bentuk I	3663.9	101432.6	5035441	214658.4	48.33	-5.95	$f_a < 0.6 f'_{ci}$
5	bentuk I tidak simetris	3663.9	92510.01	5035441	216518	42.54	-13.96	$f_a < 0.6 f'_{ci}$

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

Nilai tegangan serat atas yang terjadi pada penampang bentuk persegi memiliki nilai sebesar -15.04 kg/cm^2 , penampang bentuk T sebesar -17.12 kg/cm^2 , penampang bentuk Y sebesar -19.27 kg/cm^2 , penampang bentuk I sebesar 8.52 kg/cm^2 , dan penampang bentuk I tidak simetris sebesar 16.34 kg/cm^2 dari hasil analisis perhitungan tegangan serat atas pada Kelima bentuk

penampang tersebut hanya 2 penampang yang memenuhi syarat tegangan ijin pada serat atas $0.25 \sqrt{f'c} = 17.56 \text{ kg/cm}^2$ yaitu penampang I dan penampang I tidak simetris. Dan tegangan serat atas terkecil sesaat transfer gaya prategang terdapat pada penampang I sebesar 5.95 kg/cm^2 .

2. Hasil perhitungan Tegangan beton kondisi layan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan diperoleh :

1. Hasil perhitungan tegangan pada serat bawah (fb) kondisi layan

Tabel 4. 3 Tegangan pada serat bawah (fb) kondisi layan

No	Bentuk penampang	Luas (A)	wb	Mn	Fe	e	fb	ket $0.25\sqrt{f'c} = 19.04$
		cm^2	cm^3	kg/cm	kg	cm	kg/cm^2	kg/cm^2
1	bentuk persegi	3663.9	52268.5	15708647	314125,8	32.8	17.67	$fb < 0.25\sqrt{f'c}$
2	Bentuk T	3663.9	50320.35	15708647	235220,7	49.12	18.36	$fb < 0.25\sqrt{f'c}$
3	bentuk Y	3663.9	53558.24	15708647	205977,1	57.16	17.25	$fb < 0.25\sqrt{f'c}$
4	bentuk I	3663.9	91046.63	15708647	202031,4	48.33	10.14	$fb < 0.25\sqrt{f'c}$
5	bentuk I tidak simetris	3663.9	109957.7	15708647	203781,7	42.54	8.40	$fb < 0.25\sqrt{f'c}$

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

Dari hasil analisis perhitungan tegangan serat bawah pada Kelima bentuk penampang tersebut masih memenuhi syarat tegangan ijin pada serat bawah $0,25 \sqrt{f'c}$ sebesar 19.04 kg/cm^2 dan tegangan serat bawah yang terkecil terdapat pada penampang I tidak simetris dengan nilai sebesar 8.40 kg/cm^2 .

2. Hasil perhitungan tegangan pada serat atas (fa) kondisi layan

Tabel 4. 4 Tegangan pada serat bawah (fa) kondisi layan

No	Bentuk penampang	Luas (A)	wa	Mn	Fe	e	fa	ket $0.6 \cdot f'c = 289.15$
		cm^2	cm^3	kg/cm	kg	cm	kg/cm^2	kg/cm^2

1	bentuk persegi	3663.9	52268.5	15708647	314125,8	32.8	-189.1	$f_a < 0.6 f'_c$
2	bentuk T	3663.9	80154.61	15708647	235220,7	49.12	-116.0	$f_a < 0.6 f'_c$
3	bentuk Y	3663.9	89254.21	15708647	205977,1	57.16	-100.3	$f_a < 0.6 f'_c$
4	bentuk I	3663.9	101432.6	15708647	202031,4	48.33	-113.7	$f_a < 0.6 f'_c$
5	bentuk I tidak simetris	3663.9	92510.01	15708647	203781,7	42.54	-131.7	$f_a < 0.6 f'_c$

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

Dari hasil analisis perhitungan tegangan serat bawah pada Kelima bentuk penampang tersebut memenuhi syarat tegangan ijin pada serat bawah $0,6 f'_c$ sebesar 245.78 kg/cm^2 . Dan tegangan serat bawah terkecil sesaat transfer gaya prategang terdapat pada penampang I sebesar 97.06 kg/cm^2 .

