

## Perbandingan Analisis *Two Way Slab With Beam* dengan *Flat Slab* (Studi Kasus: *Coal Yard* PLTU Kalimantan Barat)

(Comparison of two Way Slab With Beam and Flat Slab Analysis (Case Study:  
Coal Yard in PLTU West Kalimantan))

MUHAMMAD IBNU SYAMSI

### ABSTRACT

Floor slab of coal yard as a storehouse was designed as two way slab with beam and flat slab in order to compare those two systems based on needs of materials and ease of implementation. The design process is based on the provision of SNI 03-2847-2002. Through the design results and analysis of material requirements can be concluded that the need for concrete material on a flat slab system is 2.1% greater than on the two way slab with beam. Meanwhile the steel material requirements for flat slab system is 9.7% greater than two way slab with beam. However, in term of ease of implementation, relatively flat plate systems are superior to the briquette plate system because the number of items of work a little more.

**Keywords:** Flat Slab, two way, Beam

### PENDAHULUAN

Berlokasi di Kalimantan Barat, sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) disertai fasilitas *coal yard* dan *coal shed* sebagai tempat penyimpanan batu bara kering, berdiri di atas sebuah lahan gambut yang memiliki kuat dukung sangat rendah. Kondisi ini berdampak pada penggunaan supporting sistem yang harus digunakan, yaitu dengan sistem fondasi dalam tiang pancang. Tiang pancang dipasang tiap jarak 3 m dengan masing-masing tiang dipancang hingga kedalaman 40 m. Dengan ukuran *coal yard* seluas 140 m x 110 m, maka sedikit penghematan pada satu segmen akan berpengaruh sangat besar pada nilai total keseluruhan bangunan. Oleh karena itu akan dilakukan perancangan desain pelat dalam dua alternatif tipe, yaitu pelat dengan balok (*two way slab with beam*) dan pelat datar atau sering disebut *flat slab* untuk kemudian dibandingkan dari sisi kekuatan dan kebutuhan material bahannya.

Pelat dengan balok merupakan struktur pelat konvensional yang sering dijumpai pada bangunan pada umumnya, yaitu pelat yang ditumpu oleh balok sebelum kemudian beban dari pelat tersebut ditransfer ke kolom atau fondasi. Sedangkan *flat slab* adalah pelat datar, yaitu pelat yang transfer bebannya langsung disalurkan dari pelat ke kolom atau sistem

tumpuan di bawahnya. Dari kedua tipe tersebut maka dapat ditentukan tipe mana yang paling baik diantara keduanya dalam kasus ini. Beberapa pertimbangan pun perlu dilakukan dalam mengkomparasikan, salah satunya adalah pertimbangan mengenai kemudahan struktur tersebut dalam pelaksanaannya karena selain merancang desain yang kuat dan ekonomis maka seorang engineer juga harus mampu merencanakan kemudahan struktur tersebut dalam pelaksanaan.

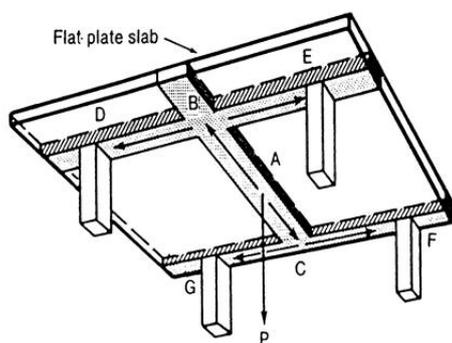
Fokus penelitian ini terletak pada sistem pelat lantai *coal yard* sebagai alas timbunan batu bara. Oleh karena itu akan dilakukan perancangan desain pelat dalam dua alternatif tipe, yaitu pelat dengan balok dan pelat datar atau sering disebut *flat slab* untuk kemudian dibandingkan dari sisi kekuatan dan kebutuhan material bahannya. Mutu material beton pada *coal yard* sebesar 30 MPa dengan tegangan leleh tulangan sebesar 400MPa. Struktur pelat hanya dibebani oleh beban mati struktur dan beban hidup berupa timbunan batubara. Dalam analisis dan desain struktur hanya ditinjau terhadap kondisi geser dan lentur.

