Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, 7 (1), 2022, page 74 - 92

Tersedia *online* di https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/rekabuana

ISSN 2503-2682 (*Online*)
ISSN 2503-3654 (Cetak)

Redesain Struktur Beton Prategang Menggunakan Metode *Post Tension:* Studi Kasus Pembangunan Mall Laves Surabaya

(Redesign of Prestressed Concrete Structures Using the Post Tension Method: A Case Study of the Construction of Laves Mall Surabaya)

Eric Vianto Mahendra Nata[1], Indra Komara[1,2]*, Eka Susanti[1], Dewi Pertiwi[1]

[1] Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya - Jl. Arif Rahman Hakim no. 100, Klampis Ngasem, Kota Surabaya, Jawa Timur 60119
[2] Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik sipil, perencanaan dan kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember- Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, Keputih, Sukolilo, Surabaya City, East Java 60111

ARTICLE INFO

Article history
Received : 17 February 2022
Revised : 15 March 2022
Accepted : 22 March 2022

DOI :
https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i1.3220

Keywords : *beam; prestressed concrete structure; post tension; SAP2000; tendon*

***e-mail corresponding author :**
indrakomara@itats.ac.id

PENERBIT

UNITRI PRESS
Jl. Telagawarna, Tlogomas-Malang, 65144, Telp/Fax: 0341-565500

This is an open access article under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License**. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC–BY-SA

ABSTRAK

Dalam bidang konstruksi bangunan, beton prategang digunakan untuk bentang besar dan untuk meningkatkan kapasitas. Salah satunya adalah pada proyek Mall Lakes Surabaya sepanjang 16 meter. Parameter penting adalah efektivitas desain, terutama menentukan parameter properti penampang. Dalam penelitian ini, teknik desain ulang digunakan untuk menilai kondisi saat eksisting dengan harapan dapat dimodelkan lebih efektif dari penggunaan dimensi penampang. Desain dievaluasi secara teoritis menggunakan konsep prategang langsung dan tidak langsung, kemudian diverifikasi secara numerik dengan SAP2000. Balok prategang dengan relaksasi rendah PC60×12cm A416 grade 250 pada kondisi eksisting dimodifikasi menggunakan dimensi lebih rendah yaitu 50×10cm A416 akan tetapi memiliki nilai grade 270, yakni lebih besar. Data yang sama digunakan untuk kriteria seperti kualitas beton 35 MPa, faktor distribusi beban 100%, dan persentase tegangan tendon 75%. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa kondisi transfer dan service 10% lebih kecil dari penampang eksisting. Dengan gabungan kehilangan prategang langsung dan tidak langsung sebesar 19%, yang mana masih memenuhi kaidah desain.

ABSTRACT

In building construction, prestressed concrete is used for large spans and to increase capacity. One of them is the 16 meters long Lakes Surabaya Mall project. An important parameter is the effectiveness of the design, especially determining the parameters of the cross-sectional property. In this study, the redesign technique was used to assess the current condition in the hope that it could be modeled more effectively using cross-sectional dimensions. The design was evaluated theoretically using the concept of direct and indirect prestressing, then numerically verified using SAP2000. Prestressed beam with low relaxation PC60×12cm A416 grade 250 in the existing condition is modified using a lower dimension of 50×10cm A416 but has a grade value of 270, which is more extensive. The same data were used for criteria such as 35 MPa concrete quality, 100% load distribution factor, and 75% tendon stress percentage. The inspection results show that the transfer and service conditions are 10% smaller than the existing cross-section. A combined direct and indirect prestress loss of 19% still meets the design code.

Cara Mengutip : Nata, E. V. M.,.Komara, I., Susanti, E., Pertiwi, D. (2022). Redesign of Prestressed Concrete Structures Using the Post Tension Method: A Case Study of the Construction of Laves Mall Surabaya. Re*ka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik* Kimia, 7(1), 74-92. doi:https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i1.3220

1. PENDAHULUAN

Implementasi beton prategang cukup signifikan beberapa tahun terakhir. Dilihat dari beberapa studi terkait, yang saat ini fungsi beton prategang tidak hanya diterapkan pada proyek jembatan namun banyak juga diterapkan pada struktur gedung. Stuktur beton prategang sendiri dapat diklasifikasikan sebagai struktur komposit yang terbuat dari beton dan baja dengan mutu tinggi. Baja tersebut kemudian diberikan tegangan sehingga ada tahanan awal untuk menahan beban. Hal tersebut dilakukan dengan harapan memberikan dukungan yang seimbang pada saat pembebanan[1]. Umumnya beton prategang dipergunakan untuk meningkatkan kapasitas kinerja pada suatu bangunan dengan keuntungan bentang yang relative lebih panjang atau dengan menggunakan dimensi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan beton konvensional. Aplikasi pada beton konvensional tentunya dibatasi oleh variabel bentuk, yakni dimensi (*cross section*). Sehingga untuk panjang bentang tertentu tidak bisa menggunakan beton konvensional karena memiliki Batasan panjang bentang dan dimensi penampang tertentu yang disesuaikan dengan tahanan nominal elemen struktur tersebut. Melihat kebutuhan saat ini, beton prategang mempunyai kelebihan dapat memikul beban yang lebih besar walaupun memiliki bentang yang panjang. Akan tetapi yang harus diperhatikan, selain harganya yang mahal, beton prategang juga membutuhkan pengerjaan yang relatif lebih rumit dan memerlukan tinjauan secara detail [2]–[5].

Dalam penyaluran gaya konsentris beton prategang dapat dilakukan melalui dua cara yaitu *pre-tension* dan *post-tension*. *Post-tension* dapat didefinisikan sebagai pemberian gaya pada baja (tendon) pada saat beton dicor kemudian tendon baru ditarik setelahnya [6]. Tegangan tarik yang terjadi pada beton prategang nilainya dibatasi, sehingga tidak melebihi nilai yang diijinkan. Diketahui bahwa kuat tarik beton kurang lebih hanya 10% dari kuat tekan beton dan sifatnya bervariatif [7]. Jika nilai tegangan tarik melebihi batas ijin maka lebar retak pada beton prategang membesar dan menyebabkan tendon rawan terhadap korosi, sehingga menyebabkan makin besarnya lendutan [3].

Pada studi kasus ini, pembangunan Mall Laves Surabaya, setelah dilakukan peninjauan pada penampang prategangnya selanjutnya akan dievaluasi. Studi kasus ini diambil dikarenakan kondisi aktual memiliki dimensi penampang yang sangat besar. Dari evaluasi yang dilakukan diharapkan dapat memberikan alternatif desain dengan evaluasi kapasitas kinerja dengan penampang yang lebih kecil. Strukturnya menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus yang menggunakan implementasi beton prategang metode *post-tension*. Ditinjau berdasarkan beberapa parameter kontrol yang terkombinasi dengan balok beton konvensional. Seperti yang diketahui pada struktur gedung dengan sistem rangka pemikul momen khusus yang harus didesain memenuhi syarat "*Strong Column Weak Beam*", yang mana kegagalan hanya diperbolahkan di area sendi plastis pada balok dan kolom [8]. Pada kondisi eksistingnya seperti yang diketahui bahwa pada penelitian ini berpedoman pada data geometrik bangunan yang ditinjau dan pada data tersebut akan dilakukan analisa permodelan dengan menggunakan program bantu SAP2000 [9], [10].

Pendekatan permodelan mengadopsi beberapa studi terdahulu untuk mengetahui *performance point* [11]–[14].

Namun indikasi kegagalan akibat implementasi *presstressed concrete* dengan metode *post tension* memungkinkan terjadi. Salah satunya adalah faktor keretakan yang diterima beton akibat gaya prategang juga menjadi konsentrasi permasalahan. Tinjauan pola retak diagonal akibat kegagalan geser serta retak vertikal memberikan indikasi akibat kegagalan gaya prategang [15]. Pendekatan daktilitas seperti kontrol lentur, geser, kuat batas, dsb diperlukan agar dapat mendukung analisa beton pretegang terkait penampang dan regangannya dari pertama kali leleh hingga akhirnya terjadi keretakan dan termasuk menganalisa kehilangan gaya prategang. Dari analisa yang dilakukan, objective dari penelitian untuk melakukan evaluasi ulang penggunaan dimensi struktur balok prategang dengan menggunakan metode *post tension*. Diharapkan assessment yang dilakukan dapat memberikan rekomendasi berbasis desain kapasitas antara penampang ekisting dengan penampang baru. Analisa tersebut dapat pula dipergunakan sebagai desain alternatif pada projek atau kasus serupa dengan pemanfaatan penampang balok prategang menggunakan metode post tension.