3. Hasil perhitungan lendutan diberikan pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 perhitungan lendutan

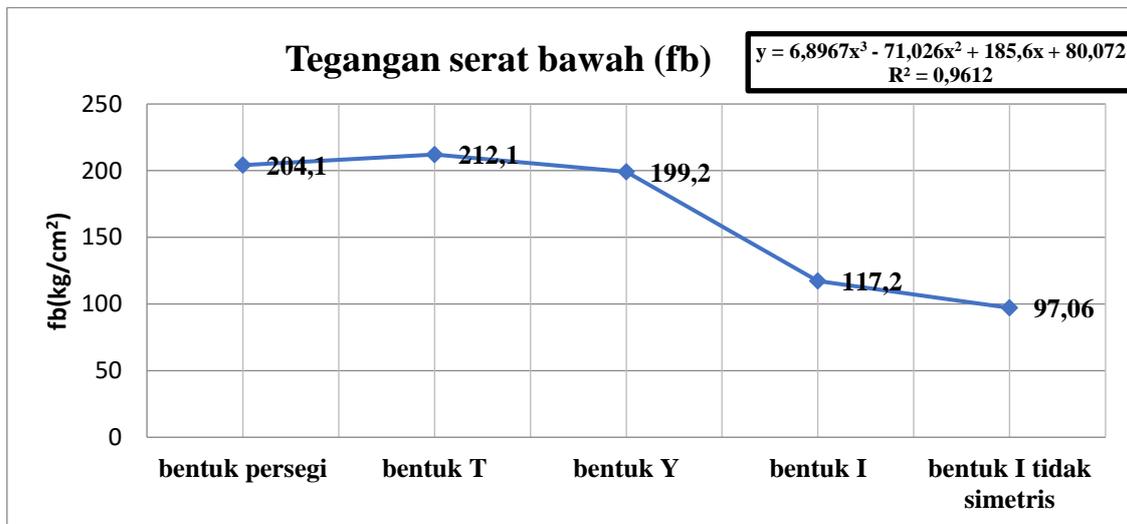
Lendutan								
No	Bentuk penampang	Fe (kg)	e (cm)	E kg/cm^2	L^2 (cm)	I (Cm^4)	Lendutan (δ) (cm)	Ket $(\delta_{ijin}) = \frac{L}{250} = 6.84 \text{ cm}$
1	bentuk persegi	314125,8	32.8	358137.5	2931115	2237091	4.71	$(\delta) < (\delta_{ijin})$
2	Bentuk T	235220,7	49.12	358137.5	2931115	2975094	3.97	$(\delta) < (\delta_{ijin})$
3	Bentuk Y	205977,1	57.16	358137.5	2931115	5311315	3.34	$(\delta) < (\delta_{ijin})$
4	Bentuk I	202031,4	48.33	358137.5	2931115	5311315	1.88	$(\delta) < (\delta_{ijin})$
5		203781,7	42.54	358137.5	2931115	5777719	1.53	$(\delta) < (\delta_{ijin})$

	bentuk I tidak simetris						
--	-------------------------------	--	--	--	--	--	--

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

Lendutan Kelima bentuk penampang tersebut masih memenuhi $\delta_{ijin} = \frac{L}{250}$ sebesar 6.84 cm yang diberikan masih tergolong aman. dan lendutan terkecil terdapat pada penampang I tidak simetris dengan nilai sebesar 1.53 cm.

