

Analisa Perbandingan Efisiensi Sistem Struktur Pelat-Balok dengan Sistem Struktur *Flat Slab-Drop Panel* pada Proyek *Jogja Apartment*

(Comparative Efficiency Analysis of Plate-Beam Structure System With Flat Slab-Drop Panel Structure System in Jogja Apartment Project)

YOGA APRIANTO HARSOYO, ERVAN NURFIANSYAH

ABSTRAK

Sistem struktur dalam dunia konstruksi bangunan gedung bertingkat memiliki banyak metode dan system struktur oleh karena itu perencana harus memilih sistem struktur yang sesuai dengan kebutuhannya. Pada proyek *Jogja Apartment* digunakan sistem flat slab-drop panel, sistem pelat tersebut masih jarang digunakan dalam perencanaan gedung. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan antara sistem flat slab-drop panel dan sistem pelat-balok yang ditinjau dari segi biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan desain strukturnya. Penelitian dilakukan dengan cara mendesain ulang satu denah pelat gedung *Jogja Apartment* dengan menggunakan sistem flat slab-drop panel dan sistem pelat-balok dengan metode dan pembebanan yang sama. Metode yang digunakan dalam mendesain kedua sistem pelat tersebut adalah metode desain langsung dengan peraturan SNI 03-2847-2013 sebagai dasar perhitungannya. Dari hasil penelitian didapat bahwa sistem flat slab-drop panel memiliki biaya sebesar Rp3.552.429.292 lebih murah 24,52% dibandingkan menggunakan sistem pelat-balok sebesar Rp4.706.334.233. Untuk waktu pelaksanaan sistem flat slab-drop panel memiliki waktu lebih cepat 2 hari dibandingkan dengan sistem pelat-balok. Sistem flat slab-drop panel memiliki tinggi ruang bebas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem pelat-balok

Kata kunci: *flat slab, drop panel*, metode desain langsung, pelat

ABSTRACT

Many types of structural systems in the construction world of a multi-storey building make planners choose a structural system that suits their needs. *Jogja Apartment* project used a flat slab-drop panel system. It is rarely used in building planning so this study conducted to compare the flat slab-drop panel system and the plate-beam system in terms of implementation costs, implementation time, and structural design. The study was conducted by redesigning one plate layout of the *Jogja Apartment* building by using the flat slab-drop panel system and the plate-beam system using the same method and loading. The method used in designing the two plate systems is a direct design method based on SNI 03-2847-2013. This study found that the flat slab-drop panel system has a cost of Rp 3.552.429.292, it is 24,52% cheaper than using a plate-beam system (Rp 4.706.334.233). The flat slab-drop panel has a faster time of 2 days to build compared to the plate-beam system in the implementation time. The flat slab-drop panel system has a higher free space compared to the plate-beam system in structural design.

Keywords : *flat slab, drop panel, direct design method, plate*

PENDAHULUAN

Gedung *Jogja Apartment* memiliki kekhususan yaitu menggunakan sistem *flat slab-drop panel*.

Dibandingkan dengan sistem pelat-balok, sistem *flat slab-drop panel* ini masih jarang digunakan. Menurut More dan Sawant (2015), salah satu keuntungan sistem *flat slab* adalah mengurangi ketinggian keseluruhan bangunan atau memungkinkan adanya penambahan lantai

dengan ketinggian yang sudah ditentukan diawal.

Dilihat dari sisi biaya, waktu, dan struktur desainnya, sistem *flat slab-drop panel* dan sistem pelat-balok mempunyai kekurangan dan kelebihan masing – masing. Dari latar belakang tersebut, maka penelitian ini dilaksanakan, dengan *output* berupa perbandingan antara dua sistem diatas, dan dengan parameter tersebut. Penelitian ini berisi tentang struktur drop panel di gedung Jogja Apartement, yang berfungsi untuk membandingkan antara sistem *flat slab-drop panel* dengan sistem pelat-balok yang dengan parameter biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan desain strukturnya. Tujuan dari penelitian ini membandingkan nilai biaya yang diperlukan dalam pelaksanaan dari kedua sistem tersebut. Membandingkan waktu pelaksanaan pekerjaan pembangunan dari dua sistem tersebut. Selain itu, untuk menganalisa perbandingan dari desain strukturnya pada kedua sistem struktur tersebut.

Dari studi pustaka yang telah dilakukan oleh penulis, maka dipertemukan beberapa penelitian terdahulu yang sama dengan penelitian yang dilakukan penulis. Penelitian tersebut dilakukan oleh Munawar (2014), Pratomo (2018) dan Handaya dan Sutandi (2019) dengan penelitiannya yaitu membandingkan sistem *flat slab-drop panel* terhadap sistem pelat-balok. Ketiga penelitian tersebut dibandingkan dengan penelitian sekarang memiliki beberapa perbedaan.

