

## ANALISIS DAN PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG MENGGUNAKAN BALOK DAN PELAT BETON PRATEGANG

I Gede Gegiranang Wiryadi, I Wayan Giatmajaya, I Putu Adi Sadu Gunawan

*Program Studi Teknik Sipil Universitas Mahasaraswati Denpasar*

*Email: anankwiryadi27@gmail.com*

**ABSTRAK:** Balok dan pelat merupakan elemen struktur dominan yang menerima beban searah, sehingga sangat memungkinkan untuk menggunakan sistem prategang dibandingkan dengan kolom. Pada penelitian ini dilakukan analisis dan desain balok prategang pada bangunan yang berfungsi sebagai rumah sakit dan sebelumnya dianalisis dengan menggunakan beton bertulang biasa. Balok dan pelat menggunakan sistem komposit dan sistem prategang prategang. Balok dan pelat dianalisis dalam dua tahap, tahap produksi dan tahap komposit setelah terpasang on site. Pada tahap produksi, tinggi balok dikurangi dengan ketebalan pelat dan beban perhitungan hanya gaya prategang dan proses pengangkatan. Sedangkan tahap komposit atau setelah dirangkai menjadi satu dengan kolom dan pelat, semua gaya dihitung berdasarkan semua beban yang bekerja. kuat tekan beton dan kuat leleh tulangan yang digunakan berturut-turut adalah 35 MPa dan 360 MPa, sedangkan kuat leleh kabel prategang sebesar 1860 MPa. Total kehilangan gaya prategang diambil sebesar 25% dari total gaya prategang. Tiga jenis balok memiliki bentang 8 m yaitu 40 x 60 cm, 35 x 55 cm dan 30 x 50 cm setelah komposit, sedangkan tebal pelat 15 cm setelah komposit dan 10 cm saat produksi. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada balok dan slab beton selama produksi dan saat komposit dengan sistem prategang tidak melebihi tegangan ijin sesuai dengan ketentuan peraturan. Sehingga balok dan pelat prategang dengan sistem prategang dapat diaplikasikan secara komposit sistem pada struktur gedung dan tidak melebihi batas tegangan ijin yang ada dalam menerima beban.

**Kata kunci:** *balok beton, pelat beton, prategang, pratarik, komposit*

**ABSTRACT:** *Beams and plates are the dominant structural elements that receive unidirectional loads, so it is possible to use a system of prestress compared to columns. In this study, the analysis and design of prestressed beams were carried out in a building that functions as a hospital and previously analyzed using ordinary reinforced concrete. Beams and plates use a composite system and a prestressive system. The beam and plate are analyzed in two stages, the production stage and the composite stage after being installed on site. At the production stage, the beam height is reduced by the plate thickness and the load is calculated only for the prestress force and the lifting process. While the composite stage or after being assembled into one with columns and plates, all forces are calculated based on all the working loads. The concrete compressive strength and the yield strength of reinforcement used are 35 MPa and 360 MPa, respectively, while the yield strength of prestressed cables is 1860 MPa. The total loss of pre-stress force is taken as 25% of the total pre-stress force. Three types of beams have a span of 8 m, namely 40 x 60 cm, 35 x 55 cm and 30 x 50 cm after the composite, while the plate thickness is 15 cm after the composite and 10 cm during production. The analysis results show that the stress that occurs in the concrete beam and slab during production and when the composite with a prestressed system does not exceed the allowable stress in accordance with regulatory provisions. So that the prestressed beams and plates with the prestressed system can be applied in a composite system to the building structure and do not exceed the allowable stress limit for receiving loads.*

**Keywords:** *concrete beam, concrete slab, prestressed, pre-tensioning, composite*

### PENDAHULUAN

Dalam pembangunan bangunan bertingkat sering diperhitungkan kekuatan struktur, penggunaan material, dan metode pelaksanaan untuk mendapatkan biaya yang seefisien mungkin. Material dan sistem struktur pada umumnya adalah struktur beton bertulang, struktur baja, struktur beton prategang struktur kayu, dan struktur komposit. Struktur beton bertulang masih menjadi pilihan yang utama bak untuk bangunan bertingkat rendah hingga bangun bertingkat tinggi. Struktur beton bertulang memiliki keuntungan karena material yang lebih murah, mudah didapatkan dan mudah dikerjakan. Namun kelemahan dari struktur beton bertulang yaitu besarnya dimensi penampang berbanding lurus dengan bentang struktur, sehingga semakin besar dimensi struktur akan semakin besar berat sendiri dari struktur itu sendiri.

