

KAJIAN EFISIENSI SISTEM *FLAT SLAB* DENGAN METODE *POST-TENSION* DAN KONVENSIONAL

Anthones Primakov¹ dan Edison Leo²

¹ Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: thonzprim@gmail.com

² Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: edisonl@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Skripsi ini menganalisis tentang perbandingan efisiensi antara sistem *flat slab* dengan metode *post tension* dan metode konvensional. *Flat slab* adalah pelat dengan tumpuan kolom tanpa terdapat balok pada setiap sisi yang pada analisisnya terdapat hal yang perlu diperhatikan, yakni batasan gaya geser pada kolom dan lendutan yang terjadi pada pelat. Batasan tersebut mempengaruhi ketebalan atau penambahan pada pelat, sehingga diperlukan analisis untuk berbagai bentuk pelat pada kedua metode dengan mencari tebal minimum pelat. Bilamana pelat yang ditinjau tidak memenuhi persyaratan lendutan ataupun gaya geser, diperlukan penambahan pada pelat berupa *drop panel* pada analisis *flat slab* baik dengan metode konvensional maupun *post-tension*. Analisis ditujukan untuk mendapatkan lendutan, gaya geser serta gaya luar lainnya yang terjadi pada pelat sehingga didapatkan perbedaan jumlah tulangan dan volume material yang digunakan dalam perencanaan pelat dengan metode konvensional dan *post-tension*. Dengan proses analisis mengacu pada proses perhitungan manual, dilakukan pengecekan gaya-gaya dan lendutan yang terjadi akibat pelat dengan menggunakan program ETABS 2016. Kemudian dari hasil analisis program ETABS 2016, dihitung jumlah tulangan dan efisiensi antara metode *post-tension* dan konvensional. Adapun proses dalam *flat slab* dengan metode *post-tension* dengan menghitung jumlah tendon dan *losses* pada kondisi transfer dan service yang diperlukan yang akan dimasukkan kedalam program ETABS 2016, sehingga didapat hasil analisis yang akurat.

Kata kunci: *flat slab*, *post-tension*, konvensional, efisiensi, ETABS 2016.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan dalam konstruksi selalu diiringi dengan ketersediaan lahan dan bahan yang akan digunakan. Sebagai alternatif untuk mengurangi kebutuhan lahan, gedung bertingkat menjadi pilihan yang tepat untuk mengatasi hal tersebut. Dalam proses konstruksi gedung bertingkat, penggunaan bahan untuk bagian struktur yang sering mendominasi adalah bagian pelat. Pelat adalah elemen horizontal struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke kerangka vertikal dari suatu sistem struktur (Sudarmoko, 1996).

Sebagian besar konstruksi gedung bertingkat menggunakan sistem pelat dan balok, tetapi dalam efisiensi keterbatasan lahan khususnya interior gedung, sistem pelat datar (*flat slab*) lebih efektif dalam mengurangi ketinggian dan waktu pengerjaan konstruksi serta banyak digunakan dari segi arsitektur. Seperti dijelaskan diatas, pelat datar (*flat slab*) merupakan sistem konstruksi pelat beton bertulang tanpa balok yang sering digunakan sebagai konstruksi tinggi menengah (*high-rise building*) seperti kantor, rumah tinggal, atau fasilitas industri lainnya, yang memiliki intensitas yang tidak terlalu besar.

Dalam proses pengerjaan pelat datar (*flat slab*) biasanya digunakan beton mutu tinggi, serta bekisting pelat dapat dibuat secara merata keseluruhan. Dibalik keuntungan tersebut, terdapat kerugian-kerugian yang terdapat pada pelat datar (*flat slab*) yang diantaranya, bangunan yang direncanakan mempunyai batasan kemampuan bentang yang relatif pendek. Selain itu, dalam sistem pelat datar (*flat slab*) yang hanya merupakan sistem antara kolom dan pelat, cukup berbahaya bilamana terjadi kegagalan sambungan akibat geser. Kolom akan bergerak ke atas yang hendak menembus pelat sehingga dapat mengakibatkan timbulnya tegangan geser yang cukup besar pada area sekitar kolom dan menimbulkan keruntuhan pons.

Penambahan *drop panels* merupakan salah satu upaya dalam mengatasi tegangan geser (*punching shear*) tersebut, selain itu dapat juga dengan ditambahkan balok tepi ataupun *column capital*. *Drop panels* diletakan di atas kolom yang bertujuan untuk mendistribusikan beban yang terjadi pada pelat ke kolom sehingga terdapat penebalan pelat pada daerah tersebut. Konstruksi pelat datar (*flat slab*) dengan *drop panels* merupakan sistem unik yang dapat menghasilkan kekuatan menahan beban serta menghemat waktu dan proses pengerjaan konstruksi, yang akan lebih cepat dibandingkan dengan pelat konvensional.