1.1. Prategang pada Sistem Konstruksi Gedung

Dalam aplikasinya, penggunaan tipe beton ini banyak dipergunakan karena dapat memaksimalkan fungsi ruang dengan peran dimensi yang lebih kecil akan tetapi mempunyai kapasitas yang cukup untuk menahan beban. Dengan kata lain ada dukungan tegangan untuk mendistribusikan beban pada kondisi seimbang [16]. Biasanya penerapan beton prategang itu sering diimplementasikan pada sistem rangka pemikul momen khusus. Sehingga keduanya dapat dikatakan saling berkaitan karena dapat menunjang kategori desain seismik tipe D [17].

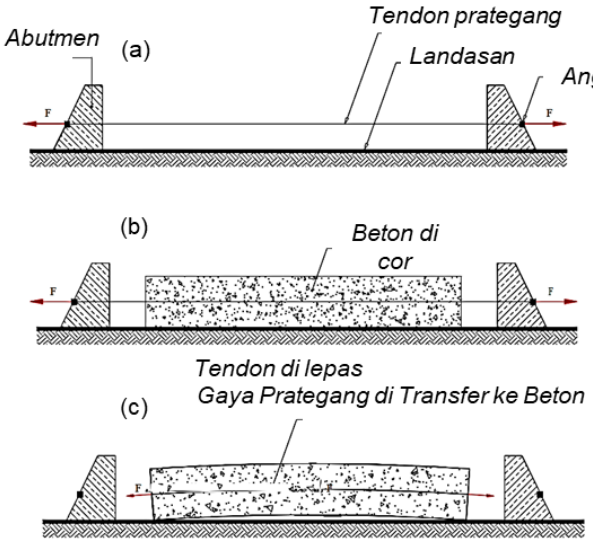
Selain tendon, struktur beton ini juga harus mampu memberikan dukungan kekangan. Kekangan tersebut didapatkan dari penerapanan penulangan pada beton konvensional pada umumnya seperti, tulangan longitudinal dan Sengkang dengan mempertimbangkan posisi tendon. Berdasarkan studi terdahulu [6] jenis tendon dibagi kedalam beberapa kebutuhan berdasarkan klasifikasi dimensi serta luasannya, yang mana akan memiliki tegangan tarik dan putus yang berbeda-beda pula. Menurut kelasnya, sesuai ASTM A-416, *tendon* dibagi kedalam dua macam *grade* utama yaitu *grade* 250 dengan nilai f_{pu} 17250 kg/cm^2 dan *grade* 270 dengan nilai f_{pu} 18600 kg/cm^2. Berat jenis tendon pada umumnya sama seperti berat jenis baja yaitu 7850 kg/cm^2 dengan nilai modulus elastisitas *Ep* sebesar 1.925×10^6 kg/cm^2.

1.2. Sistem Beton Prategang

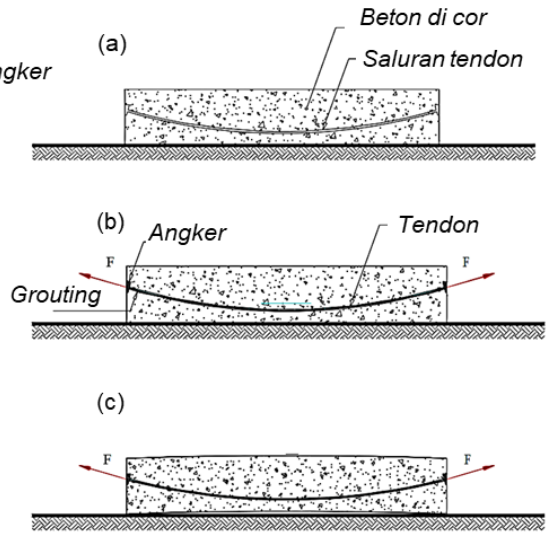
Ditinjau dari metode pelaksanaannya, beton prategang diklasifikasikan menjadi dua konsep yakni [19]

1. Pra-tarik (*pre-tension*)

Metode pemberian gaya prategang dengan cara menarik tendon terlebih dahulu sebelum melakukan pengecoran. Ilustrasi pelaksanaan metode ini dapat dilihat pada Gambar 1. Dengan tahapan pertama tendon ditarik diberi gaya prategang kemudian dilakukan pengangkuran pada suatu abutment tetap (lihat Gambar 1a). Tahapan kedua beton dicor sesuai cetakan balok yang mana mencakup tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan hingga mengeras (lihat Gambar 1b). Tahap terakhir, pemberian gaya prategang setelah beton cukup umur, selanjutnya dilakukan angkur tendon dipotong. Gaya prategang yang ditransfer ke beton dapat bekerja secara sempurna (lihat Gambar 1c). Setelah gaya prategang ditransfer ke beton. Menjadikan balok prategang tersebut akan melengkung keatas sebelum menerima beban kerja. Kemudian setelah beban bekerja, maka balok beton tersebut akan rata.



Gambar 1. Prinsip kerja *pre-tension*; (a) Penarikan *tendon*, (2) Pengecoran beton dengan tendon yang belum diberikan tegangan, (c) Pemberian gaya prategang pada beton yang sudah memenuhi umur



Gambar 2. Pengecoran beton dengan *duct* untuk *tendon*, (2) Pengisian *tendon* pada *duct* dan proses pemberian gaya pada tendon, (c) Pelepasan angker

2. Paska tarik (*post-tension*)

Metode pemberian gaya prategang ini dengan cara menarik *tendon* setelah balok dicor dan cukup umur mencapai kuat tekan beton tersebut. Adapun prinsip pasca tarik secara singkat berdasarkan tahapan kerjanya. Tahapan pertama, dengan cetakan termasuk didalamnya mencakup saluran yang mana dipasang melengkung sesuai momen balok kemudian dicor (lihat Gambar 2a). Tahapan kedua, setelah beton cukup keras dan mampu memikul beban, selanjutnya saluran diisi *tendon*. Penarikan dilakukan agar mendapat gaya prategang. Setelah itu saluran digrouting melalui lubang yang tersedia (lihat Gambar 2b). Terakhir, setelah pengangkuran, balok beton

menjadi tertekan. Hasilnya pun gaya prategang ditransfer kebeton. *Tendon* melengkung ke atas sehingga terjadi beban merata (lihat Gambar 2c).

Untuk mengetahui perilaku prategang berdasarkan *wobble effect*, analisa dilakukan secara segmentasi menggunakan Persamaan (1) hingga (3), sesuai illustrasi berikut:

Segmen A – B $$\frac{P_B - P_A}{P_A} = -KL \quad \frac{P_B - P_A}{P_A} \tag{1}$$

Segmen B – C $$\frac{P_C - P_B}{P_B} = -KL - \mu\alpha \tag{2}$$

Segmen C – D $$\frac{P_D - P_C}{P_C} = -KL \tag{3}$$

Dimana:

P_A, P_B, P_C, P_D	:	Tegangan dititik A, B, C dan D
K	:	Koefisien *wobble*
L	:	Panjang tendon
μ	:	Koefisien friksi
α	:	Sudut kemiringan tendon

Sedangkan evaluasi gaya prategangn sesuai karakterisasi level tegangan dapat menyesuaikan persamaan (4) – (11) berikut:

Tegangan efektif

Sesudah penarikan 0,7 fpu $$F_{Peff} = f_{pu} - f_{pt} \tag{4}$$

Kehilangan langsung

- Kehilangan perpedekan elastis $$\Delta F_{Pes} = 0 \tag{5}$$

- Kehilangan slip angkur $$X = \sqrt{\frac{E_{ps} \times d}{f_{pi}\left(\frac{2\mu \times \alpha}{b^2} + K\right)}} \tag{6}$$