Perbedaan dari ketiga penelitian tersebut ada pada standar SNI yang digunakan, pada penelitian yang sekarang, penulis menggunakan stantar dengan SNI 03-2847-2013, dimana pada penelitian yang dilakukan oleh Munawar (2014) menggunakan peraturan SNI 03-2847-2002. Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh Pratomo (2018) dan Handaya dan Sutandi (2019) hanya membandingkan kedua sistem tersebut dari volume betonnya saja. Sedangkan pada penelitian sekarang membandingkan kedua sistem tersebut dari biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan desain strukturnya. Selain pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pratomo (2018) menggunakan metode portal ekuivalen sedangkan pada penelitian sekarang menggunakan metode desain langsung.

Dalam mendesain sebuah struktur bangunan, ada beberapa hal pokok yang harus diperhatikan, diantaranya adalah struktur yang

direncanakan harus kuat, tahan lama dan, mudah dalam pengerjaannya. Struktur bangunan tersebut harus dapat menjamin bahwa pada pembebanan yang terbesar, konstruksi bangunan tersebut masih dalam keadaan aman. Ada beberapa acuan yang dapat digunakan dalam pemberian pembebanan dalam perencanaan desain struktur, antara lain:

- a. SNI 2847-2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
- b. SKBI 1.3.53.1987 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.

Bangunan harus dirancang dan dibangun untuk dapat menahan segala kemungkinan jenis beban yang akan dialami bangunan tersebut. Ada beberapa jenis-jenis beban struktur seperti beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa.

Menurut More *et al.* (2015) ada beberapa metode yang bisa digunakan dalam mendesain *flat slab* yaitu *Direct Design Method* (DDM), *Equivalent Frame Method* (EFM), dan *Finite Element Method* (FEM).

Menurut Setiawan (2016), Metode Desain Langsung (*Direct Design Method*) merupakan sebuah prosedur pendekatan yang digunakan dalam menganalisis serta mendesain pelat dua arah. Pada metode ini dibatasi hanya pada sistem pelat yang dibebani oleh beban merata yang bertumpu pada kolom-kolom dengan jarak yang tidak berbeda jauh. Metode ini menggunakan jumlah koefisien penentu besaran momen pada bagian kritis.

Metode desain langsung merupakan sebuah metode sederhana dan terukur untuk yang berfungsi untuk menganalisis *flat slab*. Dalam metode ini momen total (M_o) dihitung dan kemudian didistribusikan ke momen negatif dan momen positif. Semua momen tersebut didistribusikan ke lajur kolom dan lajur tengah (Chavan dan tande, 2016).

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 13.6.11, ada beberapa batasan metode desain, antara lain :

- a. Jumlah bentang minimal dalam masing-masing arah panel sebanyak tiga bentang.
- b. Panel pelat dalam persegi dan termasuk pelat dua arah yaitu rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendek tidak lebih dari dua buah bentang.
- c. Panjang bentang panel yang menghubungkan antar pusat tumpuan,

tidak boleh lebih dari sepertiga bentang panel yang lebih panjang.

- d. Pergeseran (*offset*) pada kolom maksimum sebesar 10% dari bentangnya (dalam arah pergeseran) yaitu dari sumbu antar garis kolom yang sejajar.
- e. Semua jenis beban yang disebabkan oleh gravitasi harus didistribusikan secara merata pada seluruh bangunan. berat beban hidup (LL) maksimal 2 kali lipat benda mati (DL).
- f. Pada panel pelat-balok di antara tumpuan pada semua sisi, maka persamaan 1 ini harus dipenuhi.

$$0,2 \leq \frac{\alpha_1 \ell_2^2}{\alpha_2 \ell_1^2} \leq 0,5 \quad (1)$$

dengan, α_1 = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat dalam arah ℓ_1 , α_2 = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat dalam arah ℓ_2 , ℓ_1 = Panjang bentang dalam arah dimana momen ditentukan (m), serta ℓ_2 = Panjang bentang dalam arah tegak lurus terhadap ℓ_1 (m).

Dimana α_1 dan α_2 dihitung dengan persamaan berikut:

$$\alpha_1 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} \quad (2)$$

dengan, I_b = Momen inersia penampang balok (mm^4), I_s = Momen inersia pelat (mm^4), E_{cb} = Modulus elastisitas beton balok (MPa), E_{cs} = Modulus elastisitas beton pelat (MPa) dan E_{cs} = Modulus elastisitas beton pelat (MPa).

Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.6.2, jumlah momen terfaktor positif dan negatif dalam setiap arah minimal, seperti pada persamaan berikut:

$$M_o = \frac{1}{8} Q_u L_2 L_n^2 \quad (3)$$

dengan, M_o = Momen statis terfaktor total (kNm), Q_u = Berat terfaktor total per satuan luas (kN/m^2), L_2 = Panjang bentang antar pusat tumpuan dalam satuan (m), dan L_n = Bentang bersih dalam arah momen-momen yang ditentukan dengan syarat nilai L_n tidak boleh kurang dari $0,65L_2$ (m).

Sedangkan nilai Q_u dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_u = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L \quad (4)$$

dengan, Q_D = Beban mati terfaktor (kN/m^2) dan Q_L = Beban hidup terfaktor (kN/m^2).