Dengan terdapatnya penambahan seperti *drop panels*, *column head*, ataupun *drop panel* dan *column head* pastinya *flat slab* akan lebih kuat menahan gaya geser pons, tetapi terdapat metode lain seperti penarikan tendon saat proses pengerjaan pelat. Proses penarikan tersebut, salah satunya disebut *flat slab post-tension*. *Flat slab post-tension* adalah konstruksi pelat dimana penarikan tendon terjadi setelah beton dicor, salah satu gunanya adalah mengurangi lendutan. Selain itu, pada *flat slab* dengan metode *post-tension* ataupun konvensional terdapat batasan span, yakni sekitar 8-9 m. Hal-hal lain seperti ukuran kolom, tebal pelat yang didapatkan dan besaran lendutan serta tegangan yang terjadi, tentunya akan berbeda dengan pelat konvensional pada umumnya. Dengan demikian, akan dibahas dalam tugas akhir ini mengenai kajian efisiensi sistem *flat slab* dengan metode *post-tension* dan konvensional.

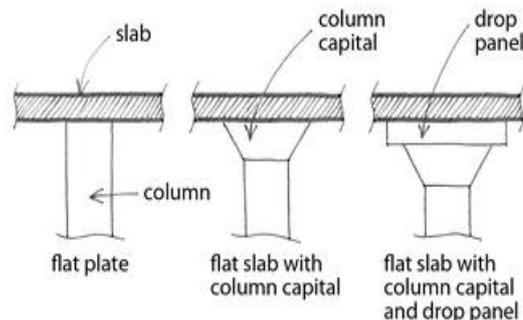
Konstruksi pelat datar (*flat slab*) merupakan konstruksi pelat tanpa balok yang mempunyai batasan span dengan ketebalan pelat bervariasi berdasarkan metode pelaksanaan. Perbedaan metode tersebut dapat berupa metode *post-tension* dan konvensional, yang berupa ketebalan pelat dan jumlah tulangan. Sehingga diperlukan kajian efisiensi sistem *flat slab* dengan metode *post-tension* dan konvensional.

Studi analisis ini membatasi penelitian terhadap analisis perbandingan pelat datar (*flat slab*) dengan *post-tension* dan konvensional. Namun, dikarenakan luasnya ruang lingkup pada analisis ini, peneliti akan membatasi batasan denah gedung dengan tingkat 1 lantai. Ketinggian antar lantai diambil 3,5 m, dengan ukuran denah pelat 30 m x 30 m. Pemodelan gedung menggunakan *flat plate*, tanpa terdapatnya *shear wall*. Pembebanan yang diperhitungkan adalah *Dead Load* (DL) dan *Live Load* (LL).

Berdasarkan identifikasi permasalahan beserta batasan masalah di atas, maka dapat dirumuskan masalah dan tujuan masalah yang akan dibahas untuk menentukan berapa tebal pelat, besar momen yang terjadi, banyak jumlah penulangan dan bagaimana efisiensi terhadap *flat slab* dengan metode *post-tension* dan konvensional.

Flat slab

Sebagai sistem struktural yang efisien, ekonomis dan banyak digunakan, pelat dua arah (*two-way slab*) merupakan konstruksi yang unik pada beton bertulang diantara bahan struktural utama. Dalam praktiknya, pelat dua arah mempunyai variasi bentuk, yang diantaranya terdapat *flat plate*, *waffle slab*, *flat slab*, dan *two-way slab with beams*. Pembebanan yang relatif ringan seperti apartemen atau bangunan serupa dapat digunakan *flat slab*. Selain itu, penggunaan *flat slab* sering dimanfaatkan dalam biaya ekonomis dan mengurangi ketinggian gedung. *Flat slab* merupakan pelat beton bertulang dua arah yang tidak mempunyai balok dan girder, serta beban ditransfer langsung ke kolom. Akibat tidak terdapatnya balok sebagai penahan tegangan geser, dapat menyebabkan tegangan geser (*punching shear*) pada kolom, sehingga dapat diatasi dengan 3 metode seperti digambarkan pada Gambar 1, yakni menggunakan *drop panels* atau *column capital* ataupun *drop panels* dan *column capital* pada *flat slab*.



Gambar 1. *Flat slab* dengan *column capital* dan *drop panel*

Penggunaan *drop panels* ataupun *column capital* dapat dipertimbangkan dalam hal-hal sebagai berikut.

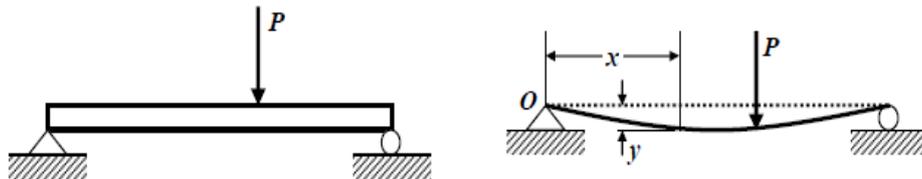
1. Penggunaan kepala kolom (*column capital*)
 - Kekuatan geser *flat slab* meningkat dengan menggunakan *column capital*.
 - *Column capital* mengurangi rentang bersih atau efektif dan oleh karena itu, dapat mengurangi momen yang terjadi pada pelat lantai datar (*flat slab floor*).
2. Penggunaan *drop panels*
 - *Drop panels* meningkatkan kekuatan geser pada pelat lantai datar (*flat slab floor*).
 - *Drop panels* meningkatkan kapasitas momen negatif *flat slab*.
 - *Drop panels* dapat mengurangi defleksi dengan meningkatkan kekakuan (*stiffness*) pada *flat slab*.