### TINJAUAN PUSTAKA

Pelat adalah elemen horizontal struktur yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkannya ke kerangka vertikal dari suatu sistem struktur (Sudarmoko, 1996). Selain

fungsinya sebagai penerima dan penyalur beban, volume beton yang digunakan untuk pelat tergolong banyak sehingga memerlukan perhatian lebih untuk mencapai efektivitas dan efisiensi dalam perancangannya. Secara umum terdapat dua macam sistem pelat pada bangunan beton bertulang, yaitu sistem pelat satu arah dan sistem pelat dua arah. Sistem pelat satu arah merupakan suatu sistem pelat yang memungkinkan terjadinya lendutan yang berorientasi dalam satu arah, atau seperti yang dikemukakan Wang (1979), permukaan yang melendut dari sistem pelat satu arah mempunyai kelengkungan tunggal.

Sistem pelat dua arah merupakan suatu sistem pelat yang memungkinkan terjadinya lendutan dalam orientasi dua arah, sehingga memiliki kelengkungan ganda. Diantara beberapa tipe pelat dua arah yang dijadikan objek dalam penelitian ini adalah tipe *flat slab* dan tipe pelat dengan balok (*two way slab with beam*). Menurut Ferguson (1981) pelat datar ialah suatu pelat beton yang diperkuat dalam dua arah sedemikian sehingga meneruskan bebannya secara langsung ke kolom-kolom yang mendukungnya (Gambar 1). Sedangkan tipe pelat dengan balok terdiri dari lantai (*slab*) menerus yang ditumpu oleh balok-balok monolit (Gambar 2). Dari segi analisis struktur, perbedaan ada tidaknya balok-balok di antara kolom tidak begitu penting, karena bila balok dengan suatu ukuran dapat direncanakan berinteraksi dengan pelat maka penggunaan balok-balok dengan ukuran setebal pelat hanyalah merupakan keadaan batas (Wang, 1979).



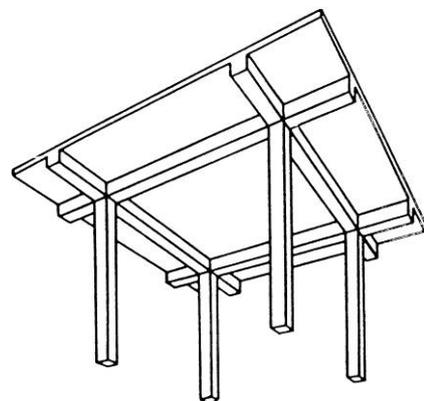
GAMBAR 1. Sistem pelat datar (MacGregor, 1997)

Setyawan (2007), dalam penelitiannya yang membandingkan antara pelat *combideck* dengan tipe pelat konvensional ada beberapa hal yang dapat disimpulkan yaitu bahwa pelaksanaan pelat *combideck* lebih mudah dari pelat konvensional, dengan kata lain sangat aplikatif sehingga menghemat waktu dan tenaga. Selain itu juga pelat tipe *combideck* tidak memerlukan bekisting pelat seperti pada pelat konvensional (pelat dengan balok).

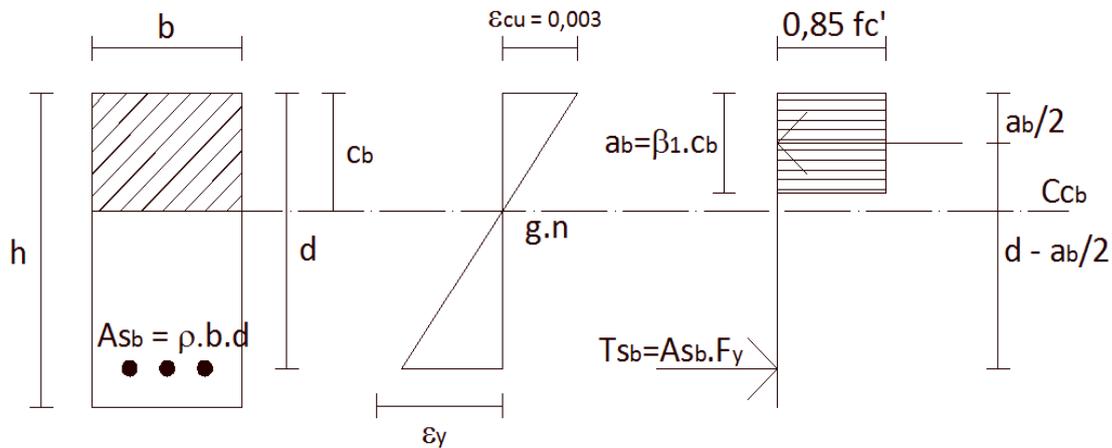
Analisis dan perancangan pelat beton bertulang mengacu pada peraturan SNI 03:2847:2002. Pasal-pasal pada peraturan yang digunakan diantaranya untuk perancangan kuat perlu (pasal 11.2), kuat rencana (pasal 11.2), kuat lentur (pasal 12.2), kuat geser (pasal 13.5), tebal pelat minimum (pasal 11.5), tulangan minimum (pasal 12.5) dan maksimum (pasal 12.3), pembatasan lebar retak (pasal 12.6), penulangan pelat (pasal 15.3).