- Kehilangan wobble effect $$P_C - P_B = -(KL + \mu\alpha) \times P_B \tag{7}$$

- Kehilangan kekangan kolom $$\Delta F_{pR} = \frac{\Delta P_{pk} + \Delta P_B + \Delta P_{Es}}{A_{ps}} \tag{8}$$

`Kehilangan tak langsung

- Kehilangan rangkak $$\Delta F_{CR} = K_{cr}\frac{Ep}{Ec}(f_{ci} - f_{cd}) \tag{9}$$

- Kehilangan susut $$\Delta F_{SH} = \varepsilon_{sh} K_{sh} E_p \tag{10}$$

- Kehilangan relaksasi baja $$\Delta F_{pR} = f_{pi}\left(\frac{Logt_1 - Logt_2}{10}\right)\left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0{,}55\right) \tag{11}$$

Dimana:

E_p	:	Modulus elastisitas baja prategang
d	:	*Anchorage set*
x	:	Tegangan tendon
λ	:	Karakteristik gesekan tendon
Z	:	Karakteristik gesekan tendon
R	:	Jari-jari
Δf_{CR}	:	Faktor kehilangan tegangan akibat pengaruh rangkak beton
e	:	Nilai regangan elastis beton
fc	:	Nilai tegangan beton pada baja *wire* prategang
E_s	:	Nilai modulus elastis baja prategang
ε_{cr}	:	Regangan akibat nilai rangkak
ε_{ce}	:	Regangan elastis
f_{ci}	:	Nilai tegangan beton setelah kondisi *transfer*
f_{cd}	:	Nilai tegangan beton akibat beban mati pada pusat berat tendon
Δf_{SH}	:	Kehilangan tegangan akibat penyusutan beton
ε_{sh}	:	Susut efektif $= 8.2 \times 10^{-6} \times \left(1 - 0.06\frac{v}{s}\right) \times (100 - RH)$
Ksh	:	Faktor atau nilai koefisien susut

Dalam perencanaan struktur terhadap desain kapasitas batas, ditetapkan bahwa nilai perencaanaan rencana, *Ru* harus lebih kecil dari kapasitas bahan, *Rn* dikali dengan faktor reduksi kekuatan *Ø*. Dimana *Ru* lebih kecil atau sama dengan *Ø*×*Rn*. Sehingga untuk desain momen, geser, gaya aksial, dan puntir tidak melebihi parameter yang ditentukan yaitu *Mn*, *Vu*, *Tu* dan *Pu* lebih kecil atau sama dengan nilai tersebut dikali faktor reduksi. Harga dari masing-masing parameter diatas diperoleh dari kombinasi beban maksimum, sedangkan *Mn*, *Vn*, *Tn* dan *Pn* adalah kapasitas penampang penerima beban terhadap momen, puntir, geser, dan gaya aksial. Adapun elemen beton yang perlu diperhitungkan sebagai dasar mengetahui besarnya tegangan pada sebuah penampang balok prategang adalah dimensi penampang, mutu beton, modulus elastis beton, susut dan rangkak [20]. Tabel 1 dan Tabel 2 mengilustrasikan persamaan untuk mengetahui pengaruh prategang pada balok sesuai dengan segmentasi yang diberikan.

Sedangkan pada elemen baja yang perlu diperhitungkan dalam mengetahui besarnya tegangan pada sebuah penampang balok prategang adalah modulus elastisitas, mutu baja dan relaksasi baja [1]. Ditinjau dari kekuatan beton prategang sangat tergantung pada tingkat penegangan maka dikenal istilah *full presstressed* dan *partial prestressed* [21].

1.3. Tahapan Pembebanan Beton Prategang

Berdasarkan analisanya, evaluasi beton prategang dibagi menjadi dua tahapan pembebanan. Dua tahap tersebut adalah *transfer* dan *service* [3], [26]. Kondisi *transfer* ini terjadi ketika angker dilepas yang mana secara langsung gaya diteruskan ke beton. Kondisi kedua, *service*, yaitu ketika beton sudah dipergunakan sebagai penerima beban utama atau kita kategorikan sebagai tahap layan. Kedua kondisi tersebut harus dianalisa sehingga tetap mampu memberikan dukungan dengan baik dan sesuai proporsinya [27].

Analisa meninjau semua parameter termasuk denah dan keutamaan struktur disertai informasi material pada proyek Mall Laves Surabaya. Bangunan tersebut menggunakan sistem desain struktur rangka pemikul momen khusus dengan kategori tanah berada pada kondisi tanah lunak. Faktor keutamaan struktur menyesuaikan dengan fungsi bangunan yaitu sebagai Mall. Parameter beban, gempa dan pendetailan struktur lainnya mengikuti standar desain yang berlaku. Kombinasi beban sesuai Tabel 3, mengadopsi SNI 2847-2019.

$$U = 1.4D \tag{12}$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5\ (Lr \text{ atau } R) \tag{13}$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5\ (Lr \text{ atau } R) + (1.0L \text{ atau } 0.5W) \tag{14}$$

$$U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5\ (Lr \text{ atau } R) \tag{15}$$

$$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L \tag{16}$$

$$U = 0.9D + 1.0W \tag{17}$$

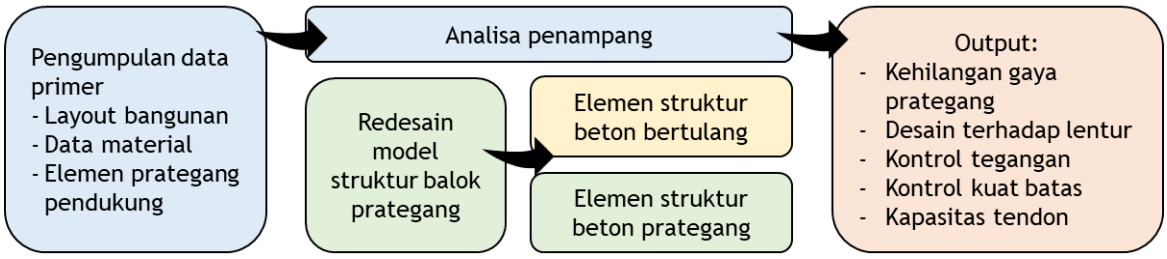
$$U = 0.9D + 1.0E \tag{18}$$

dimana:

U	:	Kombinasi beban	*Lr*	:	Beban hidup atap
D	:	Beban mati	*E*	:	Beban gempa
L	:	Beban hidup	*W*	:	Beban anging

2. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini analisa diawali dengan *preliminary analysis* yang mana bertujuan untuk menentukan kebutuhan penampang yang sesuai dengan kapasitasnya. Pengumpulan datapun menjadi parameter primer pertama dalam tahapan desain yang mana mengadopsi bangunan eksisting. Tahapan selanjutnya adalah evaluasi elemen struktur penunjang disertai dengan analisa elemen balok *prestressed* dengan output kehilangan gaya prategang, desain lentur, kontrol tegangan, kontrol kuat batas prategang dan kapasitas tendon.