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 13.6.3, momen terfaktor negatif harus terletak pada muka tumpuan persegi. Pada bentang interior, momen statis total (M_o), harus didistribusikan seperti berikut :

Koefisien momen terfaktor negatif, $0,65 M_o$

Koefisien momen terfaktor positif, $0,35 M_o$

Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.6.4 nilai koefisien momen rencana negatif interior dan momen rencana eksterior pada lajur kolom didapat dari tabel 1,2,3.

Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.6.5 balok di antara tumpuan harus bisa menahan 85% momen lajur kolom bila $\alpha_1 \ell_2 / \ell_1 \geq 1$. Dengan nilai $0 < \alpha_1 \ell_2 / \ell_1 < 1$, proporsi momen lajur kolom yang ditahan oleh balok harus diperoleh dari nilai interpolasi linier antara 0% dan 85%.

TABEL 1. Persentase Momen Rencana Negatif Interior

ℓ_2/ℓ_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 \ell_2 / \ell_1) = 0$	75	75	75
$(\alpha_1 \ell_2 / \ell_1) \geq 1$	90	75	45

Sumber : SNI 2847-2013

TABEL 2. Persentase Momen Rencana Negatif Eksterior

ℓ_2/ℓ_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 \ell_2 / \ell_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha_1 \ell_2 / \ell_1) \geq 1$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Sumber : SNI 2847-2013

TABEL 3. Persentase Momen Rencana Positif

ℓ_2/ℓ_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 \ell_2/\ell_1) = 0$	60	60	60
$(\alpha_1 \ell_2/\ell_1) \geq 1$	90	75	45

Sumber : SNI 2847-2013

Menurut Munawar (2014), *flat slab* adalah sistem pelat beton bertulang yang langsung ditumpu oleh kolom tanpa adanya balok yang berfungsi sebagai penerus ke kolom, namun untuk balok tepi luar boleh ada atau tidak sesuai dengan kebutuhan. *Flat slab* cocok digunakan menahan beban berat dan memiliki bentang yang panjang, karena mempunyai kapasitas yang besar dalam menahan geser dan momen disekitar kolom. Dengan ketebalan pelat bervariasi dari 125 mm hingga 300 mm untuk rentang 4 hingga 9 m (Kaulkhere dan Shete, 2017).

Struktur *flat slab* dapat bekerja dengan baik dalam menerima beban gravitasi. Namun, struktur ini memiliki kekurangan dalam menerima beban lateral (gempa) karena belum adanya ketepatan dan keakuratan dari struktur tersebut. (Burhanuddin dkk., 2018).

Sistem struktur *flat slab* memiliki kekurangan, berupa adanya resiko keruntuhan *punching shear* yang sering terjadi didaerah sekitar sambungan antara pelat dengan kolom (Kurniawan dkk., 2014).

Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan adanya struktur tambahan berupa *drop panel*, pada bagian *drop panel* biasanya diperbesar untuk meningkatkan garis keliling bagian kritis untuk gaya geser sehingga meningkatkan kapasitas pelat untuk menahan geser *pons* dan mengurangi momen lentur negatif di sekitar kolom (Sathawane dan Deotale, 2011).

Drop panel merupakan tambahan tebal pelat di dalam kolom dengan fungsi untuk penahan

gaya geser utama dan menjadi bidang kontak antara pelat dengan kolom (Constantine dkk., 2019).

Berdasarkan pada SNI 2847-2013 pasal 13.2.5 dan pasal 13.3.7, jika digunakan *drop panel* untuk mengurangi jumlah tulangan momen negatif didaerah kolom maka dimensi *drop panel* harus sesuai dengan beberapa persyaratan, antara lain :

- Drop panel* ada di dua arah pusat tumpuan dengan jarak minimal seperenam jarak antar pusat tumpuan pada arah tinjauan.
- Tebal *drop panel* minimal seperempat dari tebal pelat diluar daerah *drop panel*.
- Pada perhitungan tulangan pelat yang diperlukan, tebal *drop panel* setempat maksimal seperempat jarak dari tepi *drop panel* ke tepi kolom atau tepi kolom.

Tebal pelat dan kebutuhan tulangan pada sistem *flat slab* dihitung berdasarkan gaya maksimum hasil analisis struktur. Kemudian, tulangan yang akan dirancang harus tahan besarnya momen positif dan momen negatif, sehingga terdapat dua bagian perancangan dalam hal ini, yaitu perancangan tulangan momen positif dan tulangan momen negatif (Dian dkk., 2018).

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 menyatakan bahwa untuk pelat tanpa balok dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimal 2, dengan tebal minimum sesuai dengan nilai yang terdapat pada Tabel 4. Tanpa *drop panel* : 125 mm, Dengan *drop panel* : 100 mm.