Struktur beton bertulang terutama balok dan pelat dominan memikul beban gravitasi baik berat sendiri maupun beban luar (beban hidup dan beban mati tambahan) yang bekerja cenderung satu arah. Berbeda dengan kolom yang memikul beban gravitasi yang meneruskan beban dari pelat dan balok,

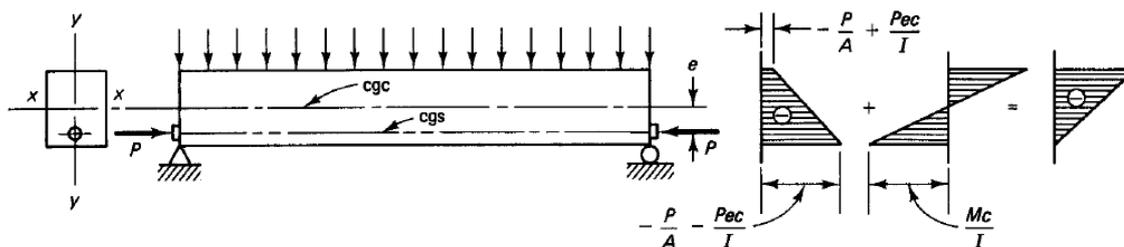
kolom juga memikul gaya lateral seperti angin dan gempa. Karena itu kolom memerlukan bantuan tambahan untuk memikul beban lateral seperti dinding geser, bresing, rangka khusus, atau memanfaatkan dinding pengisi sebagai pengaku lateral (SNI 1726:2012) (Sudarsana et al., 2014) (Sukrawa et al., 2020). Karena balok dan pelat dominan bekerja satu arah dalam menerima beban, maka sangat memungkinkan mengaplikasikan sistem prategang untuk mereduksi dimensi. Sistem beton prategang memiliki konsep mengoptimalkan seluruh penampang beton agar tetap mengalami tegangan tekan seluruh penampang, sedangkan pada beton bertulang hanya sebagian penampang saja yang optimal menerima tekan (dibatasi garis netral) dan sebagian lagi digantikan oleh baja tulangan untuk menerima tarik. Maka dari itu penggunaan sistem prategang pada balok dan pelat dapat mengeliminasi dimensi yang berlebihan untuk bentang panjang atau dapat membuat dimensi yang lebih langsing. Selain itu desain tipikal dapat diaplikasikan untuk mempermudah dan mempercepat produksi. Selaian itu dapat juga mereduksi kebutuhan balok anak karena pelat prategang memiliki kekakuan yang lebih besar dibandingkan pelat beton bertulang biasa.

Namun tidak berarti sistem beton prategang tidak memiliki kelemahan dalam penggunaannya. Kelemahan utama dari sistem prategang adalah adanya kehilangan gaya prategang yang harus diperhitungkan. Hal ini karena beberapa faktor antara lain: elastisitas material, slip ankur, regangan rangkat dan susut, dan relaksasi baja prategang. ACI 318:2014 dan dalam SNI 2847:2019, kehilangan gaya prategang dapat dihitung masing-masing sesuai kondisi dari sistem prategang yang diaplikasikan atau dapat diambil sebesar 20% – 25% dari gaya prategang yang direncanakan (Lin and Burns, 1981; Nawy, 2001).

Berdasarkan uraian diatas, maka pada kajian ini dilakukan analisis dan perencanaan balok dan pelat beton dengan sistem prategang. Struktur gedung yang ditinjau mengacu pada kajian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Maharani et al. (2020) dan dimodel kembali pada kajian sebelumnya oleh Gunawan (2021). Balok dianalisis dua tahap yaitu tahap produksi balok prategang dengan tinggi dikurangi tebal pelat, dan tahap kedua setelah terpasang secara komposit. Sedangkan pelat juga dilakukan secara dua tahap, yaitu tahap produksi dan tahap terpasang (komposit). Hasil analisis balok dan pelat ini kemudian dituangkan kedalam gambar perencanaan.

### BETON PRATEGANG

SNI 2847:2019 mensyaratkan tegangan penampang beton pada serat atas dan serat bawah pada satu penampang tidak boleh melebihi dari tegangan yang diijinkan untuk menghindari terjadinya kerusakan pada beton. Tegangan beton pada serat atas dan bawah dapat dihitung berdasarkan Persamaan 1 sampai dengan Persamaan 4.



Gambar 1. Distribusi tegangan pada penampang beton prategang  
(Sumber: Nawy, 2001)

Tegangan tahap produksi (beban prategang)

$$f^t = -\frac{P}{A} + \frac{Pec}{I_c} - \frac{M_g c}{I_c} + \frac{T_s ec}{I_c} \quad (1)$$

$$f_b = -\frac{P}{A} - \frac{Pec}{I_c} + \frac{M_g c}{I_c} + \frac{T_s ec}{I_c} \quad (2)$$

Tegangan tahap komposit (beban maksimum)

$$f^t = -\frac{P}{A} - \frac{Pec}{I_c} - \frac{M_u c}{I_c} + \frac{T_s ec}{I_c} \quad (3)$$

$$f_b = -\frac{P}{A} - \frac{Pec}{I_c} + \frac{M_u c}{I_c} - \frac{T_s ec}{I_c} \tag{4}$$

$f_t$  dan  $f_b$  adalah tegangan pada penampang beton,  $P$  dan  $A$  merupakan gaya prategang dan luas penampang balok atau pelat,  $M_g$  dan  $M_u$  merupakan momen akibat berat sendiri balok atau pelat dan momen maksimum akibat seluruh beban yang bekerja,  $e$  adalah eksentrisitas antara garis pusat tendon dan titik pusat penampang beton,  $c$  adalah titik berat penampang yang diukur dari tepi atas atau bawah,  $I_c$  adalah inersia penampang beton,  $T_s$  merupakan tulangan pemberi bentuk yang dipasang pada bagian atas dan bawah penampang.