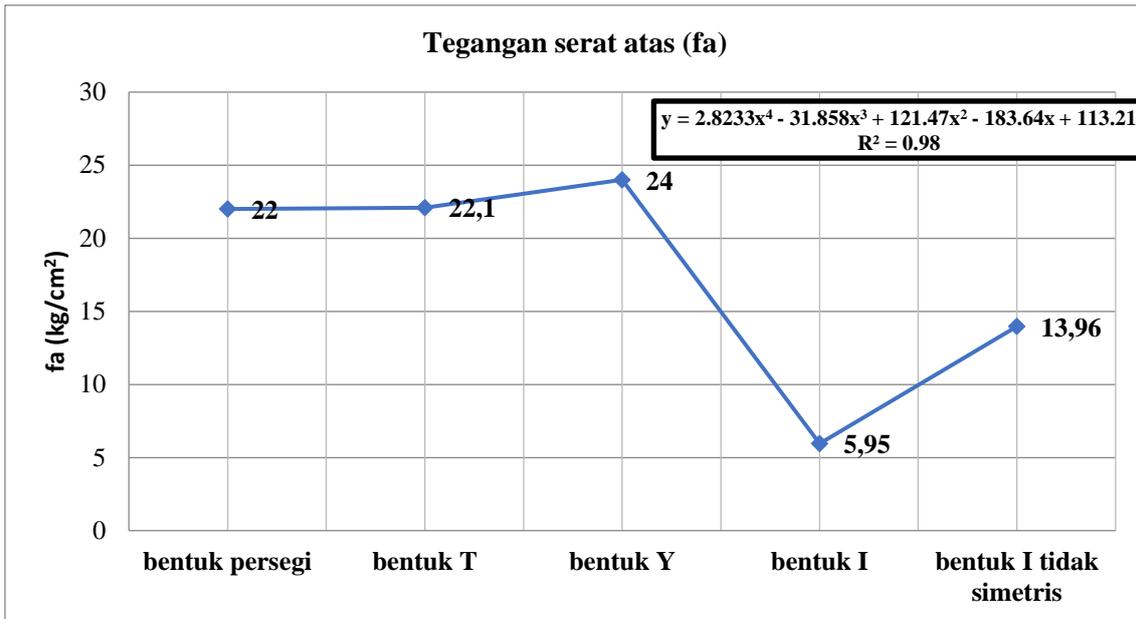
Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara tegangan serat bawah dengan penampang sesaat transfer gaya.



Gambar 4. 1 Diagram hubungan tegangan serat atas dengan penampang

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

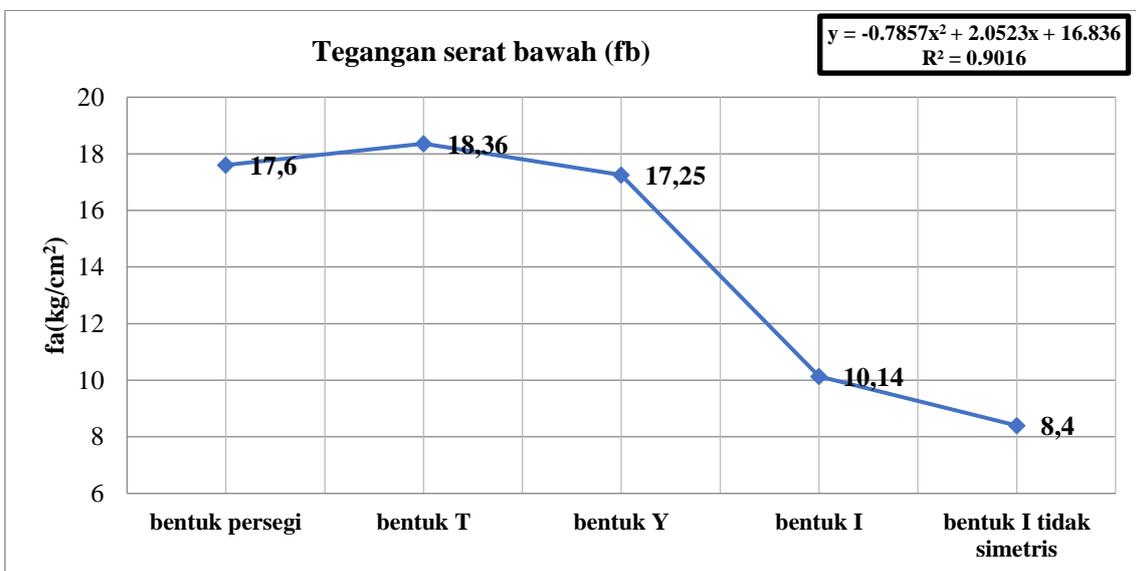
Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara tegangan serat bawah dengan penampang sesaat transfer gaya.