Dalam analisis perencanaan *flat slab* ini, hanya digunakan penambahan *drop panels* jika diperlukan, dengan berdasarkan kegunaan *drop panels* tersebut. Perhitungan *flat slab* megacu pada SNI 2847:2013, bahwa dimensi *flat slab* (tebal pelat) dengan rasio kurang dari 2 harus mempunyai tebal minimum sebagai berikut.

1. Tebal minimum pelat tanpa panel drop (*drop panels*) : 125 mm
2. Tebal minimum pelat dengan panel drop (*drop panels*) : 100 mm

Lendutan (defleksi)

Lendutan atau defleksi merupakan bentuk pada balok ataupun pelat dalam arah y (tegak lurus bidang datar) akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada bidang dan digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perletakan bidang sebelum terjadi deformasi dan setelah berdeformasi

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu

1. Kekakuan batang

Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil.

2. Besarnya kecil gaya yang diberikan

Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan demikian, semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadipun semakin kecil.

3. Jenis tumpuan yang diberikan

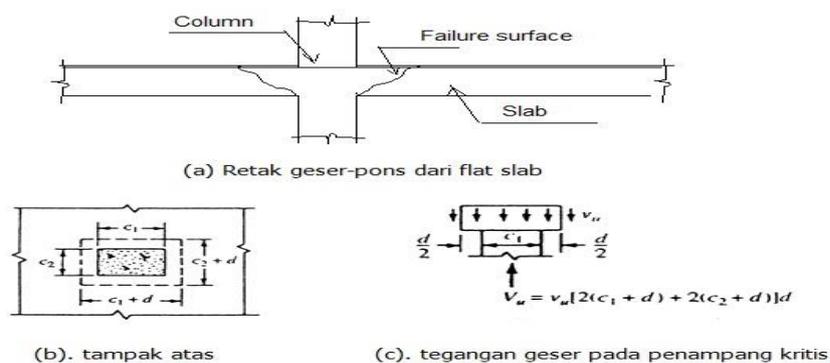
Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Jika karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin (pasak/sendi) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.

4. Jenis beban yang terjadi pada batang

Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata slope yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari slope titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja.

Gaya geser

Beban vertikal dari pelat lantai akan diteruskan dalam bentuk tegangan geser ke kolom. Beban pada pelat lantai akan menyebabkan keruntuhan apabila gaya geser yang bekerja pada daerah sekeliling kolom melebihi kekuatan geser dari beton, dan juga akan menyebabkan terjadi keretakan akibat momen yang timbul di tumpuan kolom yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penampang kritis pada keruntuhan geser-pons

Besarnya kapasitas geser beton pada keruntuhan geser-pons, ditentukan dari nilai terkecil dari persamaan 1, 2 dan 3.

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \sqrt{f'_c} b_o d \quad (1)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{12} \quad (2)$$

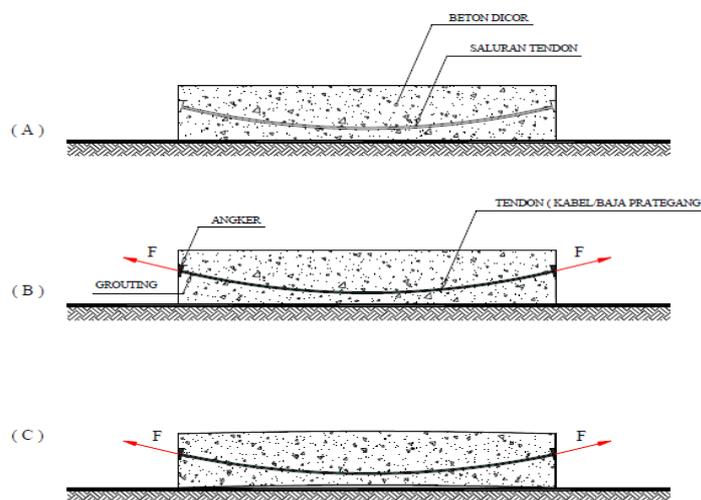
$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (3)$$

dengan d = tinggi efektif pelat lantai, b_o = keliling dari penampang kritis, β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek dari kolom ($\beta_c < 2$, untuk kolom dalam), $\alpha_s = 40$ untuk kolom dalam; 30 untuk kolom pinggir dan 20 untuk kolom sudut, yang artinya berhubungan dengan sisi dari penampang kritis.

Post-tension method

Pada metode pasca-tarik (*post-tension*), beton dicor lebih dahulu, dimana sebelumnya telah disiapkan saluran kabel atau tendon yang disebut *duct*. Secara singkat metode ini digambarkan pada Gambar 4 dan dijelaskan sebagai berikut:

- A. Dengan cetakan (*formwork*) yang telah disediakan lengkap dengan saluran selongsong kabel prategang (*tendon duct*) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok.
- B. Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan kedalam selongsong (*tendon duct*), gaya prategang ini, salah satu ujung kabel diangkur, kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Ada pula yang ditarik dikedua sisinya dan diangkur secara bersamaan. Setelah diangkur, kemudian saluran *digrouting* melalui lubang yang telah disediakan.
- C. Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan, menjadi gaya prategang yang telah ditransfer kebeton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan beban merata kebalok yang arahnya keatas, akibatnya balok melengkung keatas.