Tegangan pada serat atas dan bawah dibatasi sesuai ketentuan dari SNI 2847:2019, tegangan serat terjauh pada saat pemberian prategang dan beban maksimum tidak boleh melebihi ketentuan dari Persamaan 5. Jika kuat tarik beton diperhitungkan, maka tegangan tarik maksimum tidak boleh melebihi nilai dari Persamaan 6.

$$f = 0,6f'_c \tag{5}$$

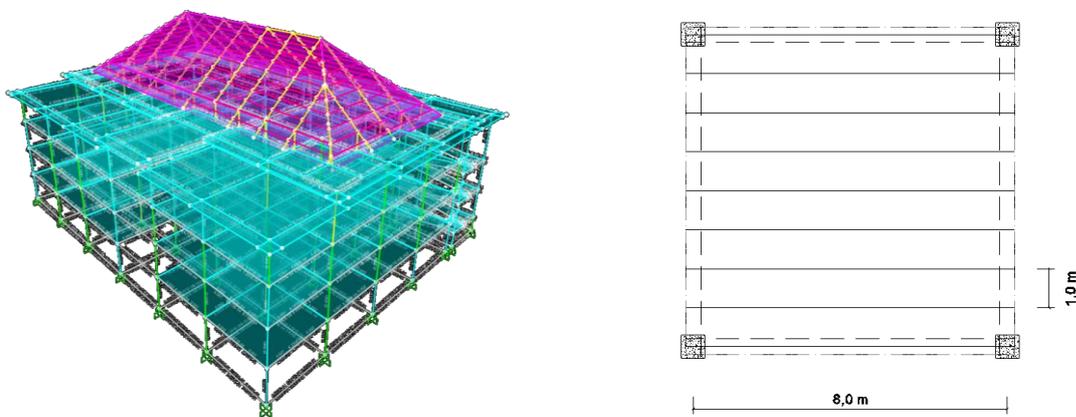
$$f_t = 0,5\sqrt{f'_c} \tag{6}$$

Gaya prategang ( $P$ ) yang bekerja ditentukan oleh kapasitas dari tendon yang terpasang setelah dikurang dengan besarnya kehilangan gaya prategang. Gaya prategang yang bekerja dapat dihitung dari tegangan efektif ( $f_{se}$ ) pada kabel prategang dikurangi kehilangan gaya prategang dan gaya prategang awal ( $P_0$ ), seperti terlihat pada Persamaan 7.

$$P = \frac{P_0 f_0}{f_{se}} \tag{7}$$

### METODE PENELITIAN

Balok dan pelat yang dianalisis dan direncanakan menggunakan sistem prategang pada kajian ini berdasarkan kajian sebelumnya yang dilakukan oleh Maharani et al. (2020) dan Gunawan et al. (2021). Pemodelan dan analisis terhadap gedung empat tingkat yang berfungsi sebagai rumah sakit menggunakan program komersial SAP2000. Hasil pemodelan dan analisis yang telah dilakukan dan rencana rancangan balok dan pelat dengan sistem prategang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model 3D (kiri), panel balok dan pelat prategang (kanan)

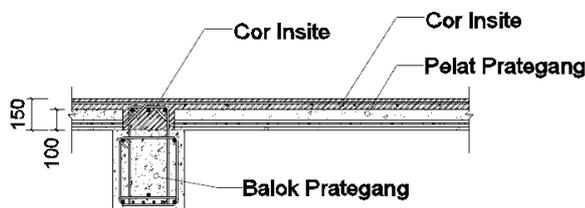
Balok dengan sistem prategang memiliki bentang 8,0 m tipikal dengan tiga tipe balok, sedangkan pelat dengan satu tipe dengan ukuran pane 1,0 x 8,0 m. Kehilangan gaya prategang diambil sebesar 25% dari gaya prategang yang bekerja. Dimensi akhir merupakan dimensi komposit setelah balok dan pelat dirakit, sedangkan dimensi produksi adalah ketika pemberian prategang dimana tinggi balok dikurangi tebal pelat dan tebal pelat dikurangi 5 cm. Mutu beton dibuat sama antara beton saat produksi dan komposit (*cor in site*). Adapun data dimensi balok dan pelat serta seperti pada tabel berikut:

Tabel 1. Dimensi balok dan gaya yang bekerja

| Tipe | Dimensi Komposit (cm) | Dimensi Produksi (cm) | Mutu Beton, $f'_c$ (MPa) | Tegangan Tendon, $f_0$ (MPa) | Momen Maksimum (KNm) | Momen Berat Sendiri (KNm) | Ket.  |
|------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------------|-------|
| B1   | 40 x 60               | 40 x 45               | 35                       | 1860                         | 190,06               | 12,24                     | Balok |

|    |         |         |    |      |        |      |       |
|----|---------|---------|----|------|--------|------|-------|
| B2 | 35 x 55 | 35 x 40 | 35 | 1860 | 155,35 | 9,06 | Balok |
| B3 | 30 x 50 | 30 x 35 | 35 | 1860 | 73,03  | 7,06 | Balok |
| P1 | 15      | 10      | 35 | 1860 | 23,85  | 7,06 | Pelat |

Perencanaan balok dan pelat pada tahap produksi dilakukan dengan sistem pra-tarik (*pretension*), dimana tinggi balok dikurangi dengan tebal pelat, sedangkan tebal pelat dibuat 100 mm. Skema balok dan pelat prategang dan komposit dapat diperhatikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema balok dan pelat prategang dan komposit

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses analisis dilakukan secara *trial and error* yang hingga mendapatkan ukuran tendon dan jumlah yang diperlukan serta memenuhi persyaratan sesuai Persamaan 5 dan Persamaan 6. Kondisi sambungan antara beton prategang dan cor *in site* tidak ditinjau dan diasumsikan menyatu sempurna. Pada proses pemberian prategang, balok dibuat memiliki tumpuan sederhana sehingga hanya diperhitungkan tegangan maksimum pada tengah bentang. Sedangkan untuk kondisi komposit, join balok kolom diasumsikan menyatu sempurna dan pada umpuan terjadi perilaku jepit. Hal ini menyebabkan area tumpuan tidak bekerja sistem prategang, dan memanfaatkan tulangan konvensional untuk menahan tarik dan beton serat bawah menahan tekan (konsep beton bertulang). Namun pada area lapangan tetap bekerja sistem prategang dan balok diperhitungkan lebih tinggi dibandingkan tahap prategang.

Analisis diawali dengan perhitungan gaya prategang efektif yaitu gaya prategang awal dikurangi kehilangan prategang. Kehilangan prategang untuk sistem pratarik diambil sebesar 25%, sehingga tegangan efektif yang diperhitungkan menjadi:

$$f_{se} = f_0 - 25\% f_0$$

$$f_{se} = 1860 - 465$$

$$f_{se} = 1395 \text{ MPa}$$

Tegangan tekan ijin serat terjauh dan tagangan tarik maksimum yang diijinkan berdasarkan Persamaan 5 dan Persamaan 6 adalah sebagai berikut:

$$f = 0,6 f'_c = 0,6(35) = 21 \text{ MPa}$$

$$f_t = 0,5 \sqrt{f'_c} = 0,5 \sqrt{35} = 2,95 \text{ MPa}$$

Perhitungan berikutnya mengidentifikasi properti penampang, jarak penempatan tendon dan eksentrisitas, momen berat sendiri dan momen maksimum, serta tegangan ijin. Tulangan pemberi bentuk saat pembuatan balok prategang diperhitungkan untuk menambah kapasitas dan efisiensi. Proses analisis ini dilakukan secara *trial and error* sehingga mendapatkan hasil yang memenuhi kriteria terutama tegangan akhir serat atas dan serat bawah. Adapun hasil perhitungan balok dan pelat prategang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Perhitungan balok B1 dan balok B2

| <b>Balok B1</b>          |                              | <b>Balok B2</b>          |                              |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| <i>Tahap Prategang</i>   |                              | <i>Tahap Prategang</i>   |                              |
| Penampang beton          |                              | Penampang beton          |                              |
| Dimensi                  | : 400      450 mm            | Dimensi                  | : 350      400 mm            |
| Luas Penampang ( $A_c$ ) | : 180000 mm <sup>2</sup>     | Luas Penampang ( $A_c$ ) | : 140000 mm <sup>2</sup>     |
| Inersia ( $I_c$ )        | : 3037500000 mm <sup>4</sup> | Inersia ( $I_c$ )        | : 1866666667 mm <sup>4</sup> |
| Jarak tendon ( $d'$ )    | : 50 mm                      | Jarak tendon ( $d'$ )    | : 50 mm                      |
| Eksentrisitas ( $e$ )    | : 175 mm                     | Eksentrisitas ( $e$ )    | : 150 mm                     |

