

Penerapan Sistem Prategang pada Perancangan Struktur Bentang Panjang Gedung Poltekkes Mataram

Riza Wijanarko^{1*}, Hariyadi², Adryan Fitriyudha³

Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram-83115, Indonesia^{1,3}

Universitas Mataram, Mataram-83125, Indonesia²

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Balok Prategang; Gedung Bertingkat; Tendon.

***Correspondence email:**
wijanarkoriza@gmail.com

Submitted: 23-07-2025

Revised: 26-07-2025

Accepted: 27-07-2025

Published: 05-08-2025

ABSTRAK

Gedung Poltekkes Mataram yang terletak di Mataram, Nusa Tenggara Barat terdiri dari 4 lantai dengan tinggi total 16,8m. Seluruh lantai gedung ini menggunakan struktur beton bertulang, yang membuatnya rentan terhadap gaya lateral, terutama yang disebabkan oleh gempa bumi. Gempa bumi berisiko menyebabkan kerusakan bangunan, oleh karena itu diperlukan struktur yang kuat untuk memikul beban struktur dan memberikan tekanan pada struktur balok. Salah satu metode untuk memperkuat struktur tersebut adalah dengan menggunakan balok prategang. Penelitian ini dilakukan dengan mengubah desain struktur balok dari konvensional menjadi struktur balok prategang. Permasalahan peneliti pada penelitian ini adalah bagaimana perbandingan efisiensi berat bangunan menggunakan balok konvensional dengan balok prategang dan bagaimana pengaruh balok prategang terhadap bentangan antar kolom. Sehingga peneliti mendapatkan tujuan yaitu mengetahui perbandingan efisiensi berat bangunan menggunakan balok konvensional dengan balok prategang dan mengetahui pengaruh balok prategang terhadap bentangan antar kolom. Pada penelitian ini digunakan jenis metode pengumpulan data umum, yaitu pengumpulan data yang dilakukan dengan mengumpulkan gambar kerja dari penyedia jasa proyek. Hasil analisis yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa balok prategang menggunakan beton dengan kuat tekan 50 MPa, dimensi 1,6 m x 0,6 m dan gaya prategang awal sebesar 400 kN. Balok prategang ini mengalami kehilangan gaya prategang sebesar 12,87 %. Jumlah tendon yang digunakan sebanyak 1 tendon dengan jumlah 4 strand dalam satu tendon. Berat bangunan dengan menggunakan balok prategang lebih ringan dibandingkan dengan balok konvensional dengan efisiensi sebesar 7,471 %. Kesimpulannya bangunan dengan menggunakan balok prategang lebih efisien daripada menggunakan balok konvensional

ABSTRACT

Keywords:

Pre-stressed beam; High rise building; Tendon.

The Mataram Poltekkes building located in Mataram, West Nusa Tenggara consists of 4 floors with a total height of 16.8m. The entire floor of this building uses a reinforced concrete structure, which makes it vulnerable to lateral forces, especially those caused by earthquakes. Earthquakes are at risk of causing building damage, therefore a strong structure is needed to carry the load of the structure and put pressure on the beams structure. One method to strengthen the structure is by using prestressed beams. This research was conducted by changing the design of the beams structure from conventional to prestressed beams structure. The research problems in this study is how the comparison of the weight efficiency of buildings using conventional beams with prestressed beams and how the effect of prestressed beams on the stretch between columns. so that researcher get the purposes of knowing the comparison of the weight efficiency of buildings using conventional beams with prestressed beams and knowing the effect of prestressed beams on the stretch between columns. In this study, a general type of data collection method was used, namely data collection carried out by collecting working drawings from project service providers. The results of the analysis showed that the prestressed beams used concrete with a compressive strength of 50 MPa, dimensions of 1.6 m x 0.6 m and an initial prestress force of 400 kN. These prestressed beams experienced a loss of prestress force of 12.87%. The number of tendons used is 1 tendon with a total of 4 strands in one tendon. The weight of the building using prestressed beams is lighter than conventional beams with an efficiency of 7.471%. In conclusion, buildings using prestressed beams are more efficient than using conventional beams

PENDAHULUAN

Gedung layanan pendidikan merupakan gedung yang digunakan untuk melakukan proses belajar mengajar dalam rangka mewujudkan tugas dan fungsi suatu bidang pendidikan yaitu memberikan layanan pendidikan dibidang kesehatan. Pembangunan gedung pendidikan dan laboratorium terpadu di Poltekkes Mataram, sangat dibutuhkan mengingat saat ini sarana dan prasarana sudah tidak memenuhi kebutuhan dan daya tampung. Gedung Poltekkes Mataram merupakan bangunan yang akan dibangun dengan tinggi 8 lantai, namun pada tahap pertama gedung ini

dibangun dengan tinggi 4 lantai. Gedung ini merupakan tipe struktur bangunan bentang lebar, sehingga memerlukan pondasi dan kolom yang banyak. Dalam mengefisiensi anggaran biaya pada pondasi dan kolom, maka digunakan balok prategang. (Imanda & Trijanto, 2021)

Balok prategang merupakan salah satu cara perkuatan struktur untuk menahan beban salah satunya gaya lateral. Gaya lateral merupakan gaya yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Gempa bumi tersebut mempunyai risiko terjadinya kerusakan bangunan. (Simatupang et al., 2023)

Beton prategang merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan dua jenis bahan mutu tinggi yaitu beton (*High Strength Concrete*) dan baja (*High Strength Steel*), dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya pada beton sehingga membuat beton mendapatkan tekanan dari tarikan baja. (Konjangin et al., 2022) Kombinasi dari kedua bahan tersebut menghasilkan perilaku yang lebih baik. Kemampuan beton menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi. Sehingga, beton prategang merupakan kombinasi yang ideal. (Desy Pratiwi et al., 2022)

Penggunaan balok prategang pada bangunan Gedung Poltekkes Mataram memungkinkan struktur dengan dimensi penampang yang lebih kecil namun memiliki kapasitas memikul beban yang lebih besar dengan bentang yang lebih panjang. Dengan penampang yang lebih kecil, anggaran pembangunan konstruksi bangunan lebih ekonomis dan berat sendiri bangunan struktur bangunan menjadi lebih ringan (Pratama et al., 2018.)