Gambar 4. Proses *post-tension*

2. METODOLOGI PENELITIAN

Konsep penelitian

Dalam analisis ini, digunakan tipe pelat datar (*flat slab*) dengan perletakan jepit pada kolom bagian bawah. Ukuran denah panjang dan lebar bangunan gedung diambil sebesar 30 m x 30 m dengan rasio panjang : lebar adalah 1:1 untuk panel eksterior dan interior. Tingkat lantai bangunan yang diambil adalah 1 tingkat dan dengan ketinggian kolom sebesar 3,5 m. Tipe pelat datar (*flat slab*) yang digunakan dapat berupa penampahan *drop panels* atau hanya pelat datar saja jika tidak diperlukan. Dimensi kolom yang diambil sebesar $b=h$, yang artinya ukuran panjang dan lebar adalah sama, dengan bentuk persegi empat. Dimensi panel pelat yang digunakan merupakan salah satu ukuran panel pelat yang efisien antara 10 m, 7,5 m dan 6 m pada kedua metode yang digunakan.

Data pelat

- Jumlah Span = 3 span
- Jenis Pelat = Flate Plate
- Panjang Span = 30 m
- Panjang Strip Span = 5 m
- Tebal Slab = 300 mm
- Tebal Drop Panel = 1,25 h_{pelat}
- Beban Hidup = 4,79 kN/m²
- Berat Mati Tambahan = 3,4 kN/m²
- Ketinggian Lantai = 3,5 m
- Dimensi kolom b=h = 700 mm

Material

- f_c = 35 MPa
- f_{ci} = 29,75 MPa
- Fy = 400 MPa
- Ec = 27,81 MPa
- Eci = 25,64 MPa
- Diameter strand = 12,7 mm
- A_{ps} = 98,7 mm²
- f_{pu} = 1860 MPa
- F_{pk} = 183,58 kN
- Es = 195 GPa
- I pelat = 6.510.416.666,67 mm⁴
- Z pelat = I/y = 52.083.333 mm³
- I kolom = 20.008.333.333,33 mm⁴

Allowable Stress

Transfer

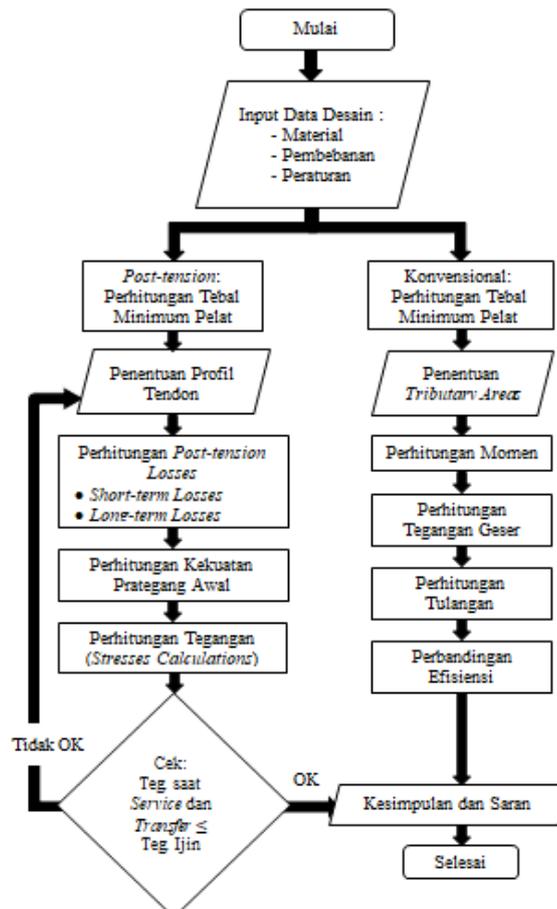
- Tekan = 0,6 f_{ci} = 17,85 MPa
- Tarik = 0,25 √f_{ci} = 1,36 MPa

Service

- Tekan = 0,45 f_c = 15,75 MPa
- Tarik = 0,5 √f_{ci} = 2,73 MPa

Proses penelitian

Proses penelitian disajikan dalam diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.