TABEL 4 Tebal minimum flat slab interior

	Tanpa Penebalan		Dengan Penebalan			
	Panel eksterior	Panel interior	Panel eksterior	interior Panel	Panel	Panel
f_y (MPa)	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

Sumber : SNI 2847-2013

Sistem pelat-balok merupakan sebuah sistem pelat yang kuat dan sering digunakan untuk menunjang lantai yang tidak beraturan. Sistem pelat ini bertumpu pada balok-balok. Pelat balok memiliki sifat yang sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada bagian gedung, plat berfungsi sebagai pengaku horizontal yang bermanfaat mendukung ketegaran balok portal (Kembuan dkk., 2018).

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3 tebal minimum pelat-balok harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Untuk nilai $a_m \leq 0,2$ harus sesuai dengan persyaratan tebal minimum pelat tanpa balok seperti yang sudah dijelaskan diatas.
- Untuk nilai $0,2 \leq a_m \leq 2$, h tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 5 \beta(a_m - 0,2)} l_n \geq 125 \text{ mm} \quad (4)$$

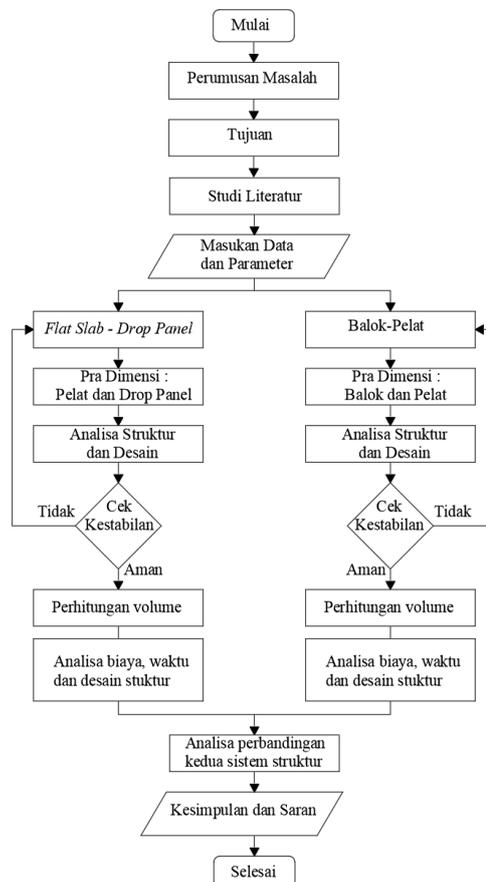
- Untuk $a_m \geq 2$, ketebalan minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 9 \beta} l_n \geq 90 \text{ mm} \quad (5)$$

dengan, h = Tebal pelat (mm), f_y = Kuat leleh baja (MPa), a_m = Nilai rata-rata kekakuan balok dengan pelat untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel, β = Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah, l_n = Panjang bentang bersih dalam arah memanjang (m).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan cara mengumpulkan data dan keterangan dari buku-buku, peraturan-peraturan, serta jurnal-jurnal yang berhubungan dengan permasalahan penelitian. Dari data yang sudah dikumpulkan tersebut kemudian diaplikasikan dalam sebuah perencanaan struktur hingga akhirnya didapat perbandingan dari segi biaya, waktu dan desain struktur antara kedua sistem struktur yaitu sistem *flat slab-drop panel* dan sistem pelat-balok. Untuk alur penelitian lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 1.



GAMBAR 1. flow chart langkah-langkah penelitian perbandingan sistem *flat sab drop panel* dengan sistem pelat balok.

Dalam perencanaan sebuah struktur, maka diperlukan adanya spesifikasi rencana struktur, antara lain :

- a. Mutu Beton
Mutu beton yang direncanakan ini sesuai data dari pihak kontraktor gedung *Jogja Apartment* yaitu untuk pelat dan struktur lain memiliki nilai f'_c sebesar 25 MPa. Sehingga untuk struktur yang didesain pada penelitian ini menggunakan nilai f'_c sebesar 25 Mpa.
- b. Mutu Tulangan
Tulangan yang direncanakan menggunakan ulir dengan kuat leleh f_y sebesar 420 MPa.
- c. Fungsi Gedung
Gedung direncanakan sebagai gedung apartemen dengan beban hidup (LL) pada lantai yang didesain sebesar 250 kg/m².
- d. Denah pelat
Denah pelat lantai yang digunakan pada penelitian ini mengambil data denah lantai 1 *Jogja Apartment*.

Perencanaan kedua sistem struktur ini menggunakan metode yang sama yaitu metode desain langsung (*Direct Design Method*). Dalam merancang struktur *flat slab-drop panel* dan pelat-balok ini menggunakan peraturan SNI 03-2847-2013 dan untuk pembebanan menggunakan peraturan PPURG tahun 1987. Khusus pendistribusian beban dari pelat ke balok menggunakan metode pembebanan amplot yaitu terdiri beban segitiga dan beban trapesium yang ditransfer ke balok. Untuk analisa pembebanan balok digunakan *software SAP2000* sebagai *software* bantu untuk mencari nilai momen dan gaya geser pada setiap balok.