Berdasarkan beberapa alasan di atas maka dilakukan penelitian pada Gedung Poltekkes Mataram yang pada awalnya menggunakan konstruksi beton konvensional kemudian direkayasa menggunakan beton prategang.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi berat struktur antara balok konvensional dan balok prategang, menganalisis pengaruh penggunaan balok prategang terhadap jarak bentang antar kolom, dan mengetahui cara merencanakan bangunan gedung menggunakan balok prategang. Peneliti berharap penelitian ini bermanfaat terutama dalam pendalaman wawasan perencanaan struktur balok yang lebih efektif dan juga efisien yang ditinjau dari beberapa aspek seperti jarak bentangan dan dimensi struktur, sehingga dapat menghindari terjadinya kegagalan struktur.

Prinsip Beton Prategang

1. Sistem prategang untuk mengubah beton yang getas menjadi bahan yang elastis.

a. diatas garis netral :

$$F_{total} = \frac{P}{A} + \frac{M \cdot c}{I} \tag{1}$$

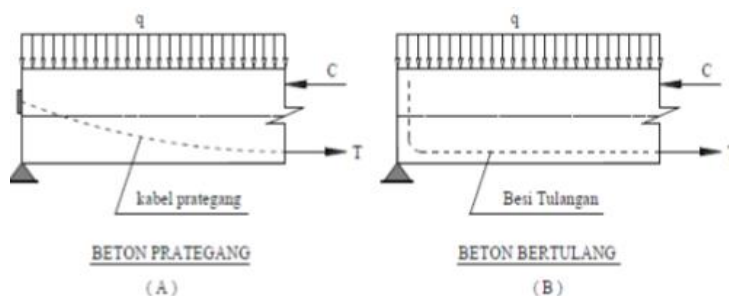
(tidak boleh melampaui tegangan hancur beton)

b. dibawah garis netral :

$$F_{total} = \frac{P}{A} - \frac{M \cdot c}{I} \tag{2}$$

(tidak boleh lebih kecil dari nol)

2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton mutu tinggi.

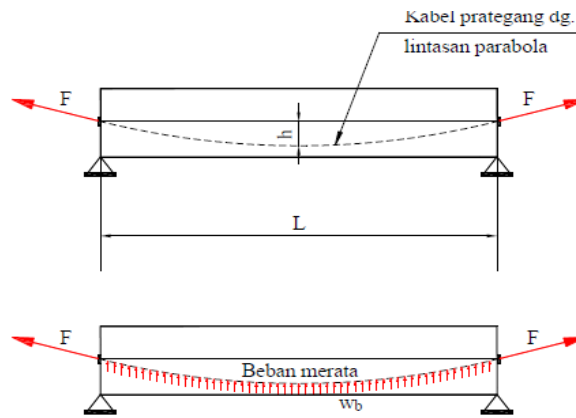


Gambar 1 Desain Struktur Beton Prategang

Sumber: T.Y Lin & N.H. Burns (2000)

Pada beton prategang, baja prategang ditarik dengan gaya prategang T yang mana membentuk suatu momen kopel dengan gaya tekan pada beton C untuk melawan momen akibat beban luar, dengan nilai $C = T$ dan $M_{luar} = M_{dalam}$ dengan nilai $M_{dalam} = C \times Z$ (beton bertulang) dan $C \times a$ (beton prategang).

3. Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban



Gambar 2 Desain Struktur Beton Prategang

Sumber: T.Y Lin & N.H. Burns (2000)

Suatu balok beton yang ditempatkan diatas dua tumpuan dikenai gaya prategang (F) melalui suatu kabel prategang yang membentuk lintasan parabola. Beban yang ditimbulkan oleh gaya prategang dan tersebar merata ke arah atas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Wb = \frac{8 \cdot F \cdot h}{L^2} \quad (3)$$

Dimana:

Wb = Beban merata kearah atas, akibat gaya prategang F

h = Tinggi parabola lintasan kabel prategang

L = Bentangan balok

F = Gaya Prategang

METODE

Pada penelitian ini digunakan jenis metode pengumpulan data umum, yaitu mengumpulkan gambar kerja yang diperoleh dari penyedia jasa proyek. Gambar kerja tersebut berfungsi sebagai acuan dalam perencanaan gedung pada penelitian ini.

Tahapan yang dilakukan agar sistematis dan teratur, maka penulis menggunakan ketentuan yang berlaku pada peraturan SNI 2847-2019 (persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan), SNI 1726-2019 (tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung), SNI 7833-2012 (badan standardisasi nasional tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung), dan PPURG 1987 (pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung 1987) sebagai acuan.

Material yang digunakan pada perencanaan ini adalah :

1. Mutu baja (f_y) : 420 MPa (Tulangan pokok)
280 MPa (Tulangan sengkang)
2. Mutu beton (f'_c) : 25 MPa (Non Prategang)
50 MPa (Prategang)
3. Tipe strand : ASTM A 416-06 Grade 270 (VSL)
4. Diameter strand : 12,7 mm
5. Luas penampang strand : 98,7 mm²
6. Tendon : Kawat Strand (Post-Tension) Ø12.70 mm

Pada tahapan selanjutnya setelah semua data sudah terkumpul, akan direncanakan ukuran dimensi balok. Terdapat 2 tipe balok dalam perencanaan ini yaitu balok konvensional dan balok prategang. Dalam hal ini balok konvensional akan digunakan pada balok melintang, sedangkan balok prategang akan digunakan pada balok memanjang. Pada tahapan selanjutnya adalah tahap pembebanan. Pembebanan ini terdiri dari kombinasi beban hidup, beban mati dan beban gempa. Dalam hal ini mengacu pada SNI 1726-2019 dan PPURG 1987 sebagai acuan. Setelah memperoleh kombinasi pembebanan *ultimate*, kemudian menganalisa dan mendesain struktur gedung menggunakan bantuan aplikasi SAP 2000 untuk mendapatkan besarnya nilai momen, gaya geser, dan gaya-gaya dalam pada struktur gedung. Pada tahapan selanjutnya adalah menghitung gaya prategang awal dan setelah beban layan bekerja serta menentukan jumlah dan lintasan tendon yang diperlukan. Tahap berikutnya yaitu perhitungan kehilangan gaya akibat proses pemberian gaya prategang pada balok. Dilanjutkan ketahap kontrol terhadap gaya geser, momen dan lendutan yang diperoleh dari perhitungan. Dalam tahapan ini apabila ternyata hasil kontrol tidak sesuai, maka tahapan akan kembali pada tahap awal

merencanakan ukuran dimensi balok. Akan tetapi apabila pada tahapan kontrol ternyata hasilnya sesuai, maka tahapan akan dilanjutkan ke tahap akhir yaitu gambar balok dan letak tendon.