Perhitungan komponen struktur terhadap beban lentur didasarkan pada terpenuhinya kondisi seimbang dan kompatibilitas regangan yang berlaku. Regangan dalam tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding lurus dengan jarak dari sumbu netral dengan regangan maksimum beton pada serat beton tekan terluar sebesar 0,003.

Tegangan dalam tulangan di bawah kuat leleh yang ditentukan  $f_y$  untuk mutu tulangan yang digunakan harus diambil sebesar  $E_s$  dikalikan dengan regangan baja. Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang berhubungan dengan  $f_y$  tegangan pada tulangan harus diambil sama dengan  $f_y$ .



GAMBAR 2. Sistem pelat dengan balok (MacGregor, 1997)



GAMBAR 3. Diagram regangan dan gaya pada penampang beton bertulang dalam kondisi seimbang

Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik tepat mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh yang ditentukan  $f_y$  pada saat yang bersamaan dengan bagian beton yang tertekan mencapai regangan batas asumsi 0,003. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3. Pada keadaan lentur murni terjadi  $\sum H = 0$  ini berarti  $C_{c_b} = T_{s_b}$ .

$$C_{c_b} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a_b \quad (1)$$

$$T_{s_b} = A_{s_b} \cdot f_y \quad (2)$$

sehingga

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a_b = A_s \cdot f_y \quad (3)$$

Dengan  $a_b = \beta_1 c_b$  dan  $A_{s_b} = \rho b d$ , dimana  $\rho$  merupakan rasio tulangan. Maka momen dalam keadaan seimbang dapat ditentukan dari  $\sum M = 0$ .

$$M_{n_b} = C_{c_b} \left( d - \frac{a_b}{2} \right) = T_{s_b} \left( d - \frac{a_b}{2} \right) \quad (4)$$

$$M_{n_b} = \rho \cdot b \cdot d \left( d - \frac{a_b}{2} \right) \quad (5)$$

Sementara itu, perencanaan komponen struktur lentur terhadap geser harus didasarkan pada

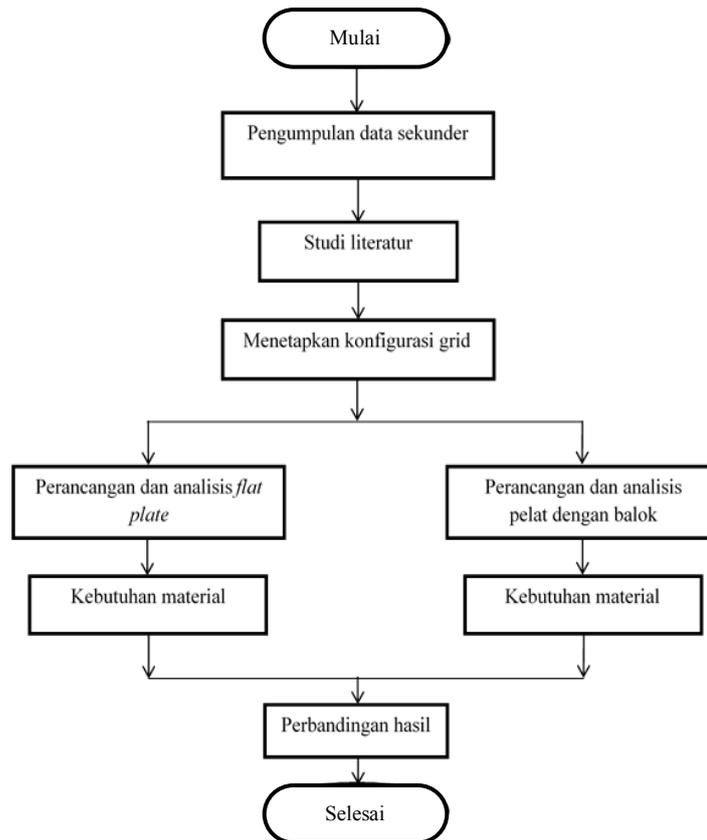
$$V_u \leq \phi V_n \quad (6)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (7)$$

$V_u$  adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $V_n$  adalah kuat geser nominal yang dihitung dari total kuat geser yang disumbangkan oleh beton ( $V_c$ ) dan kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser ( $V_s$ ).