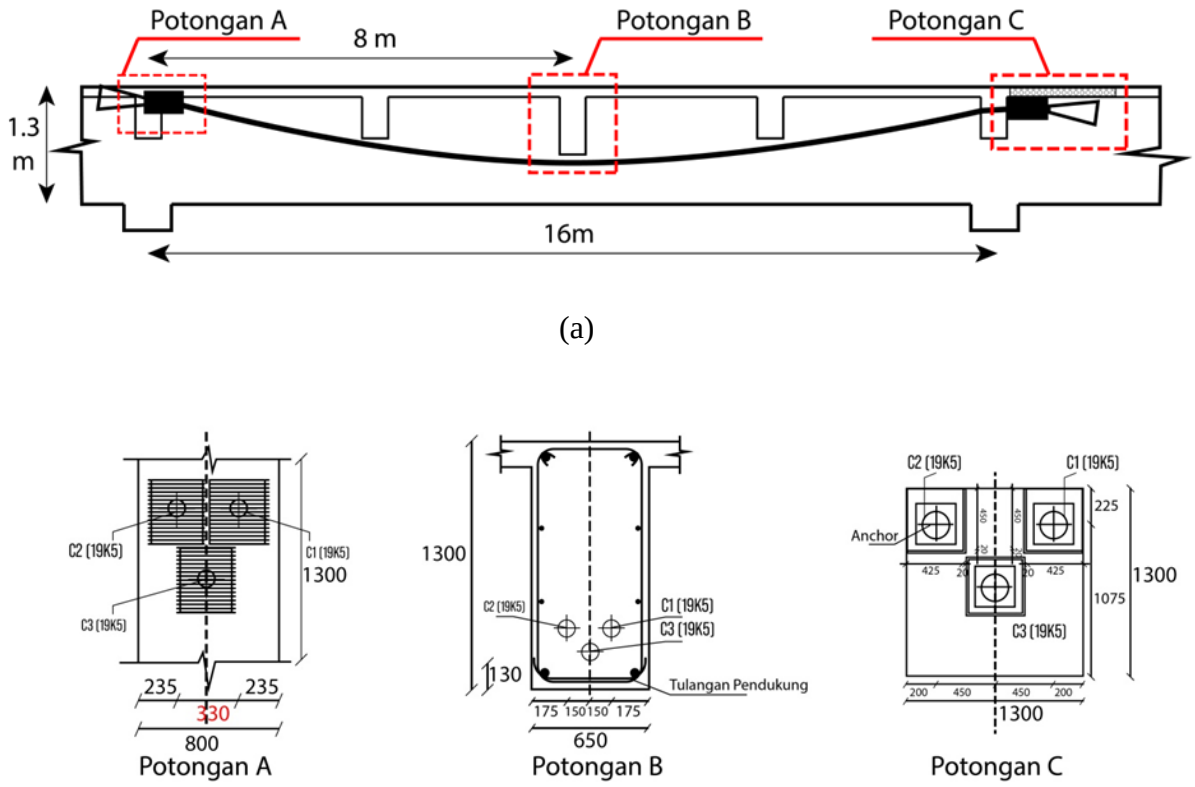
Gambar 3. Gambaran tahapan analisa redesain struktur balok prategang

Semua ouput analisa akan dikorelasikan dengan pendekatan daktilitas sesuai parameter kontrol lentur, geser, kuat batas dan kapasitas service. Sejalan dengan analisa yang dilakukan pada tahap ini, permodelan numerik menggunakan SAP2000 pun

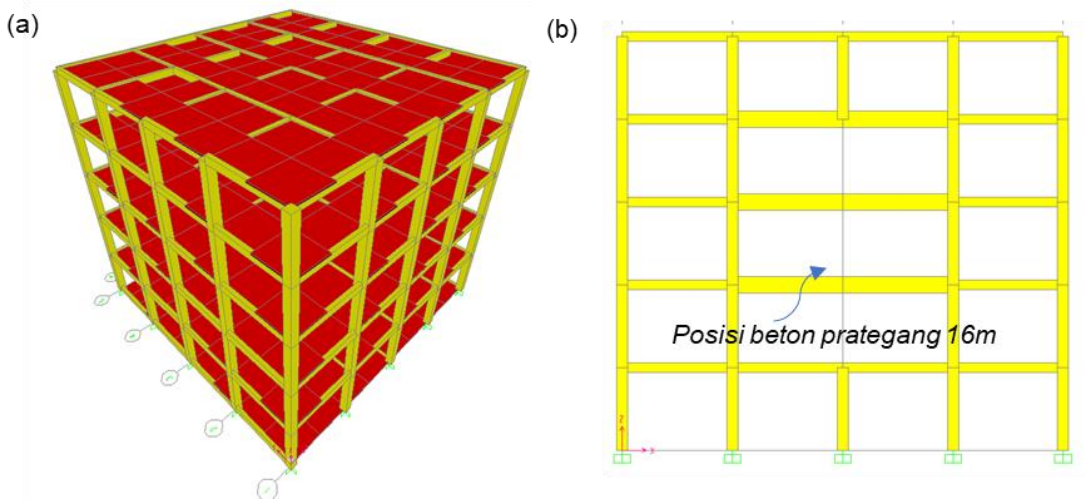
dilakukan dengan mengadopsi semua luaran yang diharapkan tersebut, seperti *Mn*, *Mu*, *εc*, *Vu*, *Vn* dan *σ*. Ilustrasi item pekerjaan dapat dilihat pada Gambar 3.

Fokus studi pada penelitian ini adalah adalah pada elemen balok prategang yang memiliki Panjang 16 m dengan tinggi sebesar 1300 mm dan lebar 650 mm. Spesifikasi *strand* yang digunakan adalah PC5-2A dengan detail dan tipe mengacu pada ASTM A416 *grade* 250 dan 270 [22]. Material beton terpakai menggunakan *f'ci* 35 MPa dengan kuat tekan akhir *f'cs* adalah 41 MPa. Faktor distribusi beban hidup pada *tendon* adalah 100% dengan presentasi penarikan *tendon* adalah 75%. Jumlah *strand* terpasang adalah 19 buah dengan total diameter 375 mm. Detail penampang balok dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah, diikuti dengan permodelan numerik menggunakan SAP2000 sesuai Gambar 5.

Pada permodelan struktur menggunakan SAP2000, dilakukan beberapa parameter kontrol yang akan dievaluasi dengan perhitungan manual yakni berupa analisa penampang, perilaku momen elemen struktur, kondisi serta kontrol tegangan, geser, deformasi dan drift struktur secara menyeluruh.



Gambar 4. Penampang balok prategang; (a) Detail kondisi segmen dan potongan, (b) Detail potongan penulangan dan posisi tendon

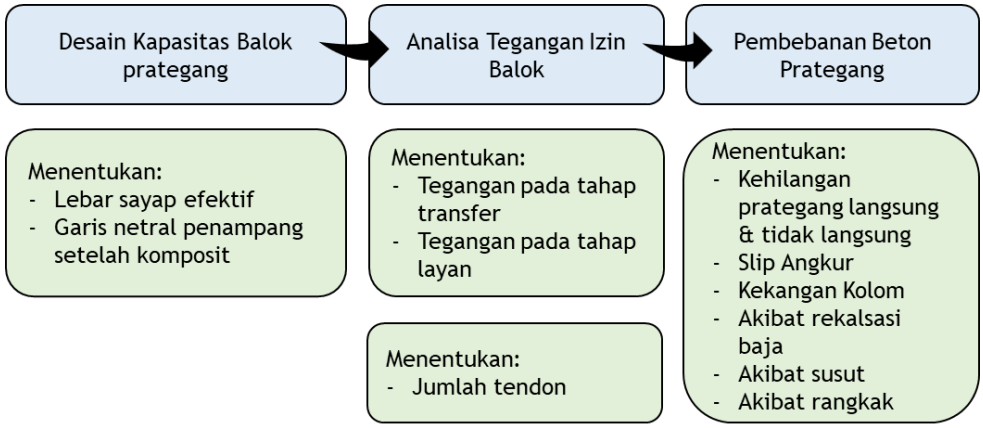


Gambar 5. Permodelan struktur; (a) Perspektif 3D, (b) Detail potongan beton prategang

Setelah balok tersebut memenuhi kapasitas sesuai data preliminary, baik analisa penampang balok beton bertulang dan analisa balok prategang, maka tahapan selanjutnya adalah permodelan dengan SAP2000. Parameter kombinasi pembebanan yang sudah dianalisa sebelumnya, sesuai Tabel 1 berdasarkan SNI 2847-2019, dijadikan parameter input dalam permodelan beban. Total beban mati yang meliputi, struktur utama dan utilitas seperti, balok, pelat, plafond, instalasi listris dan lainnya adalah 2900 kg/m dengan total beban hidup untuk peruntukan *ruang public* adalah 550 kg/m.