Setelah kedua sistem struktur didesain maka data kebutuhan volume beton, volume bekesting dan berat besi tulangan dapat dihitung untuk digunakan dalam analisa biaya pelaksanaan. Kebutuhan baja tulangan dibuat dalam *bar banding schedule* untuk dihitung berat totalnya. Sedangkan untuk kebutuhan volume beton dan volume bekesting dihitung dengan mencari volume total beton maupun bekesting yang dibutuhkan. Untuk perhitungan harga satuan pekerjaan mengacu pada aturan SNI 7394-2008. Sedangkan untuk harga satuan upah dan bahan yang digunakan pada perhitungan ini menggunakan harga satuan upah dan bahan kota Yogyakarta tahun 2018.

Pada analisa waktu pelaksanaan dari kedua sistem ini penulis menggunakan jumlah pekerja yang sama pada kedua sistem agar diketahui perbedaan waktu durasi setiap pekerjaannya. Sedangkan untuk mengetahui lamanya seluruh pekerjaan pada kedua sistem ini dapat membuat *time schedule* pada masing-masing sistem.

Pada analisa dari segi desain struktur penulis membandingkan tinggi ruang bebas antar kedua sistem *flat slab-drop panel* dan pelat-balok dengan data tinggi *floor to floor* sesuai data gedung *Jogja Apartment* yaitu 3,2 m.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beban rencana yang bekerja pada struktur ini disesuaikan dengan PPURG 1987 didapat:

- a. Beban mati (*Dead load*)
Beban mati tambahan pada pelat lantai adalah 166 kg/m² atau 1,63 kN/m².
- b. Beban hidup (*Life load*)
Beban hidup pada pelat lantai sebesar 250 kg/m² atau 2,45 kN/m².

Dalam perencanaan tebal *flat slab*, maka tebal minimal (h_{min}) panel eskterior tanpa balok

$$\text{pinggir, } h_{min} = \frac{L_n}{33} = \frac{7,6}{33} = 0,2303 \text{ m}$$

Tebal minimal (h_{min}) panel interior,

$$h_{min} = \frac{L_n}{36} = \frac{7,6}{36} = 0,211 \text{ m}$$

Direncanakan tebal pelat, $h = 0,24 \text{ m}$ atau 240 mm

Panjang panel, $L = 8 \text{ m}$

$$\text{Lebar drop panel} \geq \frac{1}{6} L$$

$$\frac{1}{6} \times 8 = 1,33 \text{ m}$$

Direncanakan lebar *drop panel* keseluruhan 1,4 m untuk arah sumbu x atau untuk arah sumbu y diukur dari pusat kolom ke tepi *drop panel*. Jadi lebar dan panjang *drop panel* 2,8 m \times 2,8 m. Untuk tebal *drop panel* maka dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan dibawah ini :

$$\frac{1}{4} h_{\text{pelat}} \leq h_{\text{drop panel}}$$

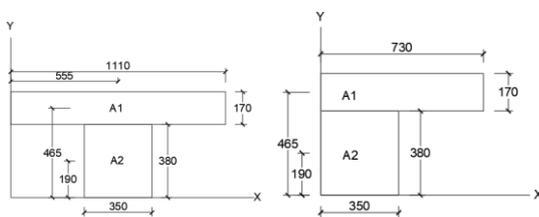
$$\frac{1}{4} h_{\text{pelat}} = \frac{1}{4} \times 240 = 60 \text{ mm}$$

$$h_{\text{drop panel}} \leq \frac{1}{4} \text{ Jarak tepi kolom ke tepi drop panel}$$

$$\frac{1}{4} \text{ Jarak tepi kolom ke tepi drop panel}$$

$$\frac{1}{4} \times 1100 = 275 \text{ mm}$$

Direncanakan tebal *drop panel* 100 cm. Jadi dimensi *drop panel* yang digunakan $2,8 \times 2,8 \times 0,1$. Setelah adanya hasil dari perhitungan drop panel, maka dilanjutkan dengan perencanaan tebal balok, yang dihitung dengan cara berikut ini :



GAMBAR 2. Penampang balok dalam dan luar

Maka lebar efektif (b_e) dapat dihitung sebagai berikut :

$$b_e = b_w + 2h_w = 350 + 2 \times 380 = 1110 \text{ mm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 350 + 8 \times 170 = 1710 \text{ mm}$$

dengan, b_e = Lebar efektif (mm), b_w = Lebar badan (mm), h_w = Tinggi badan (mm), h_f = Tebal sayap (mm).