#### METODE PENELITIAN

Dalam perancangan ini digunakan beberapa data sekunder berupa gambar rencana proyek yang memuat gambar keseluruhan layout *coal yard*, mutu material yang digunakan, serta dimensi dan kuat dukung *spun pile*. Kemudian berdasarkan data sekunder tersebut dilakukan perancangan untuk kedua tipe pelat yang menjadi obyek penelitian ini. Untuk beberapa data yang tidak didapatkan dalam data sekunder namun diperlukan dalam perancangan akan diasumsikan sewajarnya. Untuk memudahkan dalam perancangan pelat, perhitungan gaya-gaya luar yang bekerja dilakukan dengan bantuan program numerik.



GAMBAR 4. Bagan alir penelitian

Analisis pelat dilakukan secara manual dengan perhitungan-perhitungan sesuai dengan standar dan ketentuan yang berlaku. Perhitungan dalam analisis pelat ini meliputi perhitungan kemampuan geser dan momen serta perhitungan kebutuhan beton dan tulangan. Bagan alir penelitian secara umum seperti terlihat pada bagan alir (Gambar 4).

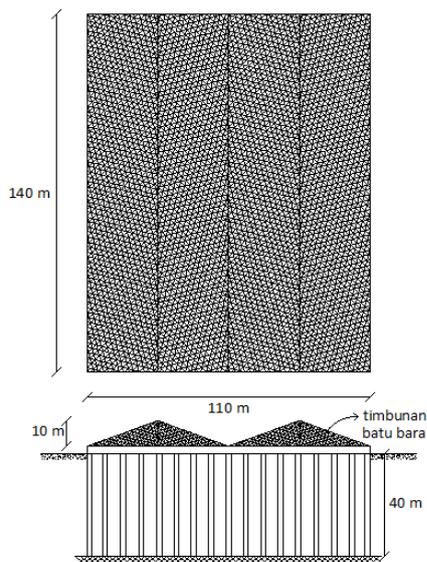
#### DESAIN DAN ANALISIS

Mutu kuat tekan beton yang digunakan dalam perancangan dan analisis pelat adalah 30 MPa dengan mutu baja tulangan BjTS 40 ( $f_y = 400$  MPa). Layout denah *coal yard* berbentuk persegi panjang dengan panjang 140 m dan lebar 110 m. Timbunan terbagi menjadi dua baris memanjang dengan tinggi timbunan masing-masing 10 m (Gambar 5). Tiang pancang penyangga *coal yard* tertanam sedalam 40 m. Dengan kondisi tanah pada bagian permukaan yang sangat lunak maka dalam perancangannya diasumsikan tanah tidak memiliki daya dukung, sehingga sistem pelat yang dirancang seperti sistem pelat pada portal gedung. Jarak antar tiang pancang

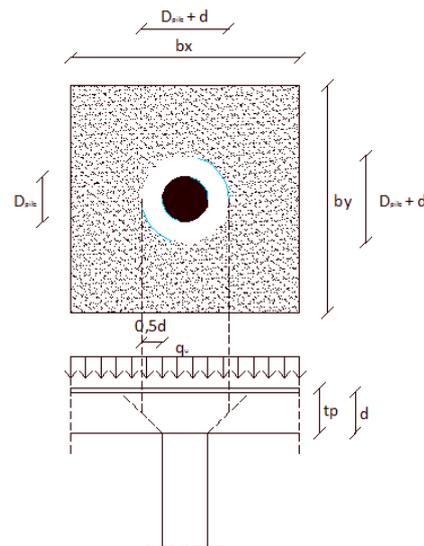
adalah 3 m dan tersebar merata pada area *coal yard*. Setiap ujung tiang dimodelkan sebagai tumpuan jepit.