Kemudian dilanjutkan analisa elemen balok prategang dengan detail elemen penampang sesuai *preliminary desain* sebagai berikut :

Bentang balok (*l*)	:	16000 mm
Dimensi balok (*b*)	:	650 mm
Dimensi balok (*h*)	:	1300 mm
Kuat tekan beton balok (*fc'*)	:	40 MPa
Kuat leleh tulangan geser (fyv)	:	240 MPa
Kuat leleh tulangan lentur tul.lunak (fy)	:	400 MPa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	:	25 mm
Diameter tulangan geser (Ø geser)	:	10 mm
Diameter tulangan puntir (Ø puntir)	:	16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	:	25 mm
Jarak spasi tulangan antar lapis (S antar lapis)	:	25 mm
Tebal selimut (t decking)	:	50 mm
Faktor β1	:	0.85
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	:	0.80
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	:	0.75
Faktor reduksi kekuatan puntir (Φ)	:	0.75



Gambar 6. Tahapan analisa beton prategang

Tahapan selanjutnya adalah analisa kapasitas struktur balok prategang yang mana akan dilakukan dua tahap, yakni, permodelan ulang struktur balok prategang eksisting dan remodel dimensi mengadopsi analisa struktur eksisting. Semua analisa disesuaikan dengan ukuran tendon sesuai ilustrasi pada Gambar 4, yang mana menghasilkan data permodelan sesuai Tabel 1. Setelah semua dimensi terdefinis, kontrol momen nominal (Mn) dilanjutkan dengan menggunakan analisa numerik menggunakan SAP2000. Berdasarkan hasil analisa didapatkan *Mn* struktur eksisting lebih besar 12% dibandingkan struktur remodel.

Tabel 1. Analisa ulang penentuan dimensi struktur balok prategang

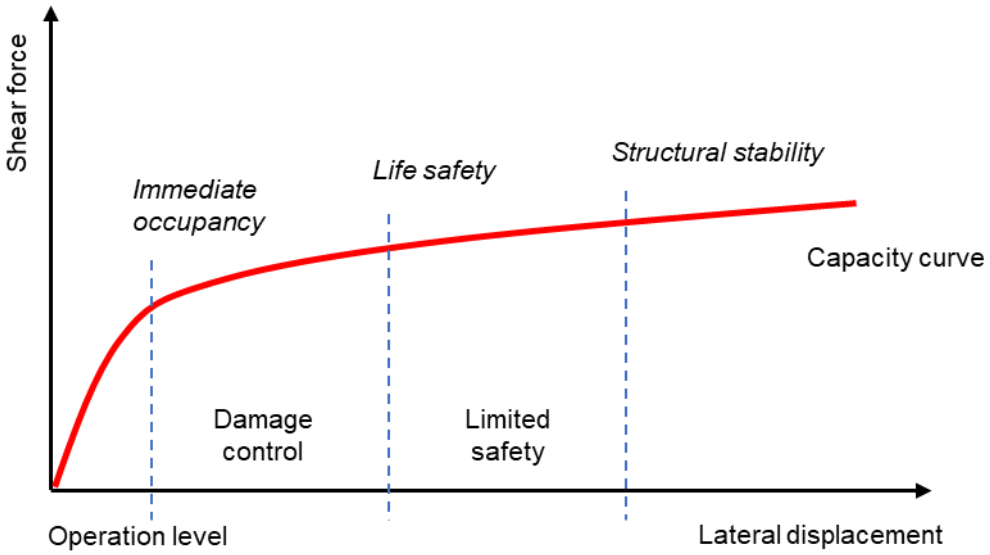
	Struktur Eksisting	Struktur Remodel
Lebar	650 mm	600 mm
Tinggi	1300 mm	1200 mm
Spesifikasi tendon	ASTM A416 90 (Grade 270) Low Relaxation	
Luas tendon	1865 mm^2	1425 mm^2
Tipe angkur	19 K13	19 K13
Jumlah Strand	59 buah	38 buah
Jumlah Tendon	3 buah	2 buah
Diameter Nominal	12.7 mm	10.2 mm
Luas Nominal	100 mm^2	100 mm^2
Minimal Breaking load	185 kN	185 kN

Berdasarkan analisa lentur balok beton bertulang, didapatkan *fc* lebih kecil dari *fc* ijin dan *fs* lebih besar dari *fs* ijin yang mana memerlukan penampang tambahan berupa penampang prategang. Analisa desain prategang kemudian dilanjutkan sesuai dengan ilustrasi tahapan pada Gambar 6, yang mana diawali dengan menentukan lebar sayap efektif, penetuan grais netral penampang setelah komposit, yang dilanjutkan dengan penentuan tegangan ijin balok dan tahapan pembebanan beton prategang. Tahapan akhir setelah semua parameter diketahui dan memenuhi kaidah desain sesuai SNI 2847-2019,

lendutan pada masing-masing tahapan pembebanan di evaluasi, yakni *L/480* atau setara 33 mm. Lendutan awal adalah akibat *jacking* – akibat tekanan tendon, eksentrisitas tepi balok dan akibat berat sendiri balok dengan nilai 20 mm atau lebih kecil dari lendutan izin. Yang menjadi catatan adalah total lendutan akibat transfer maupun *jacking* harus tidak melebihi batas lendutan izin untuk mendapatkan kapasitasnya.

Setelah elemen struktur terevaluasi termasuk kehilangan gaya prategang baik langsung ataupun tidak langsung, evaluasi terhadap lentur, kontrol tegangan dan lendutan serta penentuan kapasitas tendon. Evaluasi lanjutan adalah permodelan kinerja mengadopsi struktur balok prategang yang telah dibuat dengan permodelan ulang menggunakan SAP2000. Analisa kinerja terbatas pada deformation control dengan penentuan elemen balok prategang sebagai tinjauan utamanya terhadap perilaku struktur secara menyeluruh.

Analisa lanjutan tersebut adalah evaluasi prategang menggunakan pendekatan *pushover analysis* dengan metode ATC-40. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui idealisasi respon dan prilaku penampang struktur balok prategang yang direncanakan. Analisa *pushover* dievaluasi terhadap arah *x* dan arah *y* untuk mengetahui kekakuan struktur dan *drift* secara menyeluruh. Ilustrasi kinerja *pushover analysis* sesuai dengan Gambar 7, yang mana dibagi kedalam beberapa step keruntuhan. Step keruntuhan tersebut kemudian akan dibandingkan antara struktur eksisting dengan struktur termodifikasi. Sehingga dapat diketahui kapasitas struktur berdasarkan implementasi balok beton prategang berbasis kapasitas.



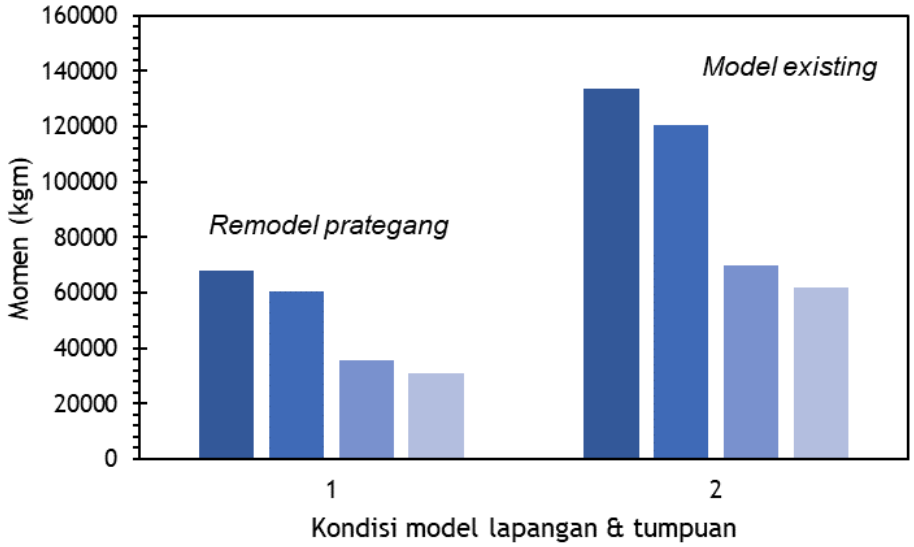
Gambar 7. Kurva kapasitas *pushover analysis*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan awal yang dilakukan adalah kontrol kapasitas desain penampang prategang, yaitu mendesain penampang balok T. Penampang ini akan menjadi parameter penentu dalam menentukan kapasitas *tendon.* Tahapan ini termasuk dalam menentukan lebar efektif yang dievaluasi dengan nilai *b efektif* pakai. Lebar efektif tersebut ditentukan berdasarkan

Panjang bentang dan lebar efektif penampang, diambil sebesar 2570 mm yang mana merupakan *b* paling minimum karena lebarnya dipengaruhi oleh penampang beton prategang balok dan pelat yaitu 4700 $\sqrt{f'c}$. Tahapan selanjutnya adalah menentukan garis netral penampang setelah komposit. Analisa ini perlu dilakukan agar dapat mengetahui perletakan dari balok dan plat, serta posisinya harus sejajar pada saat digunakan. Artinya penggabungan kondisi beton bertulang dengan beton prategang. Luasan total dari pelat dan balok diperhitungkan untuk mendapatkan garis netral arah *y* dengan menghitung bagian *top* dan *bottom* dengan nilai secara berurutan adalah 356 mm dan 944 mm. Setelah diketahui, kontrol inersia penampang dilakukan dan didapatkan nilai sebesar 1.85×10^{11} mm^4. Data tersebut menjadi pedoman untuk menghitung tahap kedua berupa penentuan tegangan izin balok.