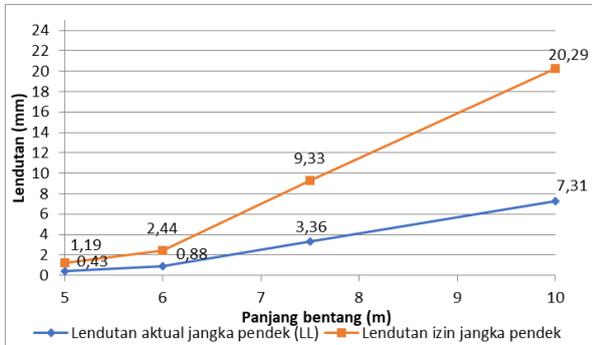


Gambar 5. Diagram Alir

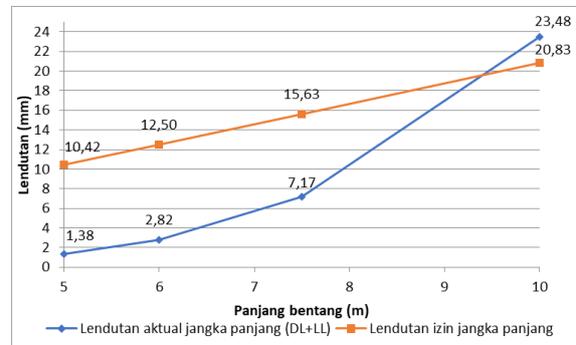
3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisa lendutan pelat

Dilakukan percobaan pada pelat dengan tebal = 300 mm, pada bentang 6m, 7,5m dan 10 m untuk mengetahui batasan bentang terhadap lendutan izin, sehingga analisis lendutan dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Lendutan Jangka Pendek



Gambar 7. Grafik Lendutan Jangka Panjang

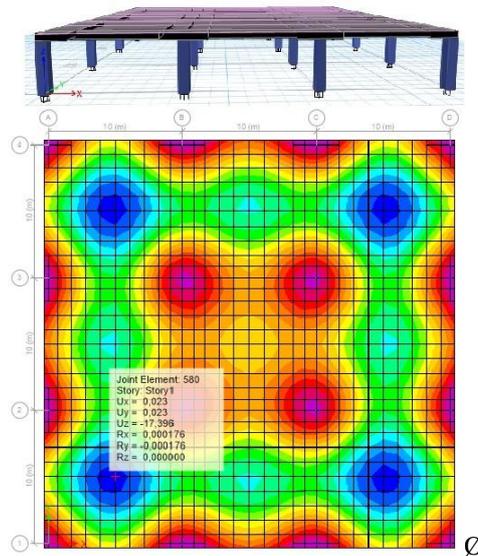
Flat slab konvensional

Diambil *flat slab* dengan bentang 10 m dengan penambahan *drop panel*.

Cek lendutan izin jangka panjang bentang 10 m :

$$U_{izin} = \frac{\ell}{480} = \frac{10.000 \text{ mm}}{480} = 20,83 \text{ mm}$$

Cek lendutan untuk pelat bentang 10m dengan *drop panel* dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Lendutan *Flat Slab* dengan *Drop Panel* akibat DL dan LL

Pengecekan gaya geser :

Tebal pelat = 300 mm

Tebal pada *drop panel* = 375 mm

- Periksa geser satu arah :

$$\emptyset V_c = 2.159,3691 \text{ kN} > V_u = 919,71 \text{ kN} \text{ (ok)}$$

- Periksa geser dua arah :

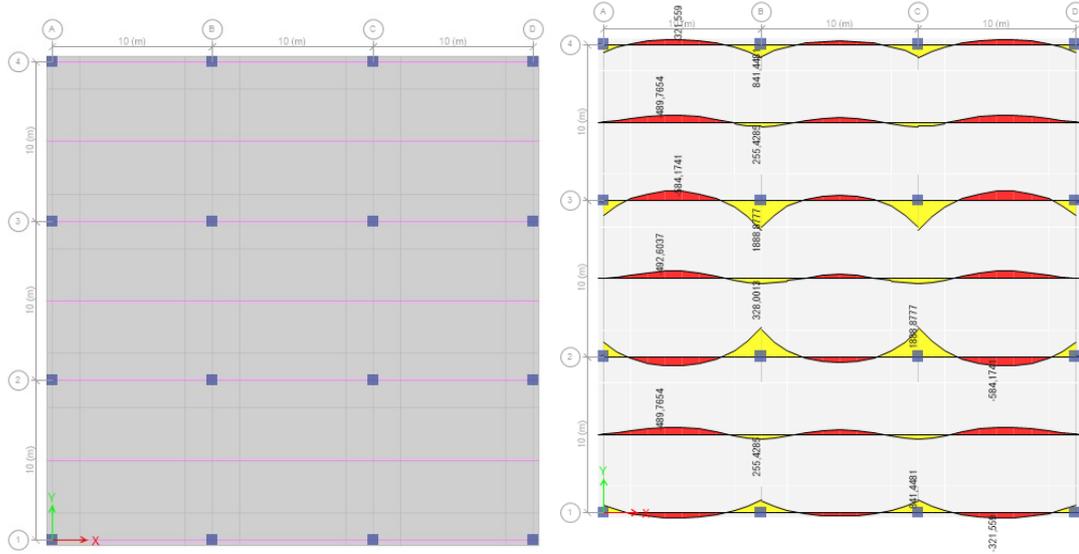
Pada bagian *drop panel*

$$\emptyset V_c = 2.108,28 \text{ kN} > V_u = 2.087,49 \text{ kN} \text{ (ok)}$$

Pada bagian pelat

$$\emptyset V_c = 5.792,37 \text{ kN} > V_u = 1.826,62 \text{ kN} \text{ (ok)}$$

Pemodelan dan diagram momen yang dianalisis pada program ETABS 2016 dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Pemodelan dan diagram momen *flat slab* konvensional