Gaya geser yang terjadi pada pelat diasumsikan hanya didukung oleh kemampuan beton, sehingga tulangan tidak ikut diperhitungkan kontribusinya dalam menahan gaya geser yang bekerja. Dengan sistem pelat yang langsung didukung oleh spun pile, maka perilaku geser yang terjadi pada sistem pelat serupa dengan perilaku yang terjadi pada fondasi telapak yaitu geser *pons* sehingga analisisnya pun digunakan analisis geser *pons* (Gambar 6). Kuat geser nominal pelat terhadap geser harus dikalikan dengan faktor reduksi yang nilainya sesuai dengan ketentuan SNI 03-2847-2002 ( $\phi = 0,75$ ) untuk kemudian dibandingkan dengan gaya geser ultimit yang bekerja.

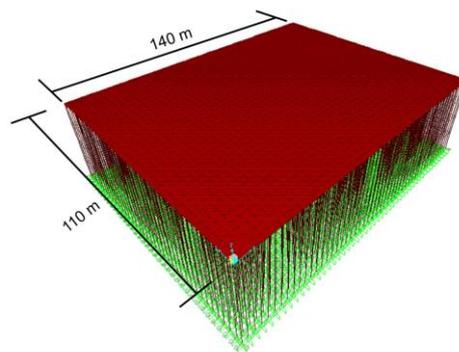
Tipe beban dan kombinasinya hanya ditinjau terhadap beban mati dan beban hidup saja. Pola beban timbunan dibuat dengan dua macam pola, yaitu ketika beban timbunan bekerja penuh, dan ketika beban timbunan hanya bekerja pada salah satu sisi saja.



GAMBAR 5. Dimensi coal yard



GAMBAR 6. Geser pons pada pelat datar



GAMBAR 7. Pemodelan pada program numerik

### Dimensi

Tebal pelat dan kebutuhan tulangan untuk sistem *flat slab* dihitung berdasarkan nilai-nilai ultimit gaya dalam hasil analisis struktur. Setelah itu, tulangan yang hendak dirancang haruslah kuat untuk menahan besarnya momen positif dan momen negatif, sehingga terdapat dua bagian perancangan dalam hal ini, yaitu perancangan tulangan momen positif dan tulangan momen negatif.

Perhitungan tulangan pelat dilakukan dengan cara sama seperti perhitungan tulangan pada balok. Pelat lantai diasumsikan sebagai balok dengan tinjauan lebar balok 1 m. Dengan proses *trial and error* diperoleh tebal pelat optimum 0,5 m. Tulangan momen positif digunakan tulangan deform dengan diameter

25 mm jarak antar tulangan 250 mm. Tulangan momen negatif digunakan tulangan deform diameter 25 mm jarak antar tulangan 100 mm.

Sementara itu untuk sistem pelat dengan balok (*two way slab with beam*) dengan ukuran panel yang sama, 3m x 3m, pelat beton tidak diperhitungkan menahan geser pons, karena gaya dalam yang terjadi pada pelat tidak ditumpu langsung oleh spun pile melainkan melalui sistem balok. Oleh karena itu, gaya geser yang terjadi pada sistem ini ditahan sepenuhnya oleh sistem balok, sehingga kekuatan penampang balok selain diperhitungkan terhadap kuat lenturnya, perlu juga diperhitungkan terhadap kuat gesernya. Setelah dilakukan analisis dan diperoleh ukuran balok 750 x 500 mm, tulangan negatif balok daerah tumpuan dibutuhkan 5 buah

tulangan diameter 22 mm. Kebutuhan tulangan yang sama juga pada daerah lapangan. Untuk tulangan sengkang yang berfungsi menahan beban geser balok pada daerah tumpuan digunakan diameter 10 mm tiap jarak 100 mm, sedangkan untuk daerah lapangan secara teoritis tidak diperlukan tulangan karena selain gaya gesernya yang kecil, penampang balok yang besar sesungguhnya sudah cukup kuat menahan beban geser yang terjadi.