Gambar 4. 2 Diagram hubungan tegangan serat atas dengan penampang

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

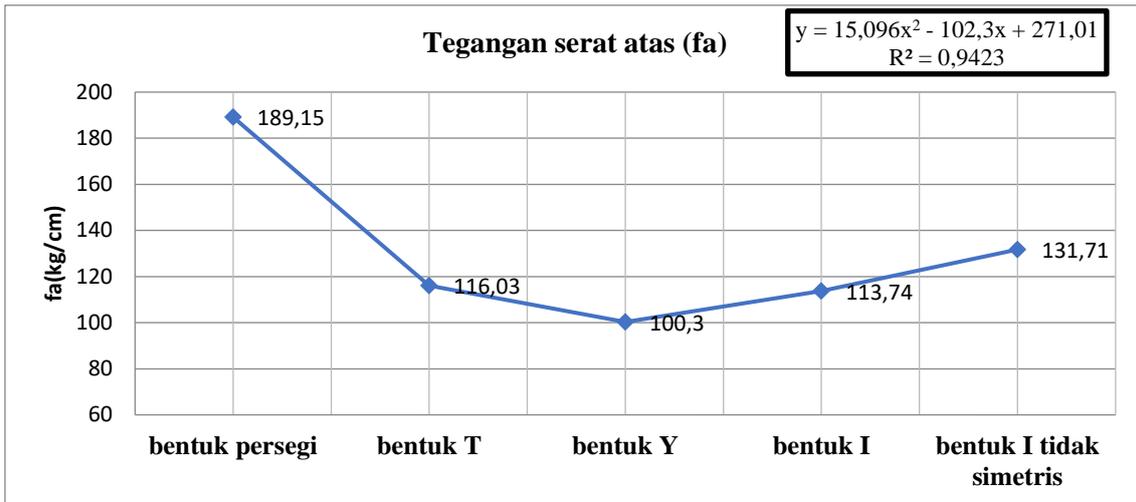
Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara tegangan serat bawah dengan penampang kondisi layan.



Gambar 4. 3 Diagram hubungan tegangan serat bawah beton kondisi layan

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

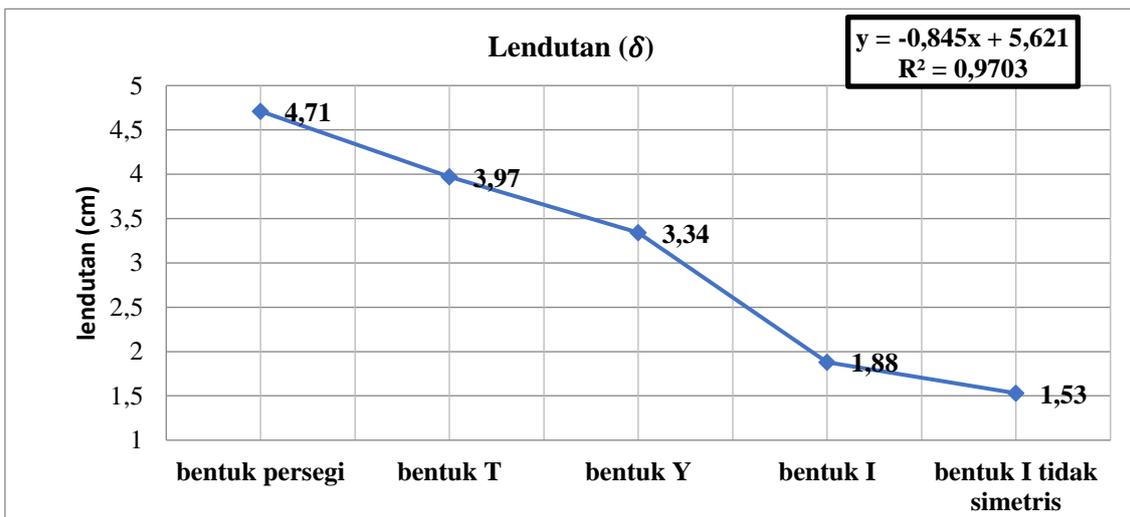
Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara tegangan serat atas dengan penampang kondisi layan.