HASIL

Merencanakan Dimensi

Dalam proses perencanaan struktur bangunan ini, tahap awal yang dilakukan adalah menentukan dimensi struktur yang akan digunakan. Dimensi struktur direncanakan sebagai berikut:

Tabel 1 Perencanaan Dimensi Struktur

Nama struktur	Lebar (b) (m)	Tinggi (h) (m)
Balok memanjang (konvensional)	0,35	0,7
Balok melintang (konvensional)	0,15	0,25
Balok memanjang (prategang)	0,6	1,6
Kolom lantai 1-2	1,4	0,8
Kolom lantai 3-4	1,3	0,75
Kolom bulat	r = 0,3	
Plat lantai	0,12	

Sumber: Data olahan (2025)

Perhitungan Massa Bangunan

Penghitungan massa bangunan pada setiap lantai digunakan sebagai dasar dalam menentukan beban gempa horizontal untuk tiap lantai bangunan. Rekapitulasi perhitungan massa bangunan tiap lantai sebagai berikut:

Tabel 2 Rekapitulasi Massa Bangunan

Lantai	Beban hidup (Kg/m ²)	Beban mati (Kg/m ²)	Beban kombinasi (Kg)
Lantai 1	250	435	1.329.081,6
Lantai 2	250	435	1.329.081,6
Lantai 3	250	435	1.298.035,2
Lantai 4	250	435	1.298.035,2
	Total		5.254.233,6

Sumber: Data olahan (2025)

Perhitungan Spektrum Respon Desain

Adapun analisis respon *spectrum* wilayah gempa, dapat ditemukan secara otomatis melalui alamat website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> dengan hasil yaitu lokasi gedung Poltekkes Kemenkes Mataram berada di Jalan Prabu Rangkasari, Desa Dasan Cermen, Kecamatan Cakranegara, Kota Mataram Provinsi Nusa Tenggara Barat dengan koordinat Lintang : -8.606746859781188 dan Bujur : 116.1301704890761. Jenis tanah yang teridentifikasi termasuk dalam kategori tanah lunak (SE).

1. Mengitung nilai S_S dan S_I berdasarkan lokasi pekerjaan

Bangunan terletak di Kota Mataram

$$S_S = 1,0344 \text{ g}$$

$$S_I = 0,4043 \text{ g}$$

2. Menghitung nilai F_a dan F_v berdasarkan kelas situs, nilai S_S dan S_I

Kelas situs = SE

$$S_S = 1,0344 \text{ g, maka nilai } F_a = 1,0725$$

$$S_I = 0,4043 \text{ g, maka nilai } F_v = 2,3194$$

3. Menghitung nilai S_{MS} dan S_{MI} berdasarkan nilai F_a , F_v , S_S dan S_I

$$S_{MS} = F_a \times S_S \tag{4}$$

$$= 1,0725 \times 1,0344 = 1,1094 \text{ g}$$

$$S_{MI} = F_v \times S_I \tag{5}$$

$$= 2,3194 \times 0,4043 = 0,9377 \text{ g}$$

4. Menghitung nilai S_{DS} dan S_{D1} berdasarkan nilai S_{MS} dan S_{MI}

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \tag{6}$$

$$= \frac{2}{3} \times 1,1094 = 0,7396 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{MI} \tag{7}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0,9377 = 0,6252 \text{ g}$$

5. Menentukan kategori risiko berdasarkan SNI 1726-2019
Fungsi bangunan adalah gedung kuliah dan fasilitas pendidikan, maka masuk dalam kategori risiko IV
6. Menentukan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) berdasarkan kategori risiko
Kategori risiko IV, maka faktor keutamaan gempa 1,5
7. Menentukan nilai kategori desain seismik berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1}
 $S_{DS} = 0,7396$, maka kategori risiko D
 $S_{D1} = 0,6252$, maka kategori risiko D
Jadi, kategori desain seismik yang terpakai adalah D
8. Menentukan sistem struktur dan parameter struktur berdasarkan kategori desain seismik
Struktur bangunan dirancang dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan koefisien dan faktor yang didapat sebagai berikut :
Koefisien modifikasi respons (R) = 8
Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 3
Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5
9. Menentukan periode fundamental pendekatan (T_a)
 $T_a = C_t \times h_n^x$ (8)
 $= 0,0466 \times 16,8^{0,9} = 0,5904$ detik
10. Menentukan nilai eksponen yang terkait dengan periode struktur (k)
 $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
 $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$
Karena nilai $T_a = 0,5904$ detik lebih dari 0,5 dan kurang dari 2,5 maka untuk mencari nilai k menggunakan interpolasi
 $k = 1 + \frac{(0,5904-0,5)}{(2,5-0,5)} \times (1-2)$ (9)
 $= 1,0452$
11. Menentukan nilai koefisien respons seismik (C_s)
 $C_s = S_{DS} / \left(\frac{R}{I_e}\right)$ (10)
 $= 0,7396 / \left(\frac{8}{1,5}\right) = 0,1387$
Batasan :
 $C_{s \max} = S_{D1} / T \left(\frac{R}{I_e}\right)$ (11)
 $= 0,6252 / 0,5904 \left(\frac{8}{1,5}\right) = 0,1986$
 $C_{s \min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e$ (12)
 $= 0,044 \times 0,7396 \times 1,5 = 0,0488$
Maka nilai C_s yang digunakan adalah 0,1986
12. Menghitung geser dasar seismik (V)
 $V = C_s \times W_t$ (13)
 $= 0,1986 \times 5.254.233,6 = 1.043.490,79 \text{ Kg}$
13. Menghitung distribusi beban lateral
 $F_x = C_{vx} V$ (14)
dan
 $C_{vx} = \frac{W_{vx} \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k}$ (15)
dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 3 Rekapitulasi Distribusi Gaya Lateral