Tegangan izin ini dipertimbangkan pada kondisi beton setelah memenuhi masa pemeliharaan 28 hari. Dengan nilai f_{ci} sama dengan 0.88 f'_c. Kemudian teganan izin segera saat peralihan atau pada kondisi belum ada kehilangan gaya prategang yang mana pada kondisi tekan sesuai σ_{tk} sama dengan 0.6 f_{ci} dan pada kondisi tarik σ_{tr} sama dengan 0.25 $f_{ci}^{0.5}$. Nilai tegangan tersebut secara berurutan adalah sebesar 22 MPa dan 1.5 MPa. Tegangan izin setelah peralihanpun dipertimbangkan baik pada kondisi tekan dan tarik sesuai SNI 2847-2019. Pada studi kasus yang ditinjau, analisa peralihan prategang digunakan kelas T. Berdasarkan tegangan tarik pada serat terjauh di daerah tarik prategangan akibat beban *service* dengan menganggap penampang utuh.



Gambar 8. Perbandingan distribusi beban beton prategang berdasarkan beban *service* dan *transfer*

Meninjau kondisi pembebanan *service* dan *transfer*. Setelah beton prategang siap digunakan sebagai komponen struktur, maka mulailah masuk ke tahap *service* dari beton prategang tersebut. Pada tahap ini beban luar seperti beban hidup, angin, gempa dan sebagainya mulai bekerja. Sedangkan pada tahap ini memerlukan pertimbangan analisa

struktur tertutama kehilangan gaya prategangnya. Pertimbangan dari beban mati diklasifikasikan sesuai fungsi yaitu, berat pelat, aspal, plafon, penggantung, instalasi listrik dan pendukung dengan berat total sebesar 475 kg/m. Beban hidup sendiri ditentukan sebesar 100 kg/m^2. Dari evaluasi beban terfaktor tersebut didapat hasil momen maximum baik lapangan dan tumpuan yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada metode *post-tension*, tahap transfer terjadi pada saat dilakukan penarikan tendon. Pada tahap ini beban yang bekerja sifatnya masih terbatas hanya berat sendiri struktur, beban pekerja dan pendukung. Sedangkan beban hidup pada struktur tersebut belum maksimal, jadi beban yang bekerja sangat minimum.

Sementara gaya prategang bekerja secara maksimum karena belum ada kehilangan gaya prategang. Pada tahap transfer ini pembebanan yang terjadi ada pada beban mati yakni balok, plat, dan tendon. Tanpa dipengaruhi oleh beban hidup. Karena pada prinsipnya posisi beton prategang metode post-tension pada tahap transfer terbebani penuh oleh beban hidup. Rekap data analisa berdasarkan perhitungan sesuai ilustrasi pada Gambar 4.

Tahapan selanjutnya adalah menentukan jumlah *tendon*. Mengadopsi pada pekerjaan di lapangan, yaitu pada pembangunan Mall Laves Surabaya, jenis *tendon* yang dipakai adalah *Uncoated Seven-wire Strand Low Relaxation* ASTM A416 dengan pengangkuran sistem *Freyssinet*. Modulus elastisitas, E pakai adalah 195×10^3 MPa dengan nilai f_{pu} sebesar 1838 MPa. Selanjutnya berdasarkan evaluasi nilai f_{py} dengan beberapa faktor koreksi penentu didapat jumlah *strand* sebanyak 59 buah. Tipe angkur yang digunakan adalah 19K5 sesuai parameter desain. Dari hasil analisa diatas setelah cek lebar badan section dapat disimpulkan bahwa dengan dimensi penampang balok prategang 650×1300 mm memiliki luas area tendon 100 mm. Mampu menampung 3 buah tendon dengan diameter selongsong 8,57 cm.

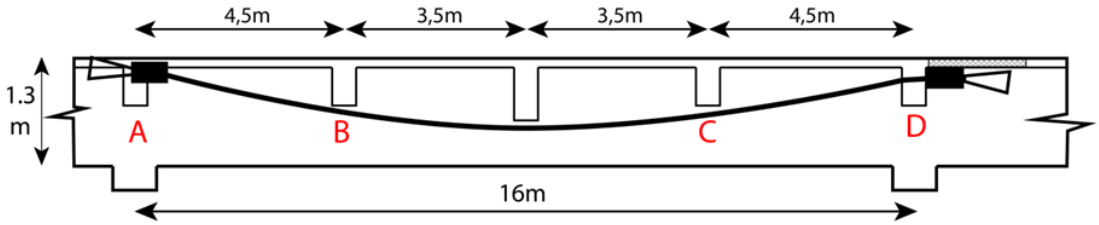
Kontrol Terhadap Kehilangan Prategang

Tendon yang terpasang berjumlah satu buah sehingga hanya terjadi sekali penarikan. Sehingga kehilangan akibat perpendekan elastis sama dengan nol $\Delta fpES$ = 0. Pada beton prategang posisi *tendon* yang dipasang melengkung sehingga terjadi gesekan antara *jacking* dan angkur. Maka secara langsung tegangan pada tendon menjadi lebih kecil dari pada bacaan pada alat baca tegangan (*pressure gauge*). Efek tersebut dikenal *Wobble effect* yang mengakibatkan gesekan antara beton dan tendon sehingga menyebabkan kehilangan tidak sempurna dalam alinyemen di sepanjang tendon. Sedangkan pada tendon tipe *seven wire*

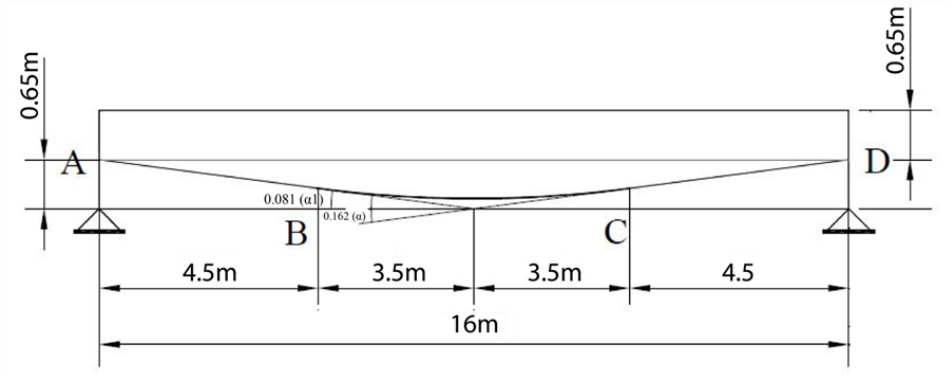
Slip angkur menjadi pertimbangan lanjutan yang mana terjadi ketika *tendon* dilepas dari alat dongkrak, kemudian terdapat penahanan baja oleh kabel sehingga gaya prategang ditransfer melalui mesin penarik angkur. Besarnya slip angkur tersebut tergantung pada tipe baja dan tegangan *tendon*. Ukuran slip angkur itu rata-rata biasanya mencapai 2,5 mm. Besarnya kehilangan dengan selongsong fleksibel, ada harga koefisien *wobble* K = 0.0016 - 0.0066 dan koefisien kelengkungan μ = 0.16 – 0.26. Evaluasi berdasarkan *wobble effect* sesuai SNI 2847-2019 dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 5 dengan hasil setiap segmentasi pada Tabel 2. akbat slip angkur dipertimbangkan berdasrkan *Eps*, *d* dan *fpi*. Sebagai hasil kehilangan akibat slip angkur sesuai variabel nilai x dan Δf_{pA} adalah 4.2%.