| <b>Balok B1</b>               |                              | <b>Balok B2</b>               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Titik Berat (c)               | : 225 mm                     | Titik Berat (c)               | : 200 mm                     |
| Tendon Prategang              |                              | Tendon Prategang              |                              |
| Jumlah dan ukuran             | : 4 11.113 mm                | Jumlah dan ukuran             | : 3 11.113 mm                |
| Luas penampang ( $A_p$ )      | : 387.948 mm <sup>2</sup>    | Luas penampang ( $A_p$ )      | : 290.961 mm <sup>2</sup>    |
| Tegangan efektif ( $f_{se}$ ) | : 1395 MPa                   | Tegangan efektif ( $f_{se}$ ) | : 1395 MPa                   |
| Gaya prategang (P)            | : 541187.34 N                | Gaya prategang (P)            | : 405890.50 N                |
| Tulangan tarik                |                              | Tulangan tarik                |                              |
| Jumlah dan ukuran             | : 2 22 mm                    | Jumlah dan ukuran             | : 2 19 mm                    |
| Luas penampang ( $A_s$ )      | : 760.27 mm <sup>2</sup>     | Luas penampang ( $A_s$ )      | : 567.06 mm <sup>2</sup>     |
| Tegangan leleh ( $f_y$ )      | : 360 MPa                    | Tegangan leleh ( $f_y$ )      | : 360 MPa                    |
| Gaya tarik ( $T_s$ )          | : 273695.55 N                | Gaya tarik ( $T_s$ )          | : 204140.69 N                |
| Data Beban                    |                              | Data Beban                    |                              |
| Momen ( $M_g$ )               | : 12240000 Nm                | Momen ( $M_g$ )               | : 9060000 Nm                 |
| Kontrol tegangan              |                              | Kontrol tegangan              |                              |
| Serat atas                    | : -0.446 MPa                 | Serat atas                    | : -0.628 MPa                 |
| Serat bawah                   | : -14.477 MPa                | Serat bawah                   | : -13.674 MPa                |
| <i>Tahap Komposit</i>         |                              | <i>Tahap Komposit</i>         |                              |
| Penampang beton               |                              | Penampang beton               |                              |
| Dimensi                       | : 400 600 mm                 | Dimensi                       | : 350 550 mm                 |
| Luas Penampang ( $A_c$ )      | : 240000 mm <sup>2</sup>     | Luas Penampang ( $A_c$ )      | : 192500 mm <sup>2</sup>     |
| Inersia ( $I_c$ )             | : 7200000000 mm <sup>4</sup> | Inersia ( $I_c$ )             | : 4852604167 mm <sup>4</sup> |
| Jarak tendon ( $d'$ )         | : 50 mm                      | Jarak tendon ( $d'$ )         | : 50 mm                      |
| Eksentrisitas ( $e$ )         | : 250 mm                     | Eksentrisitas ( $e$ )         | : 225 mm                     |
| Titik Berat (c)               | : 300 mm                     | Titik Berat (c)               | : 275 mm                     |
| Tendon Prategang              |                              | Tendon Prategang              |                              |
| Jumlah dan ukuran             | : 4 11.113 mm                | Jumlah dan ukuran             | : 3 11.113 mm                |
| Luas penampang ( $A_p$ )      | : 387.948 mm <sup>2</sup>    | Luas penampang ( $A_p$ )      | : 290.961 mm <sup>2</sup>    |
| Tegangan efektif ( $f_{se}$ ) | : 1395 MPa                   | Tegangan efektif ( $f_{se}$ ) | : 1395 MPa                   |
| Gaya prategang (P)            | : 541187.34 N                | Gaya prategang (P)            | : 405890.50 N                |
| Tulangan tarik                |                              | Tulangan tarik                |                              |
| Jumlah dan ukuran             | : 2 22 mm                    | Jumlah dan ukuran             | : 2 19 mm                    |
| Luas penampang ( $A_s$ )      | : 760.27 mm <sup>2</sup>     | Luas penampang ( $A_s$ )      | : 567.06 mm <sup>2</sup>     |
| Tegangan leleh ( $f_y$ )      | : 360 MPa                    | Tegangan leleh ( $f_y$ )      | : 360 MPa                    |
| Gaya tarik ( $T_s$ )          | : 273695.55 N                | Gaya tarik ( $T_s$ )          | : 204140.69 N                |
| Data Beban                    |                              | Data Beban                    |                              |
| Momen ( $M_u$ )               | : 190060000 Nm               | Momen ( $M_u$ )               | : 155350000 Nm               |
| Kontrol tegangan              |                              | Kontrol tegangan              |                              |
| Serat atas                    | : -7.388 MPa                 | Serat atas                    | : -8.340 MPa                 |
| Serat bawah                   | : -18.662 MPa                | Serat bawah                   | : -18.691 MPa                |