Lantai	hi (m)	Wi (kN)	Wi x hi ^k	Cvx	Fi (kN)
4	16,8	12.980	247.731	0,40	4.213
3	12,6	12.980	183.398	0,30	3.119
2	8,4	13.291	122.916	0,20	2.090
1	4,2	13.291	59.562	0,10	1.013
Σ		52.542	613.607	1,00	0.435

Sumber: Data olahan (2025)

Analisis Penampang Balok Prategang

1. Spesifikasi teknis beton prategang sebagai berikut:
Panjang balok : 28 m

- Jarak antar balok : 8 m
- Dimensi balok : 0,6/1,6 m
- Mutu beton balok prategang ($f'c$) : 50 MPa
- Waktu curing 14 hari PBI 1971 : $0,88 \times 50 = 44$ MPa
- Mutu beton plat ($f'c$) : 25 MPa
- Tebal plat (tf) : 0,12 m

2. Penentuan tegangan izin beton

a. Gaya prategang sebelum kehilangan

- Tegangan tekan : $0,60 f'ci$

$$\begin{aligned} \sigma_{tk} &= 0,6 \times 44 \\ &= 26,4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan tarik terluar : $0,25 \sqrt{f'ci}$

$$\sigma_{tr} = 0,25 \sqrt{44} = 1,66 \text{ MPa}$$

- Tegangan tekan terluar pada ujung - ujung komponen struktur di atas perletakan sederhana : $0,70 f'ci$

$$\sigma_{tk} = 0,7 \times 44 = 30,8 \text{ MPa}$$

- Tegangan tarik terluar pada ujung-ujung komponen struktur di atas perletakan sederhana : $0,50 \sqrt{f'ci}$

$$\sigma_{tr} = 0,50 \sqrt{44} = 3,32 \text{ MPa}$$

Jadi tegangan izin beton pada gaya prategang sebelum kehilangan saat tegangan tekan sebesar 26,4 MPa, saat tegangan tarik sebesar 1,66 MPa, saat tegangan tekan terluar sebesar 30,8 MPa, dan saat tegangan tarik terluar sebesar 3,32 MPa.

b. Gaya prategang setelah kehilangan

- Tegangan tekan : $0,45 f'c$

$$\sigma_{tk} = 0,45 \times 25 = 11,25 \text{ MPa}$$

- Tegangan tarik untuk tegangan tarik digunakan kelas T

$$\begin{aligned} \text{Kelas T} &= 0,62 \sqrt{f'c} < ft \leq \sqrt{f'c} \\ &= 0,62 \sqrt{25} < ft \leq \sqrt{25} \\ &= 3,1 < ft \leq 5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

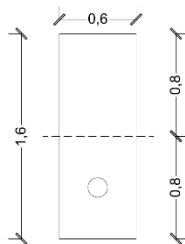
Dalam perencanaan ini, beton prategang diizinkan mengalami tarik sesuai dengan kelas T, dengan tegangan tarik izin sebesar :

$$0,8 \sqrt{f'c} = 0,8 \sqrt{25} = 4 \text{ MPa}$$

Jadi tegangan izin beton pada gaya prategang setelah kehilangan saat tegangan tekan sebesar 11,25 MPa, dan beton prategang diizinkan tarik berdasarkan kelas T dengan tegangan izin tarik sebesar 4 MPa

3. Analisa penampang balok prategang

a. Penampang sebelum komposit

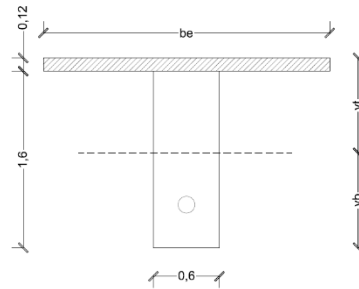


Gambar 3 Penampang Balok Prategang

Sumber: Data olahan (2025)

$$\begin{aligned} A_{balok} &= b \times h &= 0,6 \times 1,6 &= 0,96 \text{ m}^2 \\ Y_t &= h/2 &= 1,6/2 &= 0,8 \text{ m} \\ Y_b &= h - Y_t &= 1,6 - 0,8 &= 0,8 \text{ m} \\ I_{balok} &= \frac{1}{2} \times b_w \times h^3 &= \frac{1}{2} \times 0,6 \times 1,6^3 &= 0,2048 \text{ m}^3 \\ W_t &= \frac{I_{balok}}{Y_t} &= \frac{1,229}{0,8} &= 0,256 \text{ m}^3 \\ W_b &= \frac{I_{balok}}{Y_b} &= \frac{1,229}{0,8} &= 0,256 \text{ m}^3 \\ K_t &= \frac{W_b}{A} &= \frac{1,536}{0,96} &= 0,2667 \text{ m} \\ K_b &= \frac{W_t}{A} &= \frac{1,536}{0,96} &= 0,2667 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Penampang komposit



Gambar 4 Penampang Balok Prategang Komposit

Sumber: Data olahan (2025)

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 8.12, lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi nilai berikut:

- $be = \frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 28 = 7 \text{ m}$
- $be = bw + 8 hf = 0,6 + 8 (0,12) = 1,56 \text{ m}$
- $be = bw + \frac{1}{2} (s) = 0,6 + \frac{1}{2} (8) = 4,6 \text{ m}$

maka digunakan nilai be terkecil, yaitu 1,56 m. Jarak antar balok yang digunakan untuk pembebanan adalah 8 m. Penampang balok prategang berbentuk balok T karena terhubung dengan pelat lantai. Mengingat mutu material antara pelat dan balok prategang berbeda, maka lebar efektif perlu disesuaikan terlebih dahulu. Perhitungan penyesuaiannya disajikan sebagai berikut:

$$E_{plat} = 4700 \times \sqrt{f'c} = 4700 \times \sqrt{25} = 23.500 \text{ Mpa}$$

$$E_{balok} = 4700 \times \sqrt{f'c} = 4700 \times \sqrt{50} = 33.234 \text{ Mpa}$$

$$be_{baru} = \frac{E_{plat}}{E_{balok}} \times be = \frac{23.500}{33.234} \times 1,56 = 1,1031 \text{ m}$$