Kemudian, dari momen yang dihasilkan dihitung jumlah tulangan dan jarak antar tulangan pada *flat slab* konvensional dan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Jumlah tulangan *flat slab* konvensional

Jumlah Tulangan	Arah X	Arah Y
Panel Eksterior		
Lajur Kolom :		
Tumpuan kiri	26	28
Lapangan	13	14
Tumpuan kanan	26	28
Panel Interior		
Lajur Kolom :		
Tumpuan kiri	58	62
Lapangan	22	24
Tumpuan kanan	58	62
Lajur Tengah :		
Tumpuan kiri	13	14
Lapangan	19	20
Tumpuan kanan	13	14

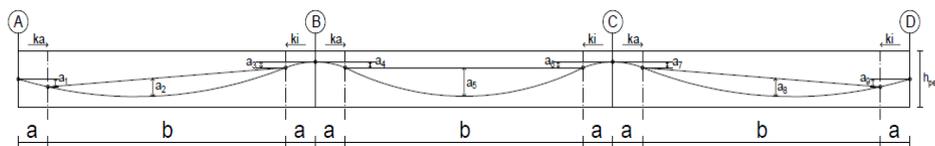
Tabel 2. Jarak antar tulangan *flat slab* konvensional

Jarak Antar Tulangan	Arah X	Arah Y
Panel Eksterior		
Lajur Kolom :		
Tumpuan kiri	90	80
Lapangan	190	170
Tumpuan kanan	90	80
Panel Interior		
Lajur Kolom :		
Tumpuan kiri	80	80
Lapangan	220	200
Tumpuan kanan	80	80
Lajur Tengah :		
Tumpuan kiri	380	350
Lapangan	260	250
Tumpuan kanan	380	350

Flat slab post-tension

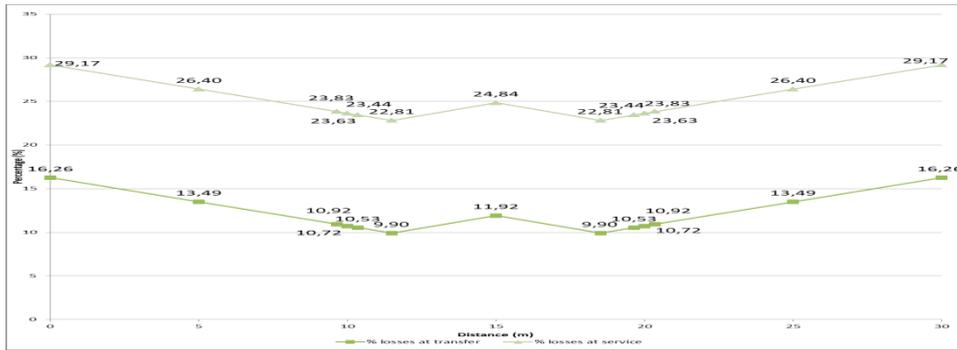
Tata letak tendon dapat dilihat pada Gambar 10, dengan e merupakan eksentrisitas garis tendon ke CGC pelat.

- eA = 0 mm
- eAB = 65 mm
- eB ki = -52,5 mm
- eB = -65 mm
- eB ka = -52,5 mm
- eBC = 65 mm
- eC ki = -52,5 mm
- eC = -65 mm
- eC ka = -52,5 mm
- eCD = 65 mm
- eD = 0 mm
- da ka = dd ki = 11,00 mm

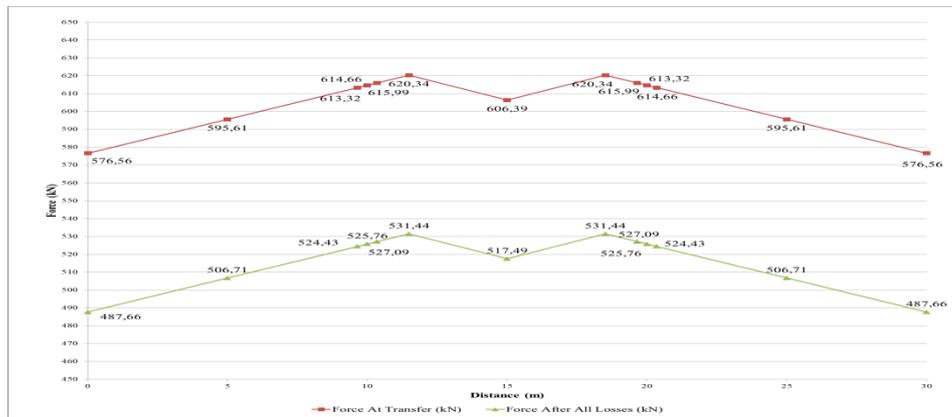


Gambar 10. Tata letak tendon

Besaran *losses* dapat dilihat pada Gambar 12 dan persentase *losses* pada Gambar 11 sebagai berikut.