Tabel 3. Perhitungan balok B3 dan pelat P1

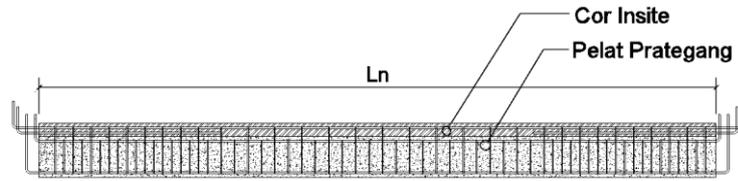
| <b>Balok B3</b>               |                              | <b>Pelat P1</b>               |                               |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <i>Tahap Prategang</i>        |                              | <i>Tahap Prategang</i>        |                               |
| Penampang beton               |                              | Penampang beton               |                               |
| Dimensi                       | : 300 350 mm                 | Dimensi                       | : 1000 100 mm                 |
| Luas Penampang ( $A_c$ )      | : 105000 mm <sup>2</sup>     | Luas Penampang ( $A_c$ )      | : 100000 mm <sup>2</sup>      |
| Inersia ( $I_c$ )             | : 1071875000 mm <sup>4</sup> | Inersia ( $I_c$ )             | : 83333333.33 mm <sup>4</sup> |
| Jarak tendon ( $d'$ )         | : 50 mm                      | Jarak tendon ( $d'$ )         | : 25 mm                       |
| Eksentrisitas ( $e$ )         | : 125 mm                     | Eksentrisitas ( $e$ )         | : 25 mm                       |
| Titik Berat (c)               | : 175 mm                     | Titik Berat (c)               | : 50 mm                       |
| Tendon Prategang              |                              | Tendon Prategang              |                               |
| Jumlah dan ukuran             | : 3 11.113 mm                | Jumlah dan ukuran             | : 4 9.525 mm                  |
| Luas penampang ( $A_p$ )      | : 290.961 mm <sup>2</sup>    | Luas penampang ( $A_p$ )      | : 285.023 mm <sup>2</sup>     |
| Tegangan efektif ( $f_{se}$ ) | : 1395 MPa                   | Tegangan efektif ( $f_{se}$ ) | : 1395 MPa                    |
| Gaya prategang (P)            | : 405890.50 N                | Gaya prategang (P)            | : 397607.03 N                 |
| Tulangan tarik                |                              | Tulangan tarik                |                               |

| <b>Balok B3</b>               |                              | <b>Pelat P1</b>               |                             |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Jumlah dan ukuran             | : 2 19 mm                    | Jumlah dan ukuran             | :                           |
| Luas penampang ( $A_s$ )      | : 567.06 mm <sup>2</sup>     | Luas penampang ( $A_s$ )      | :                           |
| Tegangan leleh ( $f_y$ )      | : 360 MPa                    | Tegangan leleh ( $f_y$ )      | :                           |
| Gaya tarik ( $T_s$ )          | : 204140.69 N                | Gaya tarik ( $T_s$ )          | :                           |
| Data Beban                    |                              | Data Beban                    |                             |
| Momen ( $M_g$ )               | : 7060000 Nm                 | Momen ( $M_g$ )               | : 7060000 Nm                |
| Kontrol tegangan              |                              | Kontrol tegangan              |                             |
| Serat atas                    | : -0.901 MPa                 | Serat atas                    | : -2.248 MPa                |
| Serat bawah                   | : -17.468 MPa                | Serat bawah                   | : -14.176 MPa               |
| <i>Tahap Komposit</i>         |                              | <i>Tahap Komposit</i>         |                             |
| Penampang beton               |                              | Penampang beton               |                             |
| Dimensi                       | : 300 500 mm                 | Dimensi                       | : 1000 150 mm               |
| Luas Penampang ( $A_c$ )      | : 150000 mm <sup>2</sup>     | Luas Penampang ( $A_c$ )      | : 150000 mm <sup>2</sup>    |
| Inersia ( $I_c$ )             | : 3125000000 mm <sup>4</sup> | Inersia ( $I_c$ )             | : 281250000 mm <sup>4</sup> |
| Jarak tendon ( $d'$ )         | : 50 mm                      | Jarak tendon ( $d'$ )         | : 25 mm                     |
| Eksentrisitas ( $e$ )         | : 200 mm                     | Eksentrisitas ( $e$ )         | : 50 mm                     |
| Titik Berat ( $c$ )           | : 250 mm                     | Titik Berat ( $c$ )           | : 75 mm                     |
| Tendon Prategang              |                              | Tendon Prategang              |                             |
| Jumlah dan ukuran             | : 3 11.113 mm                | Jumlah dan ukuran             | : 4 9.525 mm                |
| Luas penampang ( $A_p$ )      | : 290.961 mm <sup>2</sup>    | Luas penampang ( $A_p$ )      | : 285.023 mm <sup>2</sup>   |
| Tegangan efektif ( $f_{se}$ ) | : 1395 MPa                   | Tegangan efektif ( $f_{se}$ ) | : 1395 MPa                  |
| Gaya prategang ( $P$ )        | : 405890.50 N                | Gaya prategang ( $P$ )        | : 397607.03 N               |
| Tulangan tarik                |                              | Tulangan tarik                |                             |
| Jumlah dan ukuran             | : 2 19 mm                    | Jumlah dan ukuran             | : 5 10 mm                   |
| Luas penampang ( $A_s$ )      | : 567.06 mm <sup>2</sup>     | Luas penampang ( $A_s$ )      | : 392.70 mm <sup>2</sup>    |
| Tegangan leleh ( $f_y$ )      | : 360 MPa                    | Tegangan leleh ( $f_y$ )      | : 360 MPa                   |
| Gaya tarik ( $T_s$ )          | : 204140.69 N                | Gaya tarik ( $T_s$ )          | : 141371.67 N               |
| Data Beban                    |                              | Data Beban                    |                             |
| Momen ( $M_u$ )               | : 73030000 Nm                | Momen ( $M_u$ )               | : 23850000 Nm               |
| Kontrol tegangan              |                              | Kontrol tegangan              |                             |
| Serat atas                    | : -5.320 MPa                 | Serat atas                    | : -5.594 MPa                |
| Serat bawah                   | : -18.309 MPa                | Serat bawah                   | : -16.197 MPa               |