Dengan syarat panjang sayap (*flens*) tidak lebih dari $4 h_f = 4 \times 170 = 680 \text{ mm}$

Untuk arah melebar bangunan :

$$\text{Inersis pelat, } I_{s1} = 2,45 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\text{Inersia balok, } I_b = 5,85 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Menggunakan persamaan 2

$$\text{Sehingga } \alpha_1 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} = \frac{5,85 \times 10^9}{2,45 \times 10^9} = 2,38$$

$$\text{nilai } \alpha_2 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} = \frac{7,95 \times 10^9}{3,28 \times 10^9} = 2,42$$

$$\text{nilai } \alpha_3 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} = \frac{7,95 \times 10^9}{2,45 \times 10^9} = 3,24$$

$$\text{nilai } \alpha_4 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} = \frac{5,85 \times 10^9}{3,28 \times 10^9} = 1,78$$

Menghitung nilai α_m

$$\alpha_m = \frac{2,38 + 2,42 + 3,24 + 1,78}{4} = 2,45$$

Karena nilai $\alpha_m > 2$ maka digunakan

$$h = \frac{0,8 + \frac{fy}{1400}}{36 + 9\beta} \ln \geq 90 \text{ mm}$$

$$h = \frac{0,8 + \frac{420}{1400}}{36 + 9 \cdot 1,37} \times 7400 \geq 90 \text{ mm}$$

$h = 168,42 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm}$, maka digunakan tebal pelat $h = 170 \text{ mm}$.

Dari analisa perhitungan yang dilakukan terdapat 3 jenis balok rencana yang didesain yaitu B1, B2 dan B3. Ada 2 pengecekan kemampuan balok yang telah dilakukan penulis yaitu pengecekan kemampuan balok terhadap momen pada balok dan pengecekan kemampuan balok terhadap gaya geser balok. Hasil dimensi, Diameter tulangan dan jumlah tulangan balok serta kemampuan balok dalam menahan momen dan geser pada balok dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Dapat disimpulkan bahwa semua balok yang didesain sudah aman dalam menahan gaya momen dan geser balok.

TABEL 5. Pengecekan kemampuan momen balok

No	Jenis Balok	Lokasi	D (mm)	Jumlah Tulangan		ϕM_n (kNm)	Mu (kNm)	Cek
				Atas	Bawah			
1	B1	Tumpuan	25	16	7	1453,76	1438,28	AMAN
	(65x54)	Lapangan	25	4	11	1043,22	961,42	AMAN
2	B2	Tumpuan	25	6	2	459,84	456,79	AMAN
	(55x35)	Lapangan	25	2	5	396,66	272,03	AMAN
3	B3	Tumpuan	25	6	2	459,84	456,79	AMAN
	(55x30)	Lapangan	25	2	4	317,35	183,40	AMAN

TABEL 6. Pengecekan kemampuan geser balok

No	Jenis Balok	Lokasi	D (mm)	Jenis sengkang	Jarak sengkang	ϕV_n (kNm)	V_u (kNm)	Cek
1	B1 (65x55)	Tumpuan	10	4P10	80	885,66	884,02	AMAN
		Lapangan	10	4P10	120	666,93	650,25	AMAN
2	B2 (55x35)	Tumpuan	10	2P10	80	394,21	366,76	AMAN
		Lapangan	10	2P10	140	273,22	269,68	AMAN
3	B3 (55x30)	Tumpuan	10	2P10	110	294,76	293,29	AMAN
		Lapangan	10	2P10	150	245,75	224,69	AMAN

Biaya pelaksanaan dapat dihitung dengan cara mengkalikan volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan. Dari Tabel 7 didapatkan biaya pelaksanaan menggunakan sistem pelat-balok sebesar Rp. 4.706.334.233, sedangkan dari Tabel 8 biaya pelaksanaan menggunakan sistem *flat slab-drop panel* sebesar Rp3.552.429.292. Dari kedua hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem *flat slab-drop panel* memiliki biaya yang lebih murah apabila dibandingkan dengan sistem pelat-balok, dan dengan selisih biaya pelaksanaan total

dari pekerjaan bekesting sampai pengecoran sebesar Rp1.153.904.941 atau 24,52% dari biaya total sistem pelat-balok. Sistem *flat slab-drop panel* lebih murah pada pekerjaan bekesting sebesar Rp313.107.340 atau 22,30% dan pada pekerjaan pembesian sebesar Rp913.008.902 atau 37,93%, sedangkan sistem pelat-balok lebih murah hanya pada pekerjaan pengecoran yaitu sebesar Rp72.211.301 atau 7,47% dari biaya pengecoran sistem *flat slab-drop panel*.

TABEL 7. Biaya pelaksanaan sistem pelat-balok

No	Keterangan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Biaya
1	2	3	4	5	6 = 3 × 5
1	Bekesting				
	Bekesting Balok	1386,73	m ²	Rp368.855	Rp511.503.770
	Bekesting Pelat	2070,64	m ²	Rp431.155	Rp892.766.358
			Jumlah		Rp1.404.270.128
2	Pembesian				
	Pembesian Balok	57489,85	kg	Rp21.517	Rp1.237.009.142
	Pembesian Pelat	54373,54	kg	Rp21.517	Rp1.169.955.466
		Jumlah			Rp2.406.964.608
3	Pengecoran Pelat-Balok	600,16	m ³	Rp1.491.419	Rp895.099.498
		Total			Rp4.706.334.233