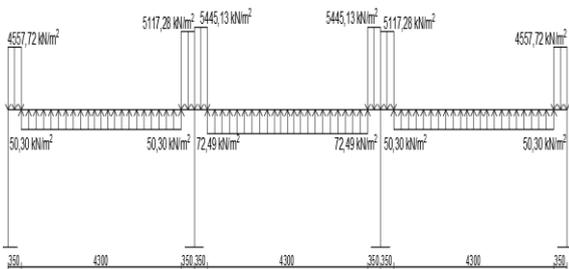


Gambar 11. Grafik percentage losses

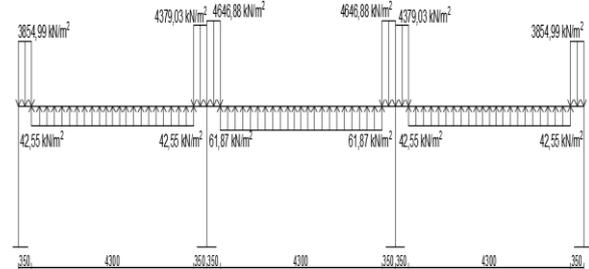


Gambar 12. Grafik kehilangan gaya prategang kondisi transfer dan service

Sehingga, besaran *Load balancing* dari hasil *losses* diatas dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14 berikut.



Gambar 13. Load Balancing pada Kondisi Transfer



Gambar 14. Load balancing pada kondisi service

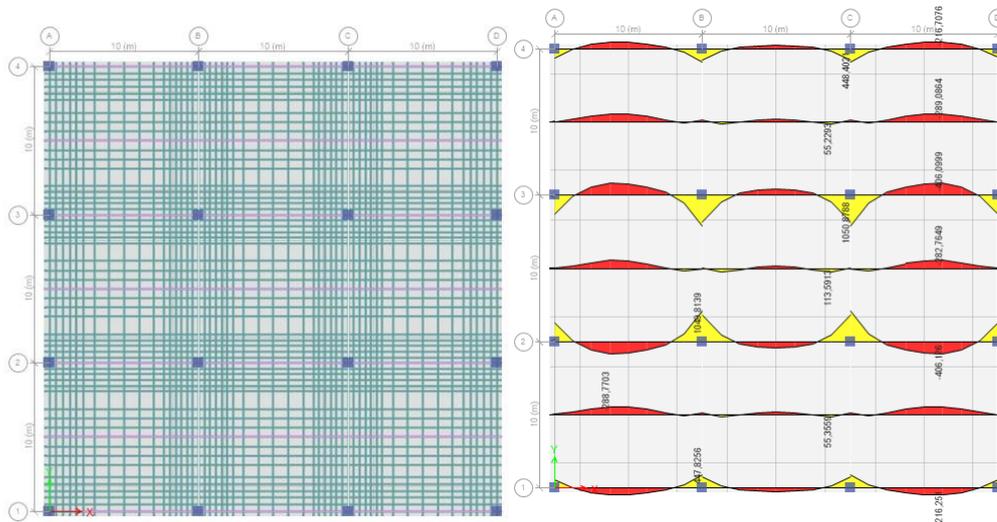
Periksa tegangan yang terjadi dengan tegangan izin dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

Tabel 3. Tegangan izin pada kondisi transfer

Transfer Condition						Service Condition		
Zone	Fiber	e (mm)	Total Stress at Transfer (MPa)	Allowable Stress (MPa)	State	Total Stress at Service (MPa)	Allowable Stress (MPa)	State
A	top	0	-3,33	1,36	OK	2,26	2,73	OK
	bottom	0	-6,82	-17,85	OK	-10,85	-15,75	OK
AB	top	65	3,88	-17,85	OK	-1,04	-15,75	OK
	bottom	65	-14,03	1,36	OK	-7,54	2,73	OK
B	top	-65	-10,83	1,36	OK	-1,02	2,73	OK
	bottom	-65	0,68	-17,85	OK	-7,56	-15,75	OK

Zone	Fiber	e (mm)	Transfer Condition			Service Condition		
			Total Stress at Transfer (MPa)	Allowable Stress (MPa)	State	Total Stress at Service (MPa)	Allowable Stress (MPa)	State
B	top	-65	-13,63	1,36	OK	-4,21	2,73	OK
	bottom	-65	2,95	-17,85	OK	-4,90	-15,75	OK
BC	top	65	6,73	-17,85	OK	2,28	-15,75	OK
	bottom	65	-17,41	1,36	OK	-11,39	2,73	OK
C	top	-65	-13,63	1,36	OK	-4,21	2,73	OK
	bottom	-65	2,95	-17,85	OK	-4,90	-15,75	OK
C	top	-65	-10,83	1,36	OK	-1,02	2,73	OK
	bottom	-65	0,68	-17,85	OK	-7,56	-15,75	OK
CD	top	65	3,88	-17,85	OK	-1,04	-15,75	OK
	bottom	65	-14,03	1,36	OK	-7,54	2,73	OK
D	top	0	-3,33	1,36	OK	2,26	2,73	OK
	bottom	0	-6,82	-17,85	OK	-10,85	-15,75	OK

Berdasarkan analisis tegangan sudah memenuhi syarat, maka dengan jumlah *strand* dan tendon yang didapat serta *losses*, dimasukkan kedalam program ETABS 2016 dan dimodelkan serta didapat hasil diagram momen seperti pada Gambar 15 berikut ini.