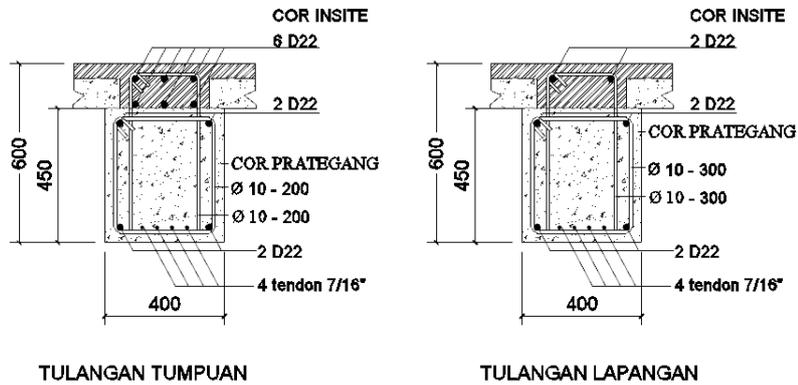
Tabel 4. Kontrol tegangan serat atas dan bawah terhadap tegangan ijin

| Tahap            | Balok/<br>pelat | Tegangan<br>serat atas<br>(Mpa) | Tegangan<br>serat bawah<br>(MPa) | Tegangan<br>tekan ijin<br>(MPa) | Tegangan<br>tarik ijin<br>(MPa) | kontrol |
|------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------|
| <b>Prategang</b> | B1              | -0,446                          | -14,477                          | -21                             | 2,95                            | OK      |
|                  | B2              | -0,628                          | -13,674                          | -21                             | 2,95                            | OK      |
|                  | B3              | -0,901                          | -17,468                          | -21                             | 2,95                            | OK      |
|                  | P1              | -2,248                          | -14,176                          | -21                             | 2,95                            | OK      |
| <b>Komposit</b>  | B1              | -7,388                          | -18,662                          | -21                             | 2,95                            | OK      |
|                  | B2              | -8,834                          | -18,691                          | -21                             | 2,95                            | OK      |
|                  | B3              | -5,320                          | -18,309                          | -21                             | 2,95                            | OK      |
|                  | P1              | -5,594                          | -16,197                          | -21                             | 2,95                            | OK      |

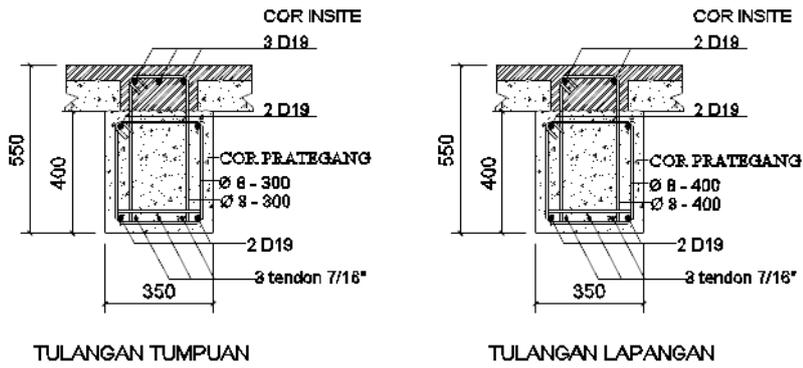
Hasil analisis menunjukkan semua tegangan serat atas dan serat bawah baik pada tahap produksi atau pemberian prategang dan tahap komposit tidak ada yang melewati tegangan ijin. Peran tulangan tarik dalam mengimbangi gaya prategang sehingga penampang dapat menahan kapasitas lebih besar dan mencegah penampang mengalami tegangan tarik. Hasil analisis ini dituangkan dalam gambar rencana dan dikombinasikan dengan hasil perencanaan sebelumnya untuk daerah tumpuan (Gunawan, 2021).