Berikut ini merupakan hasil perhitungan luas penampang balok prategang:

$$A_{plat} = be \times tf = 1,1031 \times 0,12 = 0,132 \text{ m}^2$$

$$A_{balok} = b \times h = 0,6 \times 1,6 = 0,96 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 0,132 \text{ m}^2 + 0,96 \text{ m}^2 = 1,092 \text{ m}^2$$

$$Yt_{komposit} = \frac{\sum(A \times Y)}{\sum A} = \frac{(0,132 \times 0,06) + (0,96 \times (0,6 + 0,12))}{1,092} = 0,64 \text{ m}$$

$$Yb_{komposit} = H_{balok} + t_{plat} - Yt_{komposit} = 1,6 + 0,12 - 0,64 = 1,08 \text{ m}$$

$$dt = Yt_{komposit} - \frac{1}{2} tf = 0,64 - \frac{1}{2} \times 0,12 = 0,58 \text{ m}$$

$$db = Yb_{komposit} - \frac{1}{2} (h - tf) = 1,08 - \frac{1}{2} (1,6 - 0,12) = 0,34 \text{ m}$$

$$I_{komposit} = \left(\frac{1}{12} \times bw \times h^3\right) + (A_{balok} \times d_b^2) + \left(\frac{1}{12} \times be \times tf^3\right) + (A_{plat} \times d_t^2)$$

$$= \left(\frac{1}{12} \times 0,6 \times 1,6^3\right) + (0,96 \times 0,34^2) + \left(\frac{1}{12} \times 1,1 \times 0,12^3\right) + (0,132 \times 0,58^2)$$

$$= 0,3605 \text{ m}^4$$

$$Wt = \frac{I_{komposit}}{Yt} = \frac{0,360339}{0,64} = 0,5632 \text{ m}^3$$

$$Wb = \frac{I_{komposit}}{Yb} = \frac{0,360339}{1,08} = 0,3338 \text{ m}^3$$

$$Kt = \frac{Wb}{A_{total}} = \frac{0,334}{1,092} = 0,3055 \text{ m}$$

$$Kb = \frac{Wt}{A_{total}} = \frac{0,563}{1,092} = 0,5156 \text{ m}$$

4. Gaya Prategang Awal

Momen yang digunakan adalah momen lapangan pada beban layan yang berasal dari program *SAP 2000* dengan kombinasi 1,2D + 1,6L pada daerah lapangan sebesar 412.091.748 Nmm.

$$Fo = \frac{MT}{0,65 h} = \frac{412.091.748}{0,65 \times 1600} = 396.242,0654 \text{ N}$$

diambil gaya $Fo = 400.000 \text{ N}$ (diambil berdasarkan *try and error* agar hasil optimum).

5. Kontrol Gaya Prategang

Tegangan beton yang diizinkan :

- Pada saat transfer :

- Tumpuan : Tarik izin = 3,32 MPa
Tekan izin = -30,8 MPa
- Lapangan : Tarik izin = 1,66 MPa
Tekan izin = -26,4 MPa

- Pada saat beban layan :

- Tumpuan : Tarik izin = 4 MPa
Tekan izin = -11,25 MPa
- Lapangan : Tarik izin = 4 MPa
Tekan izin = -11,25 MPa

Eksentrisitas rencana :

- Tumpuan : 100 mm (di atas cgc)
- Lapangan : 266 mm (di bawah cgc)

a. Pada saat transfer sebelum kehilangan prategang

Dari program SAP 2000 dengan kombinasi 1,4 D didapatkan :

- M tumpuan = 324,6349 kNm = 324.634.941 Nmm
- M lapangan = 272,1951 kNm = 272.195.091 Nmm

- Tumpuan:

Serat atas

$$\sigma_t \geq -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{Wt} - \frac{M_{tumpuan}}{Wt} \tag{16}$$

$$3,32 \geq -\frac{400.000}{1.092.370} + \frac{400.000 \times 100}{563.187.124,6015} - \frac{324.634.941}{563.187.124,6015}$$

$$3,32 \text{ MPa} \geq -0,8716 \text{ MPa} \longrightarrow \text{(OK)}$$

Serat bawah

$$\sigma_b \leq -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{Wb} - \frac{M_{tumpuan}}{Wb} \tag{17}$$

$$-30,8 \leq -\frac{400.000}{1.092.370} - \frac{400.000 \times 100}{333759657,6419} + \frac{324.634.941}{333759657,6419}$$

$$-30,8 \text{ MPa} \leq 0,4866 \text{ MPa} \longrightarrow \text{(OK)}$$

- Lapangan :

Serat atas

$$\sigma_t \geq -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{Wt} - \frac{M_{Lapangan}}{Wt} \tag{18}$$

$$1,66 \geq -\frac{400.000}{1.092.370} + \frac{400.000 \times 266}{563.187.124,6015} - \frac{272.195.091}{563.187.124,6015}$$

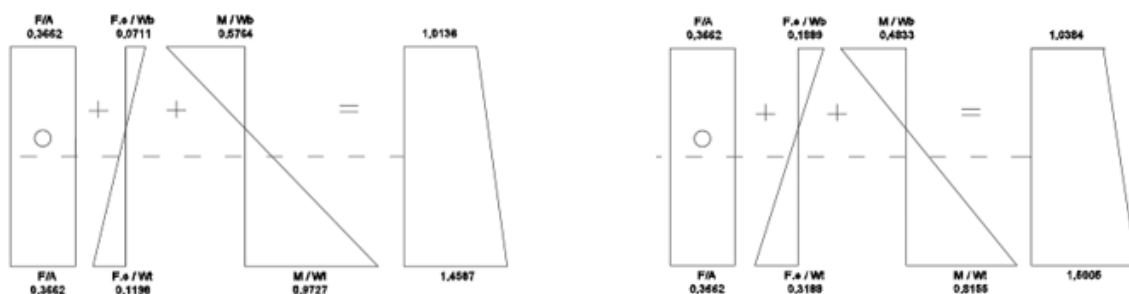
$$1,66 \text{ MPa} \geq -0,6606 \text{ MPa} \longrightarrow \text{(OK)}$$

Serat bawah

$$\sigma_b \leq -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e}{Wb} + \frac{M_{Lapangan}}{Wb} \tag{19}$$

$$-26,4 \leq -\frac{400.000}{1.092.370} - \frac{400.000 \times 266}{333759657,6419} + \frac{272.195.091}{333759657,6419}$$

$$-26,4 \text{ MPa} \leq 0,1306 \text{ MPa} \longrightarrow \text{(OK)}$$



Gambar 5 Diagram Tegangan Sebelum Kehilangan di Tumpuan dan Lapangan

Sumber: Data olahan (2025)

b. Pada saat sesudah kehilangan prategang

$$F_l = 80\% \times F_o = 80\% \times 400.000 = 320.000 \text{ N}$$

Dari program SAP 2000 dengan kombinasi 1D + 1L didapatkan :

$$M_{\text{tumpuan}} = 365,1477 \text{ kNm} = 365.147.676 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 306,1636 \text{ kNm} = 306.163.608 \text{ Nmm}$$