TABEL 8. Biaya pelaksanaan flat slab-drop panel

No	Keterangan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Biaya
1	2	3	4	5	6 = 3 × 5
1	Bekesting				
	Bekesting <i>Drop panel</i>	696,09	m ²	Rp368.855	Rp256.756.277
	Bekesting <i>Flat slab</i>	1935,28	m ²	Rp431.155	Rp834.406.511
			Jumlah		Rp1.091.162.788
2	Pembesian				
	Pembesian <i>Drop panel</i>	7928,57	kg	Rp21.517	Rp170.598.992
	Pembesian <i>Flat slab</i>	61502,85	kg	Rp21.517	Rp1.323.356.714
		Jumlah			Rp1.493.955.706
3	Pengecoran <i>Flat slab-Drop panel</i>	648,58	m ³	Rp1.491.419	Rp967.310.799
		Total			Rp3.552.429.292

Dari analisa yang telah dilakukan penulis didapat perbandingan hasil antara sistem *flat slab-drop panel* dan sistem pelat-balok seperti tabel 13. Pada bagian pembebanan dan perhitungan pelat, kedua sistem dihitung dengan cara dan metode yang sama. Kemudian dari tabel perbandingan tersebut didapat hasil

sistem *flat slab-drop panel* lebih efisien dibandingkan sistem pelat-balok jika dilihat dari biaya pelaksanaan total, waktu pelaksanaan, dan tinggi ruang bebas yang dihasilkan. Sistem pelat-balok hanya unggul pada biaya pengecoran saja yang lebih murah 7,47% dibandingkan sistem *flat slab-drop panel*

TABEL 13 Perbandingan Sistem flat slab-drop panel dengan balok-pelat

No	Kriteria	<i>Flat slab-drop panel</i>	Pelat-balok	Keterangan	
1	Pembebanan (kg)	ADL (kg)	166	166	Sama
		LL (kg)	250	250	Sama
2	Perhitungan pelat	Metode Desain Langsung	Metode Desain Langsung	Sama	
3	Tebal Pelat (mm)	240	170	Sistem pelat-balok memiliki tebal lebih tipis 29,17%	
4	Biaya Bekesting(Rp)	Rp1.091.162.788	Rp1.404.270.128	Sistem <i>flat slab - drop panel</i> memiliki biaya bekesting lebih murah 22,30%	
5	Biaya Pembesian(Rp)	Rp1.493.955.706	Rp2.406.964.608	Sistem <i>flat slab - drop panel</i> memiliki biaya pembesian lebih murah 37,93%	
6	Biaya Pengecoran(Rp)	Rp967.310.799	Rp895.099.498	Sistem pelat-balok memiliki biaya pengecoran lebih murah 7,47%	
7	Biaya Pelaksanaan Total(Rp)	Rp3.552.429.292	Rp4.706.334.233	Sistem <i>flat slab - drop panel</i> memiliki biaya pelaksanaan lebih murah 24,52 %	
8	Waktu Pelaksanaan (Hari)	36	38	Waktu Pelaksanaan <i>flat slab</i> lebih cepat 5,26%	
9	Tinggi ruang bebas (m)	2,86	2,55	Tinggi ruang bebas <i>flat slab - drop panel</i> lebih tinggi 12,16%	

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis, maka terdapat 3 penelitian sebelumnya yang mempunyai kesamaan dengan penelitian penulis yaitu membandingkan antara sistem *flat slab-drop panel* dan sistem pelat-balok, dari hasil penelitian yang dilakukan penulis didapat perbandingan hasil dengan penelitian sebelumnya sebagai berikut ini :

a. Hasil yang didapatkan oleh penulis sama dengan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Munawar (2014), yang menyatakan sistem *flat slab* lebih murah apabila dibandingkan dengan sistem pelat balok, sedangkan untuk wakt pelaksanaannya sistem *flat slab* lebih cepat 1 hari dibandingkan dengan sistem balok. Untuk hasil yang didapatkan oleh penulis adalah sistem flat slab memakan biaya yang lebih sedikit, dan waktu pengerjaan yang lebih

cepat 2 hari apabila dibandingkan dengan menggunakan sistem pelat balok. Untuk luas daerah penelitian, penulis memiliki luas yang lebih besar 4 kali lipat, apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