Gambar 15. Pemodelan dan diagram momen *flat slab post-tension*

Periksa gaya geser :

- Periksa geser satu arah

Pada kolom luar :

$$\phi V_c = 806,70 \text{ kN} > V_u = 505,35 \text{ kN (ok)}$$

Pada kolom sudut :

$$\phi V_c = 548,61 \text{ kN} > V_u = 271,46 \text{ kN (ok)}$$

Pengecekan lendutan :

Jangka Panjang :

$$U_z \text{ izin} = \frac{\ell}{480} = 20,83 \text{ mm} > U_z = 20,77 \text{ mm (ok)}$$

Penulangan :

$$A_s = 0,004 A_{ct} = 0,004 \times \frac{1}{2} \times 0,25 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,0005 \text{ m}^2$$

Digunakan tulangan D13, dengan $A_s = 0,00013 \text{ m}^2$

- Periksa geser dua arah

$$\phi V_c = 1.167,18 \text{ kN} > V_u = 1.117,68 \text{ kN (ok)}$$

Jangka Pendek :

$$U_z \text{ izin} = \frac{\ell}{360} = 27,78 \text{ mm} > U_z = 11,14 \text{ mm (ok)}$$

Banyak tulangan diperlukan = 4 D13 per 1 meter, panjang jalur = 5 m

Jarak antar tulangan diperlukan = $\frac{1000}{4} = 250$ mm

Jadi digunakan 20 D13 untuk semua jalur dan pada arah x dan y

Perbandingan efisiensi

Dari hasil analisis, efisiensi volume material antara metode konvensional dan *post-tension* dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan efisiensi volume material

Volume (kg)	Flat Slab Konvensional	Flat Slab Post-Tension
Beton	659.663,93	517.093,54
Tulangan	23.102,77	10.002,71
Strand	-	12.903,75

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dalam perencanaan *flat slab*, ketebalan *flat slab* konvensional lebih besar daripada *flat slab post-tension* pada bentang 10 m dengan metode konvensional mempunyai tebal pelat 300 mm dengan penambahan *drop panel* dan dengan metode *post-tension* dengan ketebalan pelat 250 mm.
2. Pada perencanaan *flat slab post-tension* % *losses* efektif terkecil (saat service) adalah 22,81% dan maksimum adalah 29,17% pada bentang 10m.
3. Berdasarkan hasil analisis volume material yang digunakan pada bentang 10 m, *flat slab post-tension* lebih efisien dibandingkan *flat slab* dengan metode konvensional.
4. Berdasarkan hasil analisis, lendutan dan gaya geser pons pada pelat dapat mempengaruhi ketebalan pelat serta dengan pengurangan bentang pelat dapat memperkecil lendutan yang terjadi.

Saran

Terdapat batasan-batasan dalam perencanaan *flat slab* baik dengan metode konvensional maupun *post-tension*. Hal tersebut harus diperhatikan persyaratan izin, khususnya dalam defleksi, tegangan ijin, dan gaya geser yang berkerja diantara pelat dan kolom sesuai dengan peraturan SNI. Selain itu, dalam merencanakan *flat slab post-tension* terdapat hal-hal khusus yang perlu diperhatikan, seperti penempatan tendon dan tipe alur tendon yang dapat berpengaruh dalam tegangan yang dihasilkan, yang dapat mempengaruhi efisiensi. Pada proyek kerja, efisiensi tidak hanya sebatas volume material saja, namun diperlukan rincian harga dan proses kerja serta waktu pengerjaan. Dengan demikian, tugas akhir ini ditujukan pada sistem pelat dengan dua metode untuk mendapatkan hasil efisiensi, bukan meninjau kolom serta efisiensi hanya dalam segi volume material karena harga pada material yang konservatif.

DAFTAR PUSTAKA

- E.construct Staff. (2008). *Design of Post-Tension Slab: Hand Calculation for Typical Flat Slab Design*. E.construct.
- Leo, Edison. (2018). *TM-05 Konstruksi Beton Prategang*. Pertemuan Kuliah, Universitas Tarumanagara.
- Macgregor, James G. dan James K. Wight. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics&Design 6th edition*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Nawy, Edward G. dan Bambang Suryoatmono. (2001). *Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar*. Jakarta: Erlangga.
- Setiawan, Agus. (2016). *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga.
- Soetoyo. (2016). *Konstruksi Beton Pratekan*. Tersedia di : ardi.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/40144/Beton + Prategangz.pdf (21 Maret 2016).
- Timoshenko S. dan S. Woinowsky-Krieger. (1988). *Teori Pelat dan Cangkang*. Jakarta: Erlangga.
- Zaidir. (2015). *Pertemuan XIII Konstruksi Beton II*. Tersedia di https://www.academia.edu/18977083/Beton2_tata_13-metoda-portal-ekuivalen (26 November 2015).