Walaupun secara teoritis tidak diperlukan tulangan geser namun secara praktisnya di lapangan tulangan geser (sengkang) tetap dipasang dengan jarak sengkang maksimum yaitu tiap jarak 300 mm. Desain tebal pelat pada sistem ini tidak perlu setebal *flat slab* karena gaya geser yang terjadi dari hasil analisis struktur sepenuhnya dipikul oleh sistem balok, sehingga pelat lantai murni hanya menahan beban lentur. Desain kapasitas lentur pelat digunakan metode yang sama dengan desain balok, yaitu dengan mengasumsikan pelat lantai sebagai balok dengan tinjauan lebar balok 1 meter. Dari hasil perhitungan, pada *two way slab with beam* digunakan tebal pelat 35 cm dengan tulangan negatif diameter 22 mm tiap jarak 150 mm dan tulangan positif diameter 22 mm tiap jarak 250 mm.

#### *Kebutuhan Material*

Perbedaan sistem dan bentuk pada masing masing tipe pelat yang ditinjau berdampak pada perbedaan jumlah kebutuhan material

penyusun struktur tersebut. Jumlah kebutuhan material yang diperhitungkan dan diperbandingkan dalam hal ini adalah material beton (dalam m<sup>3</sup>) dan tulangan (dalam kg). Perhitungan kebutuhan tulangan diantaranya meliputi perhitungan kebutuhan tulangan pokok dan tulangan susut, seperti yang ditampilkan pada table 1, gambar 8 dan gambar 9.

#### PEMBAHASAN

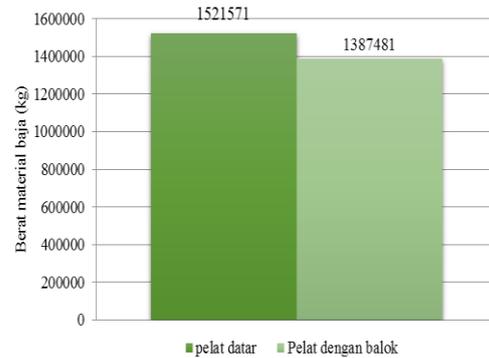
Jarak antara *supporting system* (spun pile) yang digunakan pada kedua tipe pelat lantai yaitu 3 m x 3 m. Dengan ukuran panel pelat yang relatif kecil otomatis gaya momen torsi yang terjadi untuk panel pelat kecil pun relatif kecil dibandingkan dengan gaya akibat momen lentur dan geser. Oleh karenanya, perhitungan desain penampang pelat pada bentang pendek seperti pada kasus *coal yard* ini hanya diperhitungkan terhadap gaya lentur dan gaya geser saja. Diantara kedua jenis gaya dalam tersebut, gaya dalam yang paling menentukan dalam desain penampang beton pada kedua macam tipe pelat ini adalah gaya geser (*shear force*). Dengan bentang pelat 3 m dibutuhkan tebal pelat untuk menahan gaya geser pada sistem *flat slab* sebesar 50 cm sedangkan pada tipe *two way slab with beam* dibutuhkan tinggi balok 75 cm dengan tambahan tulangan sengkang berdiameter 10 mm yang dipasang tiap jarak 10 cm.

TABEL 1. Perbandingan kebutuhan material

Sistem pelat	Kebutuhan material	
	Beton (m <sup>3</sup> )	Baja tulangan (kg)
Pelat datar ( <i>flat plate</i> )	7700	1521571
Pelat dengan balok	7540,96	1387481



GAMBAR 8. Perbandingan kebutuhan material beton



GAMBAR 9. Grafik perbandingan kebutuhan material baja tulanga

Perbedaan kebutuhan material beton untuk kedua tipe pelat tidak jauh berbeda. Terlihat kebutuhan material beton untuk tipe pelat datar (*flat slab*) 2,1% lebih banyak daripada kebutuhan beton untuk tipe pelat *two way slab with beam* (Gambar 8). Sementara itu perbedaan kebutuhan material baja untuk tipe pelat datar (*flat slab*) 9,67% lebih banyak daripada kebutuhan baja untuk tipe pelat *two way slab with beam* (Gambar 9). Secara keseluruhan, material beton maupun baja lebih banyak dibutuhkan pada sistem pelat datar daripada sistem pelat *two way slab with beam*.

Adanya perbedaan bentuk struktur antara pelat datar dan pelat dengan balok tentunya memiliki perbedaan pada saat diaplikasikan di lapangan. Perbedaan dalam penggunaan bekisting, kemudahan dalam pelaksanaan, dan tingkat kerumitan bentuk struktur tersebut.