- Tumpuan:

Serat atas

$$\sigma_t \geq -\frac{F_1}{A} + \frac{F_1 \times e}{Wt} - \frac{M_{\text{tumpuan}}}{Wt} \tag{20}$$

$$4 \geq -\frac{320.000}{1.092.370} + \frac{320.000 \times 100}{563.187.124,6015} - \frac{365.147.676}{563.187.124,6015}$$

$$4 \text{ MPa} \geq -0,8125 \text{ MPa} \longrightarrow (\text{OK})$$

Serat bawah

$$\sigma_b \leq -\frac{F_1}{A} - \frac{F_1 \times e}{Wb} + \frac{M_{\text{tumpuan}}}{Wb} \tag{21}$$

$$-11,25 \leq -\frac{320.000}{1.092.370} - \frac{320.000 \times 100}{333759657,6419} + \frac{365.147.676}{333759657,6419}$$

$$-11,25 \text{ MPa} \leq 0,7052 \text{ MPa} \longrightarrow (\text{OK})$$

- Lapangan :

Serat atas

$$\sigma_t \geq -\frac{F_1}{A} + \frac{F_1 \times e}{Wt} - \frac{M_{\text{Lapangan}}}{Wt} \tag{22}$$

$$4 \geq -\frac{320.000}{1.092.370} + \frac{320.000 \times 266}{563.187.124,6015} - \frac{306.163.608}{563.187.124,6015}$$

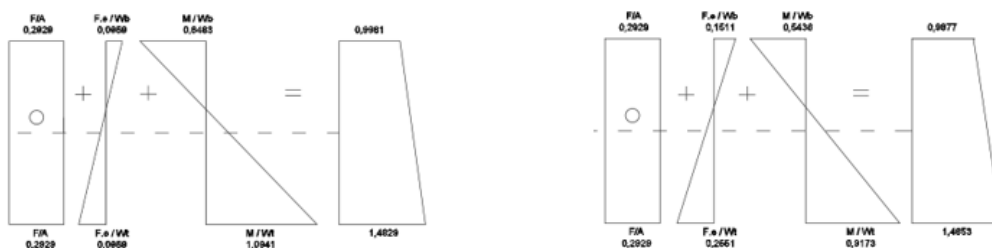
$$4 \text{ MPa} \geq -0,6854 \text{ MPa} \longrightarrow (\text{OK})$$

Serat bawah

$$\sigma_b \leq -\frac{F_1}{A} + \frac{F_1 \times e}{Wb} - \frac{M_{\text{Lapangan}}}{Wb} \tag{23}$$

$$-11,25 \leq -\frac{320.000}{1.092.370} - \frac{320.000 \times 266}{333759657,6419} + \frac{306.163.608}{333759657,6419}$$

$$-11,25 \text{ MPa} \leq 0,3693 \text{ MPa} \longrightarrow (\text{OK})$$



Gambar 6 Diagram Tegangan Sesudah Kehilangan di Tumpuan dan Lapangan

Sumber: Data olahan (2025)

6. Penentuan Tendon Yang Digunakan

a. Spesifikasi strand adalah sebagai berikut :

Tipe strand : ASTM A 416-06 Grade 270

Luas penampang : 98,7 mm²

Kuat tarik (*fpu*) : 1.860 MPa

Kuat leleh (*fpy*) : 1.675 MPa

Diameter : 12,7 mm

Tegangan izin diambil nilai terkecil dari perhitungan di bawah ini :

$$- 0,94 \times f_{py} = 0,94 \times 1675 = 1.574,5 \text{ MPa}$$

$$- 0,80 \times f_{pu} = 0,80 \times 1860 = 1.488 \text{ MPa}$$

$$- 0,70 \times f_{pu} = 0,70 \times 1860 = 1.302 \text{ MPa}$$

b. Luas tendon yang dibutuhkan

$$A_{\text{perlu}} = \frac{F_o}{f_p} = \frac{400.000}{1302} = 307,2197 \text{ mm}^2$$

c. Jumlah strand yang dibutuhkan

$$n = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_s} = \frac{307,2197}{98,7} = 3,1127 = 4 \text{ buah}$$

Berdasarkan data kabel *strand* di atas, perencanaan dilakukan dengan menggunakan 1 buah tendon yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Jumlah tendon : 4 (*strand* tipe ASTM)
- Luas area (*A_p*) : 4 x 98,7 = 394,8 mm
- Breaking load : 2939 kN
- Tendon unit : 5-19
- Kontrol tegangan tendon :
 $\frac{F}{A_p} \leq 0,7 f_{pu} = \frac{400.000}{394,8} \leq 1.302$
 $= 1.013,1712 \leq 1.302 \longrightarrow$ (OK)

7. Kehilangan Gaya Prategang

Tabel 4 Kehilangan Gaya Prategang

Tahapan	Tegangan Baja (MPa)	Persen (%)
Tegangan efektif		
Sesudah Penarikan (0.7 fpu)	1302	100
Kehilangan pendek		
Perpendekan elastis	0	0
Gesekan	38,76	2,98
Pengangkuran	17,86	1,37
Kehilangan tak langsung		
Rangkak beton	4,14	0,32
Susut beton	11,92	0,92
Relaksasi Baja	94,91	7,29
Total kehilangan	167,59	12,87
Tegangan Efektif	1134,41	87,13

Sumber: Data olahan (2025)

Berdasarkan tabel di atas total kehilangan gaya prategang sebesar 12, 87 %

8. Kontrol Gaya Prategang Setelah Kehilangan

$$F_e = \frac{100-12,87}{100} \times 400.000 = 348.514,52$$

Dari program SAP 2000 dengan kombinasi 1D + 1L didapatkan :

M tumpuan = 365,1477 kNm = 365.147.676 Nmm

M lapangan = 306,1636 kNm = 306.163.608 Nmm

- Tumpuan:

Serat atas

$$\sigma_t \geq -\frac{F_e}{A} + \frac{F_e \times e}{W_t} - \frac{M_{tumpuan}}{W_t} \tag{24}$$

$$4 \geq -\frac{348.514,52}{1.092.370} + \frac{348.514,52 \times 100}{563.187.124,6015} - \frac{365.147.676}{563.187.124,6015}$$

4 MPa \geq - 0,9055 MPa \longrightarrow (OK)

Serat bawah

$$\sigma_b \leq -\frac{F_e}{A} - \frac{F_e \times e}{W_b} + \frac{M_{tumpuan}}{W_b} \tag{25}$$

$$-11,25 \leq -\frac{348.514,52}{1.092.370} - \frac{348.514,52 \times 100}{333759657,6419} + \frac{365.147.676}{333759657,6419}$$

-11,25 MPa \leq 0,6706 MPa \longrightarrow (OK)

- Lapangan :

Serat atas

$$\sigma_t \geq -\frac{F_e}{A} + \frac{F_e \times e}{W_t} - \frac{M_{Lapangan}}{W_t} \tag{26}$$

$$4 \geq -\frac{348.514,52}{1.092.370} + \frac{348.514,52 \times 266}{563.187.124,6015} - \frac{306.163.608}{563.187.124,6015}$$

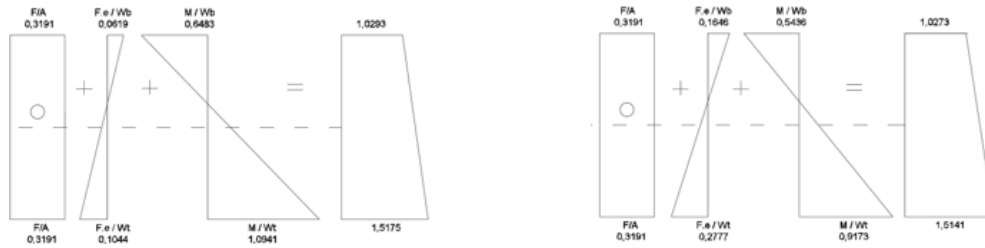
4 MPa \geq - 0,6981 MPa \longrightarrow (OK)

Serat bawah

$$\sigma_b \leq -\frac{F_e}{A} - \frac{F_e \times e}{W_b} + \frac{M_{Lapangan}}{W_b} \tag{27}$$

$$-11,25 \leq -\frac{348.514,52}{1.092.370} - \frac{348.514,52 \times 266}{333759657,6419} + \frac{306.163.608}{333759657,6419}$$

-11,25 MPa \leq 0,3205 MPa \longrightarrow (OK)



Gambar 7 Diagram Tegangan Saat Transfer di Tumpuan dan Lapangan

Sumber: Data olahan (2025)

9. Kontrol Lendutan

$$\Delta_{izin} = \frac{L}{480} = \frac{28000}{480} = 58,33 \text{ mm}$$

- Lendutan saat *jacking*

- Lendutan akibat tekanan tendon

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{P_o \times l^4}{E_c \times I} \tag{28}$$

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{l^2} = \frac{8 \times 400.000 \times 266}{28.000^2} = 1,0857 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{1,0857 \times 28.000^4}{33.234,0187 \times 204.800.000.000} = 1,28 \text{ mm ()}$$

- Lendutan akibat eksentrisitas tepi balok

$$\Delta l_{me} = \frac{F_o \times e \times l^2}{8 E_c \times I} = \frac{400.000 \times 100 \times 28.000^2}{8 \times 33.234,0187 \times 204.800.000.000} = 0,57 \text{ mm (▼)}$$

- Lendutan Akibat Berat Sendiri

$$\Delta l_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{q_o \times l^4}{E_c \times I} = \frac{5}{384} \times \frac{26,9568 \times 28.000^4}{33.234,018 \times 204.800.000.000} = 31,71 \text{ mm (▼)}$$

- Lendutan total

$$\Delta_{total} = 1,28 + 0,57 + 31,71 = 33,53 \text{ mm}$$

$$33,53 \text{ mm} < 58,33 \text{ mm (OK)}$$

- Lendutan saat beban layan

- Lendutan akibat tekanan tendon

$$P_o = \frac{8 \times F_e \times f}{l^2} = \frac{8 \times 348.514,52 \times 266}{28.000^2} = 0,945 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{0,945 \times 28.000^4}{33.234,0187 \times 204.800.000.000} = 1,11 \text{ mm ()}$$

- Lendutan akibat eksentrisitas tepi balok

$$\Delta l_{me} = \frac{F_e \times e \times l^2}{8 E_c \times I} = \frac{348.514,52 \times 100 \times 28.000^2}{8 \times 33.234,0187 \times 204.800.000.000} = 0,51 \text{ mm (▼)}$$

- Lendutan Akibat Berat sendiri balok, pelat dan beban tambahan

$$\Delta l_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{q_o \times l^4}{E_c \times I} = \frac{5}{384} \times \frac{29,34 \times 28.000^4}{33.234,018 \times 204.800.000.000} = 34,49 \text{ mm (▼)}$$

- Lendutan total

$$\Delta_{total} = 1,11 + 0,51 + 34,49 = 36,11 \text{ mm}$$

$$36,11 \text{ mm} < 58,33 \text{ mm (OK)}$$

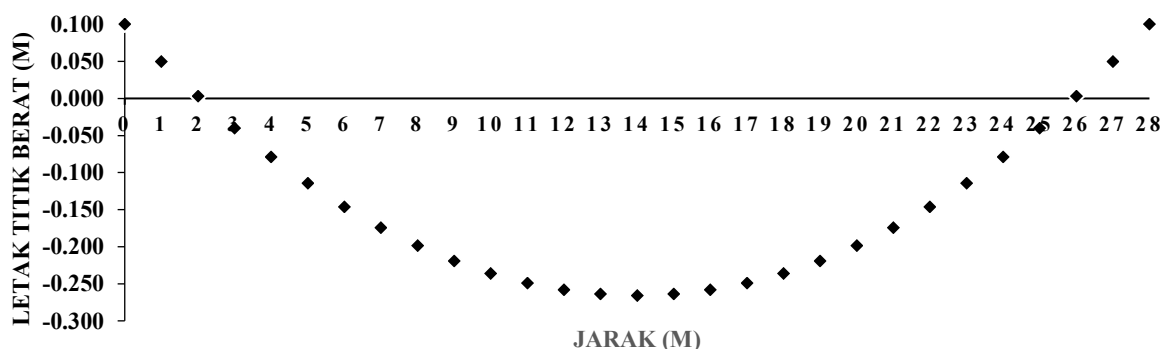
10. Daerah Limit Kabel

Tabel 5 Posisi Tendon Pada 1/2 Bentang

X_i (m)	Y_i (m)	Letak Tendon Dari Titik Berat (m)
0	0	0,100
1	0,050	0,050
2	0,097	0,003
3	0,140	-0,040
4	0,179	-0,079
5	0,215	-0,115