Tabel 2. Analisa kehilangan gaya prategang berdasarkan *wobble effect*

Segmen	Teg titik Awal	Kehilangan Gaya Prategang	Teg titik Akhir
A – B	1	$P_B - 1 = -0{,}0072$	0.9928
B – C	0.9928	$PC - PB = -(K L + \mu \alpha) \times PB$	0.957
C – D	1	$P_D - P_C$	0.944

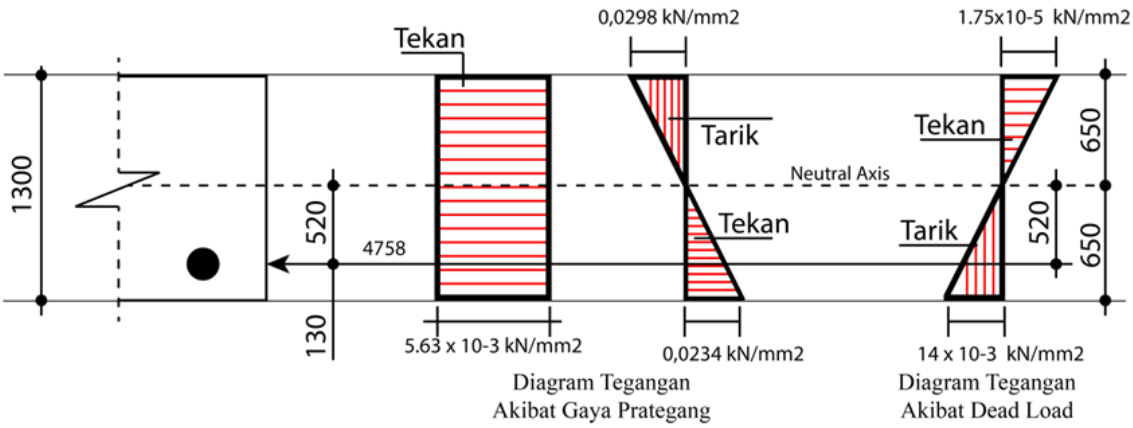


(a)



(b)

Gambar 9. Detail penampang akibat pengaruh *wobble effect*; (a) segmentasi prategang, (b) kehilangan prategang



Gambar 10. Diagram tegangan akibat gaya prategang

Dikarenakan balok prategang dikekang oleh dua kolom, yaitu pada lantai dibawah dan diatasnya, maka evaluasi kekangan akibat kolom harus dianalisa. Hal ini dapat terjadi karena saat dilakukan *jacking* beton terkekang oleh kekakuan kolom, gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya *jacking* yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya prategang karena sebagian gaya prategang digunakan untuk mengatasi perlawanan gaya kolom.

Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok prategang maka semakin besar gaya prategang yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya jacking hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari jacking yang terjadi. Prosentase kehilangan akibat kekangan kolom adalah sebesar 4.5% berdasarkan gabungan kondisi perpendekan kolom, beban merata dan beban eksentrisitas. Dari kondisi slip dan kekangan kolom, maka akan didapatkan tegangan sisa yang mana dihasilkan sebesar 1110 MPa.

Kontrol kehilangan prategang lain adalah akibat relaksasi baja. Pada kondisi ini diperlukan kurang lebih 30 hari untuk mengetahui nilainya dengan skema mengikuti perbandingan logaritma setiap kondisi, yaitu total kehilangan tahap awal, dan total kehilangan pada waktu tinjauah akhir yaitu 30 hari. Pertimbangan kehilangan prategang lainnya adalah akibat susut dan rangkak yang mana dievaluasi berdasarkan luas dan volume penampang berbanding parameter lingkungan seperti *Ksh* dan *RH*. Ilustrasi diagram tegangan akibat gaya prategang setiap kondisi dapat dilihat pada Gambar 6. Rekapitulsai kehilangan gaya prategang setiap level tegangan tiap tahap dapat dilihat pada Tabel 3 yang mana disertai dengan detail penampang dan potongan penampang setelah evaluasi pada Gambar 10.

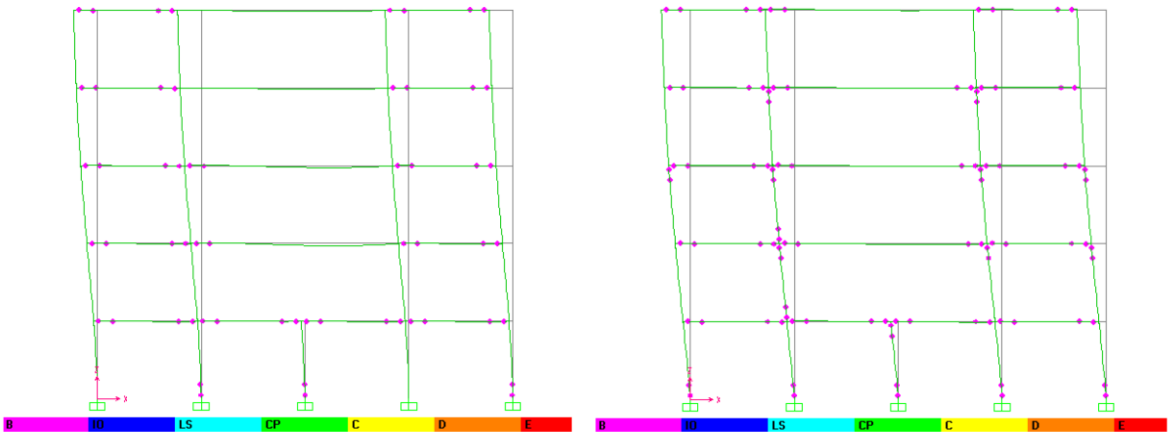
Tabel 3. Kehilangan gaya prategang gabungan str. ekisting vs str. remodel

Kehilangan Gaya Prategang	Akibat	Sesuai persamaan	Presentase Kehilangan (%) Str. Eksisting	Presentase Kehilangan (%) Str. remodel
Tegangan effektif	Sesudah penarikan 70% *fpu*	(1)	100	100
Langsung	Perpendekan elastis	(2)	-	
	Slip angker	(3)	4.1	5.7
	Wobble effect	(4)	5.6	8.2
	Kekekangan Kolom	(5)	4.4	5.2
Tidak Langsung (Waktu)	Kehilangan rangkak	(6)	0.55	1.2
	Kehilangan susut	(7)	5.2	10.5
	Kehilangan relaksasi baja	(8)	0.36	1.1

Tabel 4. Kontrol lendutan pada saat *transfer* dan *service* sesuai permodelan

Lendutan Ijin =L/480 (mm)	Lendutan akibat Tendon (mm)	Lendutan akibat Berat Sendiri (mm)	Lendutan Total	Kontrol
33.33	Saat Transfer 10.14	-5.97	4.17	OK
	Saat Service 8.02	-20.7	-22.82	OK

Berdasarkan analisa yang dilakukan terkait dengan balok prategang metode *post tension* dengan dimensi penampang sebesar 50/70 cm mendapat hasil persentase kehilangan gaya prategang komulatif kehilangan langsung dan tak langsung sebesar 19 % dan pada hasil tersebut <20%, artinya penampang tersebut memenuhi kapasitas. Sedangkan berdasarkan kontrol lendutan *tendon* saat *transfer* sebesar 4.2 mm dan *service* sebesar -22.82 mm tidak melebihi batas ijin lendutan (L/480) sebesar 33 mm, sesuai SNI 2847-2019. Maka dianggap lendutan ada pada batas ijin atau wajar, nilai rekapitulasi kehilangan gaya prategang berdasarkan permodelan numerik menggunakan SAP2000 menyesuaikan kontrol lendutan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.