- b. Hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis didapat nilai volume beton menggunakan sistem flat slab yang lebih kecil dari pada menggunakan sistem pelat balok. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pratomo (2018), (2014) dan Handaya dan Sutandi (2019).
- c. Penelitian yang ketiga yaitu penelitian yang dilakukan oleh Handaya dan Sutandi (2019). Dari hasil penelitian penulis didapat hasil yang sama yaitu volume beton pada sistem *flat slab-drop panel* lebih besar daripada sistem pelat-balok.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa perbandingan efisiensi yang telah dilakukan penulis antara sistem *flat slab-drop panel* dan sistem pelat-balok didapat kesimpulan biaya total pelaksanaan pada satu pelat lantai gedung *Jogja Apartment* menggunakan sistem *flat slab-drop panel* memiliki biaya sebesar Rp3.552.429.292 lebih murah 24,52% dibandingkan menggunakan sistem pelat-balok sebesar Rp4.706.334.233. Untuk perbandingan biaya lainnya diantaranya (a) Biaya bekesting dengan sistem *flat slab-drop panel* memiliki biaya sebesar Rp1.091.162.788 lebih murah 22,30% dibandingkan menggunakan sistem pelat-balok sebesar Rp1.404.270.128, (b) biaya pembesian dengan sistem *flat slab-drop panel* memiliki biaya sebesar Rp1.493.955.706 lebih murah 37,93% dibandingkan menggunakan sistem pelat-balok sebesar Rp2.406.964.608, (c) biaya pengecoran dengan sistem pelat-balok memiliki biaya sebesar Rp967.310.799 lebih murah 7,47% dibandingkan menggunakan *flat slab-drop panel* sebesar Rp895.099.498. Dari ketiga biaya pekerjaan tersebut sistem pelat-balok hanya unggul pada biaya pengecoran yang lebih murah, ini dikarenakan volume beton pada sistem pelat-balok lebih kecil dibandingkan volume beton sistem *flat slab-drop panel*. Waktu pelaksanaan pada satu pelat lantai gedung *Jogja Apartment* menggunakan sistem *flat slab-drop panel* memiliki waktu selama 36 hari lebih cepat 5,26% dibandingkan menggunakan sistem pelat-balok selama 38 hari. Desain struktur menggunakan sistem *flat slab-drop panel* memiliki tinggi ruang bebas 2,86 m lebih tinggi 12,16% dibandingkan menggunakan sistem pelat-balok 2,55 m.

DAFTAR PUSTAKA

- BSN, (2013), SNI 03-2847-2013: *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Burhanuddin, D., Wahyuni, E dan Irawan, D., (2018), Desain Modifikasi Gedung Fave Hotel Cilacap Menggunakan Metode Flat Slab, *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), 134-138.
- Chavan, G.R. dan Tande, S.N., (2016), Analysis and Design of Flat slab, *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 7(1), 133-138.
- Constantine, F.N., Sumajouw, M.D.J., dan Pandaleke, R., (2019), Studi Perbandingan Analisis Flat Slab dan Flat Plate, *Jurnal Sipil Statik*, 7(11), 1397-1406.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1987), SKBI-1.3.53.1987: *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, Yayasan Badan Penerbit P.U, Jakarta.
- Dian, F.A.A., Raka, I.G.P., dan Tavio, (2018), Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen One East Surabaya Menggunakan Struktur *Flat Slab* dengan Penambahan *Shear Wall*, *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), 304-309.
- Handaya dan Sutandi, A., (2019), Perbandingan Slab dengan Drop panel dan Slab dengan Balok Ditinjau dari Volume Beton dan Biaya, *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(1), 47-56.
- Kaulkhere, R.V dan Shete, G.N., (2017), Analysis and Design of Flat slab with various shapes, *International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR)*, 2(5), 538-544
- Kembuan, P., Wallah, S.E., dan Dapas, S.O., (2018), Desain Praktis Pelat Konvensional Dua Arah Beton Bertulang, *Jurnal Sipil Statik*, 6(9). 705-714.
- Kurniawan, R., Budiaono, B., Surono, A., dan Pane, I., (2014), Studi Eksperimental Perilaku Siklis Flat Sab Beton Mutu Sangat Tinggi, *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 21(2), 139-146.
- More, R.S. dan Sawant, V.S., (2015), Analysis of Flat slab, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(1), 98-101.
- More, R.S., Sawant, V.S dan Suryawanshi, Y.R., (2015), Analytical Study of Different Types of Flat slab Subjected to Dynamic Loading, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(1), 1600-1607.
- Munawar, M.C., (2014), Kajian Struktur Bangunan Gedung Politeknik Perkapalan ITS dengan Sistem Pelat dan Balok Biasa Konvensional Dibandingkan Sistem Struktur Flat slab dengan Drop panel Ditinjau dari Estetika, Biaya dan Waktu,

Jurnal Teknik Sipil Untag Surabaya,
7(1), 83-92.

Peraturan Gubernur Daerah Istimewa
Yogyakarta Nomor 40 Tahun 2018
Tentang Standar Harga Barang dan Jasa
Daerah.

Pratomo, A.H.W., (2018), Studi Efisiensi
Penggunaan Flat slab dengan Drop
panel Terhadap Pelat Konvensional pada
Gedung 5 Lantai, *Jurnal Teknik Sipil
Untag Samarinda*, 1(1), 1-7.

Sathawane, A.A. dan Deotale, R.S. (2011),
Analysis And Design Of Flat slab And
Grid Slab And Their Cost Comparison,
*International Journal of Engineering
Research and Applications*, 1(3), 837-
843.

Setiawan, A., (2016), *Perancangan Struktur
Beton Bertulang Berdasarkan SNI
2847:2013*, Erlangga, Jakarta.

PENULIS:

Yoga A. Harsoyo

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta.

Email : yogaharsoyo@gmail.com

Ervan Nurfiansyah

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta.

Email: ervann351@gmail.com