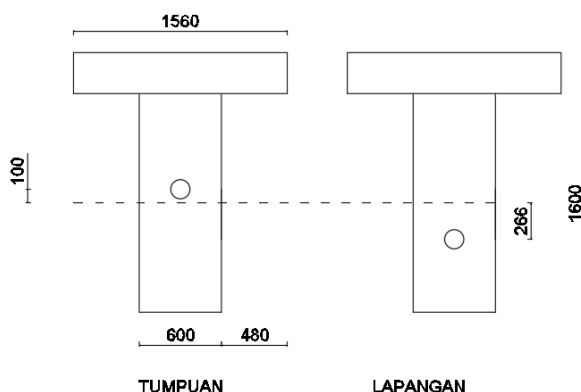
X_i (m)	Y_i (m)	Letak Tendon Dari Titik Berat (m)
6	0,246	-0,146
7	0,275	-0,175
8	0,299	-0,199
9	0,319	-0,219
10	0,336	-0,236
11	0,349	-0,249
12	0,359	-0,259
13	0,364	-0,264
14	0,366	-0,266

Sumber: Data olahan (2025)



Gambar 8 Posisi Tendon Pada Balok Prategang

Sumber: Data olahan (2025)



Gambar 9 Gambar Balok Prategang dan Posisi Tendon

Sumber: Data olahan (2025)

Berdasarkan perhitungan daerah limit kabel di atas, letak tendon dari titik berat pada setengah bentang terlatak pada -0,266 m atau 266 m di bawah garis netral.

Perbandingan Efisiensi Struktur

Berdasarkan hasil analisis SAP 2000 diperoleh berat total struktur. Berat total struktur bangunan *eksisting* sebesar 9.900,7433 Ton, sedangkan bangunan yang direncanakan sebesar 9.161,0358 Ton. Berat bangunan lebih ringan daripada berat bangunan *eksisting* dengan perbedaan 739,7075 Ton (7,471 %)

SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisa dan pembahasan struktur balok prategang pada gedung Poltekkes Mataram, didapatkan kesimpulan bahwa hasil perencanaan untuk bentang sepanjang 28 m digunakan balok beton prategang dengan dimensi 1,6 m × 0,6 m, untuk tendon diperlukan 1 buah dengan *Strand* 4 buah berdiameter 12,7 mm bertipe ASTM A 416-06 Grade 270 (VSL). Balok prategang menerima gaya prategang awal sebesar 400 kN dengan eksentrisitas 100 mm di tumpuan dan 266 mm di lapangan, total kehilangan gaya prategang mencapai 12,87%, sehingga gaya prategang yang tersisa setelah kehilangan tersebut adalah sebesar 348,51 kN

Dari hasil analisa juga menunjukkan bahwa berat total struktur bangunan *eksisting* sebesar 9.900,7433 Ton, sedangkan bangunan yang direncanakan sebesar 9.161,0358 Ton. Selisih berat struktur bangunan *eksisting* dengan berat

struktur rencana sebesar 739,7075 Ton. Dapat disimpulkan bahwa berat bangunan yang direncanakan lebih ringan, sehingga beban gempa yang harus dipikul juga menjadi lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Auliyanti, N., Pathurahman, P., & Murtiadi, S. (2019). Modifikasi Struktur Gedung Kondominium Hotel Amarsvati Lombok Dengan Balok Prategang. *Spektrum Sipil*, 6(1), 1-13.
- Desy Pratiwi, Y., Zulaicha, L., & Hadisaputro, I. (2022). Perencanaan Ulang Gedung D ITNY Menggunakan Balok Prategang. *EQUILIB*, Vol. 03, No1, 03(01), 45–54.
- Hasan, A. A., Nuralinah, D., & Wijaya, M. N. (2022). *Perencanaan Alternatif Gedung Dekanat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Menggunakan Balok Prategang* (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Imanda, P., & Trijanto, D. (2021). *PERENCANAAN BALOK PRATEGANG TOWER SYARIAH UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA* (Vol. 2, Issue 2). <http://jos-mrk.polinema.ac.id/>
- Lambang, D. (2021). PERENCANAAN ULANG GEDUNG REKTORAT INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL YOGYAKARTA MENGGUNAKAN SISTEM BALOK PRESTRESS. *EQUILIB*, 2(1), 43-54.
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (2000). Desain Struktur Beton Prategang, Edisi Ketiga. *Jakarta: Penerbit Erlangga*.
- Mark, A., KojongianServie, O. D., & Steenie, E. W. (2018). Desain Struktur Balok Beton Prategang Untuk Bangunan Industri. *Jurnal Sipil Statik*, 6, 959-72.
- Nawy, E. G. (2001). *Beton Prategang JI. 3*. Erlangga.
- PPPURG, 1987. Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Pratama, D. A., Sebayang, S., & Irianti, L. (2021). *Perencanaan Struktur Gedung 5 Lantai Menggunakan Balok dan Pelat Prategang Sesuai SNI 2847 2013*.
- Simatupang, F. O., Kurniawan, R., & Haris, S. (2023). Analisis Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Untuk Berbagai Variasi Tinggi Bangunan. *Jurnal Talenta Sipil*, 6(2), 413. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v6i2.350>
- SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Nongedung. (2019). Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Persyaratan. (2019). Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Persyaratan. (2019). Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI 7833-2012 Tata Cara Perencanaan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung. (2019). Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Wiryadi, I. G. G., Giatmajaya, I. W., & Gunawan, I. P. A. S. (2021). Analisis Dan Perencanaan Struktur Gedung Menggunakan Balok Dan Pelat Beton Prategang. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(1), 8-15.