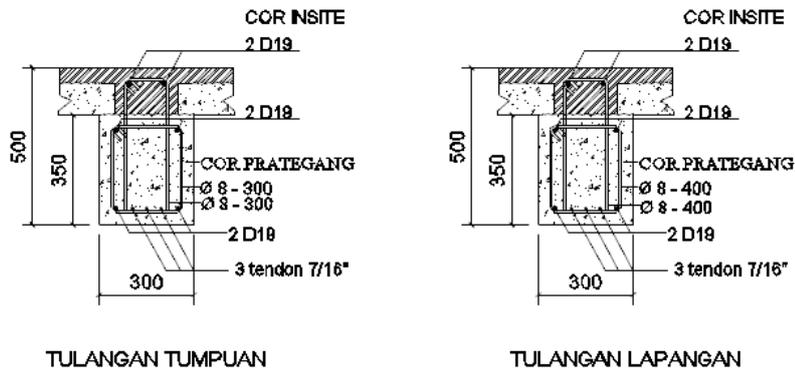
Gambar 4. Skema balok prategang



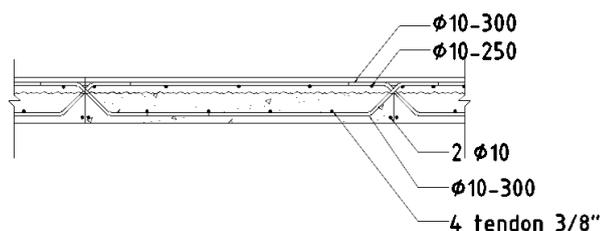
Gambar 5. Detail balok B1



Gambar 6. Detail balok B2



Gambar 7. Detail balok B3



Gambar 8. Detail pelat P1

## KESIMPULAN

Perencanaan struktur bangunan dengan balok dan pelat menggunakan sistem beton prategang dapat mengefisienkan penampang terutama untuk bentang-bentang yang besar. Berdasarkan hasil perencanaan diatas, penggunaan sistem prategang pada balok dan pelat dapat mereduksi dimensi beton dan meniadakan balok anak. Dimensi balok dengan bentang 8,0 m dan gedung yang difungsikan sebagai rumah sakit yaitu 40 x 60 cm, 35 x 55 cm, dan 30 x 50 cm, serta pelat yang dibuat segmental per 1,0 m mendapatkan ketebalan 15 cm. penggunaan tendon prategang dengan ukuran 7/16 in pada balok dan 3/8 in pada pelat. Masing-masing kebutuhan tendon adalah 4 batang pada balok B1, 3 batang pada balok B2 dan B3, sedangkan pada pelat 4 batang.

Kajian ini perlu dilanjutkan berupa perbandingan biaya dan waktu pelaksanaan terhadap sistem beton bertulang untuk mendapatkan hasil yang lebih pasti mengenai efisiensinya. Selain itu kajian terhadap pertemuan balok-kolom atau balok-pelat perlu dilakukan perbandingan terhadap kajian eksperimental. Kajian secara numerical dengan metode elemen hingga juga direkomendasikan untuk memahami kekuatan dan perilaku balok dan pelat prategang maupun join prategang.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318 (2014) *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)*.
- Badan Standardisasi Nasional (2012) *SNI-1726:2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta. Available at: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id).
- Badan Standardisasi Nasional (2019) *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta. Available at: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id).
- Gunawan, I. P. A. S. (2021) *Perancangan Struktur Gedung Rumah Sakit Menggunakan Balok dan Pelat Prategang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus*. Universitas Mahasaraswati Denpasar.
- Gunawan, I. P. A. S., Giatmajaya, I. W. and Wiryadi, I. G. G. (2021) *Analisis dan Pemodelan Struktur Gedung Rumah Sakit Pada Wilayah Gempa Tinggi*. Denpasar.
- Lin, T. Y. and Burns, N. H. (1981) *Design of Prestressed Concrete Structures*. 3rd edn. Berkeley: John Wiley & Sons Inc.
- Maharani, I. D. A. R., Wibawa, I. M. S. and Wiryadi, I. G. G. (2020) 'Perancangan Struktur Gedung Rumah Sakit dengan Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus', *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2), pp. 11–19.
- Nawy, E. G. (2001) *Beton prategang: Suatu Pendekatan Dasar*. 3rd edn. Jakarta: Erlangga.
- Sudarsana, I. K., Giri, I. B. D. and Wiryadi, I. G. G. (2014) 'Efek Penambahan Dinding Geser atau Perimeter Beams Terhadap Perilaku Dinamis Struktur Pelat Datar Empat Tingkat', *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 18(1). Available at: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jits/article/view/23730>.
- Sukrawa, M. et al. (2020) 'Studi Analitikal Perilaku Dan Kinerja Struktur Rangka Dinding Pengisi (RDP) Dengan Variasi Ketebalan Dinding', *Jurnal Spektran*, 8(2), pp. 139–148.