(a) Struktur Eksisting **(b) Struktur Remodel**

Gambar 11. Analisa keruntuhan struktur berdasarkan *pushover analysis* pada fungsi beton prategang

Disamping kontrol pada saat *transfer* dan *service* evaluasi berbasis kinerja sesuai ATC-40 juga dilakukan untuk mengetahui mekanisme kegagalan pada elemen balok prategang eksisting dan yang dimodelkan ulang. Pada struktur eksiting, inisiasi kegagalan step pertama terjadi pada elemen balok non prategang yang masih berada pada kondisi A to IO dan berubah pada step 3 pada kondisi IO to LS. Kegagalan balok prategang mulai terlihat pada step ke 7 yang mana masih terjadi pada lantai dasar. Hal tersebut membuktikan bahwa kapasitas nominal masih belum tercapai yang membuat optimalisasi kapasitas beton prategang tidak sepenuhnya berperan. Kondisi tersebut dibuktikan dengan nilai *drift* yang relatif masih sangat kecil dengan nilai optimum 0.15 cm.

Berbeda pada permodelan eksisting, struktur bangunan yang dimodelkan ulang memiliki perilaku kerusakan lebih beragam. Pada step dasar, yaitu A to IO kegagalan terjadi pada hampir semua elemen balok hingga lantai teratas hingga step 5. Kemudian beranjak ke step 6 yaitu IO to LS dengan inisiasi kerusakan pada elemen kolom disertai pada elemen balok prategang pada step akhir yaitu pada step 12. Kondisi tersebut menghasilkan *drift* yang sedikit lebih besar dengan nilai 2.18 cm. Dari kedua hasil tersebut dapat disimpulkan, bahwa pengurangan dimensi balok prategang akan merubah perilaku struktur secara menyeluruh khususnya *drift* struktur, kekakuan dan nilai deformasi elemen penampang. Sebagai tambahan, tinjauan pada elemen balok prategang, struktur balok eksisting menghasilkan deformasi 43 mm yang mana struktur remodel menghasilkan deformasi hingga 69 mm.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi dan permodelan yang dilakukan terkait evaluasi ulang struktur beton prategang menggunakan metode *post-tension* untuk bangunan ekisting, didapatkan beberapa kesimpulan, diantaranya yaitu:

1. Kapasitas beban *service* dan *transfer* pada balok prategang yang dievaluasi ulang memenuhi kapasitas minimum dengan nilai *breaking load* sebesar 184 kN atau 10% lebih rendah dibandingkan dimensi prategang ekisting. Masing-masing kondisi baik untuk *service* dan *transfer* memberikan distribusi dukungan yang baik dengan nilai tumpuan dan lapangan secara berurutan 120 tonm, 60 tonm dan 61 tonm, 31 tonm. Nilai tersebut memenuhi kriteria kapasitas dengan nilai deformasi yang masih memenuhi persyaratan.
2. Kehilangan gaya prategang total dimana diantaranya termasuk akibat level tegangan tiap tahap baik akibat tegangan efektif, kehilangan langsung dan tidak langsung serta akibat penambahan adalah kurang dari 20%, yang mana memenuhi kriteria desain. Jika dibandingkan.
3. Perilaku *drift* struktur eksisting memiliki nilai lebih kecil dengan nilai 0.15 cm dibandingkan struktur yang diremodel yakni dengan nilai 2.18 cm, yang mana kedua kapasitas masih mampu menahan beban dengan baik, akan tetapi struktur yang dimodelkan ulang lebih memiliki fleksibilitas drift lebih besar.
4. Kapasitas kinerja berbasis *pushover analysis* sesuai ATC-40 mengklasifikasikan kedua model struktur pada IO, yang mana masih memenuhi kaidah desain.

5. PENGHARGAAN

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya karena telah memberikan bantuan dana penelitian dalam skema dana mandiri.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] A. W. Zebua, ‘Optimasi Ukuran Penampang Beton Prategang pada Balok Sederhana dan Balok Menerus dengan Menggunakan Algoritma Genetika’, *J. Magister Tek. Sipil*,

no. 2010, pp. 1–13, 2014.

[2] S. M. Ageta, E. Wahyuni, and B. Piscesa, 'Desain Modifikasi Struktur Gedung Asrama Lembaga Penjamin Mutu Pendidikan (LPMP) Sumatera Barat Menggunakan SRPMK dan Balok Prategang pada Lantai Atap', *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 81–86, 2018.

[3] N. P. A. Yuliadewi, I. G. P. Raka, and Faimun, 'Desain Modifikasi Struktur Gedung Hotel Sun Royal Menggunakan Sistem Balok Prategang dan Sistem Ganda', *J. Tek. Its*, vol. 8, no. 2, p. ISSN: 2337-3539, 2019.

[4] X. Yan, S. Wang, C. Huang, A. Qi, and C. Hong, 'Experimental study of a new precast prestressed concrete joint', *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 10, 2018, doi: 10.3390/app8101871.

[5] R. S. Henry, N. J. Brooke, C. E. Limited, and J. Ingham, 'an Overview of Reinforced and Prestressed Concrete Research At the University of Auckland', no. May, 2007.

[6] F. D. Aryani, Tavio, and C. Irawan, 'Desain Modifikasi Struktur Gedung Bupati Lombok Timur Menggunakan Balok Prategang Monolit', *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2018.

[7] R. Bulgis, A. Sonia, S. Darmawan, and A. N. Refani, 'Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (Srpmm) Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (Srpmm)', Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.

[8] H. Manalip and B. D. Handono, 'Perencanaan Balok Girder Profil I pada Jembatan Prestressed dengan Variasi Bentang', *J. Sipil Statik*, vol. 6, no. 2, pp. 67–74, 2018.

[9] A. S. Kartiko, I. Komara, Y. Septiarsilia, D. K. Fitria, H. Istiono, and D. Pertiwi, 'Analisis Geometri Bangunan Terhadap Kinerja Seismik Menggunakan Direct Displacement Based Design Method', vol. 04, no. September, 2021.

[10] Y. Andriyani *et al.*, 'Analisa sistem rangka pemikul momen menengah terhadap karakterisasi kelas situs batuan keras (SA), batuan (SB) dan Batuan Lunak (SC) berbasis respon spectrum', 2017, pp. 188–198.

[11] E. Wahyuni, H. Istiono, D. Iranata, and I. Komara, 'Non-linear analysis of failure mechanism of steel truss bridge', *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 24, pp. 14373–14382, 2016.

[12] M. A. Bastian, A. Tambusay, I. Komara, W. Sutrisno, D. Irawan, and P. Suprobo, 'Enhancing the Ductility of a Reinforced Concrete Beam using Engineered Cementitious Composite', *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 506, p. 012044, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/506/1/012044.

[13] E. Wahyuni, B. Suswanto, and I. Komara, 'Effects of Angle of Inclination Cables on The Performance of Submerged Floating Tunnel Under Hydrodynamic Load', in *The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment*, 2015, no. 5, pp. 15–26.

[14] I. Komara, K. Taşkin, E. Wahyuni, and P. Suprobo, 'Experiment on Cold-Formed Steel C-Section Joint With Screw ond Adhesive Material', *MATTER Int. J. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 51–63, 2017, doi: https://dx.doi.org/10.20319/mijst.2017.32.5163 EXPERIMENT.

[15] D. Margan and P. Saelan, 'Studi Mengenai Analisis Penampang Balok Prategang Parsial pada Beban Kerja', *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 83–96, 2019, doi: 10.26760/rekaracana.v5i2.83.

[16] Badan Standardisasi Indonesia, 'Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)', 2019.

[17] Badan Standardisasi Nasional, 'Sni 1726-2019', *Tata Cara Perenc. Ketahanan Gempa Untuk Strukt. Bangunan Gedung dan Non Gedung*, no. 8, p. 254, 2019.

[18] E. G. Nawy, *Concrete Construction Engineering Handbook Second Edition*, 2nd ed. New Jersey: CRC Press, 2008.

[19] M. H.-D., Beushausen M.G., Alexander P., *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting IV*. 2015.

[20] S. R. Rizkia, 'Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Metode Stressing Satu Arah Dan Dua Arah Pada Jembatan Beton Prategang', *Repos. Univ. Lampung*, vol. 110, no. 9, pp. 1689–1699, 2017.

[21] N. R. Pramesti, 'Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Horizontal dengan Variasi Dimensi Kolom Terhadap Gempa', Universitas Negeri Jakarta, 2018.

[22] Badan Standardisasi Nasional, 'Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan Sebagai Revisi Dari Standar Nasional Indonesia. SNI 03-2847:2019', *Badan Standarisasi Nas.*, no. 8, pp. 1–695, 2019.