Gambar 4. 4 Diagram hubungan tegangan serat atas beton kondisi layan

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara lendutan dengan bentuk penampang



Gambar 4. 5 Diagram hubungan lendutan dengan penampang

(Sumber : hasil penelitian, 2022)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa perhitungan gaya prategang dengan lima bentuk desain penampang yaitu Penampang Bentuk Persegi, Penampang bentuk T, Penampang bentuk Y, penampang bentuk I, dan Penampang Bentuk I Tidak Simetris. Dari hasil analisis tegangan dapat disimpulkan bahwa :

1. Tegangan yang terjadi pada kelima bentuk penampang :

- a. Nilai tegangan serat atas sesaat transfer gaya terkecil terdapat pada penampang bentuk I sebesar 5.59 kg/cm^2 . Sedangkan nilai tegangan serat bawah terkecil terdapat pada penampang bentuk I tidak simetris sebesar 97.06 kg/cm^2 .
 - b. Nilai tegangan pada saat kondisi layan terkecil pada serat atas terdapat pada penampang bentuk Y sebesar 100.30 kg/cm^2 . Sedangkan nilai tegangan serat bawah terkecil terdapat pada penampang bentuk I sebesar 8.4 kg/cm^2 .
2. Lendutan terkecil terdapat pada penampang bentuk I tidak simetris dengan nilai sebesar ($\delta = 1,53 \text{ cm}$).

DAFTAR PUSTAKA

- Anugerah, D., Kristiawan, A. S., Purwanto, E. 2018. *Optimasi Penampang Persegi Panjang Pada Elemen Balok Prategang (Studi Kasus : Hotel Alila Surakarta)*. Surakarta: Matriks Teknik sipil, 6(1), 87- 90.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2002. SNI 03-2847: 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2016. SNI 1154: 2016. *Tujuh Kawat Baja Tanpa Lapisan Dipilin Untuk Konstruksi Beton Pratekan (PC strand/ KBjP-P7)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Kojongian, M. A., Dapas, O. S., Wallah, A. S. 2018. *Desain Struktur Balok Beton Prategang Untuk Bangunan Industry*, Manado: Jurnal Sipil Statistik, 6(11), 964-971.
- Legowo, E. A. R., Imron, M. 1996. *Kapasitas Lentur Balok Beton Prategang Post Tension Dengan Grouting Pada Pasca Retak*. Tugas Akhir. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Lin, T. Y. dan Burns, Ned. H 1988. *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Maruli, Jeremy. 2019. *Hubungan Eksentrisitas Kabel Dengan Gaya Prategang (Studi Literatur)*. Tugas Akhir. Medan: Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Univeritas HKBP Nomensen Medan.
- Nawy, G. E. 2001. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Prayuda, H., Maulana, I. T., Hidayat, A., Angraini, K. 2021. *Pengaruh Modifikasi Penampang Pada I-girder Dan Box Girder Beton Prategang Terhadap Kekakuan Dan Lendutan*, Yogyakarta: Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil, 27(1), 100-103.
- Raju, N. K. 1989. *Beton Prategang Edisi kedua*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Soetoyo. 2015. *Konstruksi Beton Pratekan*. Jakarta: Penerbit Gunadarma.
- Subiyanto. 1987. *Penyelesaian Soal-Soal Ujian Konstruksi Beton Pratekan*, Jakarta: Penerbit Cipta Science Series.