Pelat datar merupakan struktur pelat yang memiliki bentuk paling sederhana karena hanya terdiri dari pelat itu sendiri, selain itu secara fisik bentuk yang dimiliki sistem *flat*

*plate* ini tidaklah rumit, tidak memerlukan drop panel, sehingga gaya-gaya yang terjadi pada pelat langsung ditransfer ke dalam kolom yang dalam kasus ini adalah *spun pile*.

Karena bentuknya yang sederhana itu sistem pelat ini memiliki kelebihan lain yaitu lebih ramah lingkungan. Ramah lingkungan dalam hal ini dimaksudkan karena minimnya penggunaan bekisting dalam pelaksanaannya. Selain itu juga karena sistem *flat plate* ini hanya terdiri dari pelat itu sendiri tentunya menjadikan sistem ini relatif lebih cepat dalam proses konstruksinya, dengan kata lain lebih menghemat waktu dalam pelaksanaan.

Berbeda dengan bentuk sederhana dalam sistem *flat plate*, pada sistem pelat dengan balok ini sesuai dengan namanya tersusun atas bagian pelat dan balok, namun dalam kasus ini memiliki tiga komponen, yaitu pelat, balok, ditambah dengan pile cap yang berfungsi untuk mengumpulkan dan menyalurkan gaya-gaya yang bekerja di pelat dan balok ke *spun pile*.

TABEL 2. Perbandingan item pekerjaan

Parameter	Flat plate	Pelat dengan balok
1. <u>Komponen struktur</u>		
• Pelat	Ada (tebal)	Ada (relatif lebih tipis)
• Balok	Tidak	Ada
• <i>Pile cap</i>	Tidak	Ada
2. <u>Bekisting</u>		
• Pelat	Ada	Ada
• Balok	Tidak	Ada
• <i>Pile cap</i>	Tidak	Ada
3. <u>Penulangan</u>		
• Pelat	Ada	Ada
• Balok	Tidak	Ada
• <i>Pile cap</i>	Tidak	Ada

Seperti tampak dalam Tabel 2 dengan adanya balok dan *pile cap* pada sistem pelat dengan balok menjadikan bentuk fisik dari sistem ini relatif lebih rumit sehingga kurang ramah lingkungan karena harus memakai lebih banyak bekisting pada saat proses konstruksinya. Bentuk luar yang relatif lebih rumit daripada sistem *flat plate* tentunya proses konstruksinya akan menjadi lebih lama. Ditambah lagi dengan adanya balok yang menjadi pendukung pelat dimana balok tersebut harus diberi sengkang untuk menambah kemampuan gesernya. Jumlah sengkang yang sangat banyak juga membutuhkan waktu tersendiri dalam pemotongan, pembengkokan, dan juga pemasangannya, sehingga akan lebih banyak memakan waktu pelaksanaan pekerjaan jika dibandingkan dengan sistem pelat datar atau *flat plate*.

#### KESIMPULAN

Dengan memperhatikan hasil-hasil yang didapat setelah melalui tahapan perencanaan, analisis, serta perbandingan antara dua tipe pelat yang ditinjau, yaitu tipe pelat datar dan pelat dengan balok, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya yaitu penggunaan sistem pelat datar membutuhkan jumlah material beton  $160 \text{ m}^3$  atau 2,1% lebih banyak daripada dalam sistem pelat dengan balok. Kebutuhan baja tulangan yang dibutuhkan dalam sistem pelat datar 9,67 % lebih banyak daripada yang dibutuhkan pada sistem pelat dengan balok akan tetapi dari segi waktu pelaksanaan pekerjaan, sistem pelat datar dapat lebih cepat daripada sistem pelat dengan balok.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*, Bandung
- Ferguson, Phil M. (1981). *Reinforced Concrete Fundamentals*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- MacGregor, J.G. (1997). *Reinforced Concrete – Mechanics and Design 3<sup>rd</sup> Edition*. New Jersey: Prentice Hall Inc.

Setyawan, Addin. (2007). *Perbandingan Desain Pelat Lantai Konvensional dan Pelat Combideck*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan UGM.

Sudarmoko. (1996). *Perancangan dan Analisis Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil UGM.

Wang, Chu-Kia. Salmon, Charles G. (1979). *Reinforced Concrete Design 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: Harper & Row.

---

#### PENULIS:

Muhammad Ibnu Syamsi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamntirto, Kasihan Bantul.

Email: syamsibnu@umy.ac.id