

DESAIN PRAKTIS PELAT KONVENSIONAL DUA ARAH BETON BERTULANG

Patricia Kembuan

Steenie E. Wallah, Servie O. Dapas

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Desain pelat beton bertulang dibuat berdasarkan standar yang berlaku. Suatu tabel desain praktis pelat adalah tabel desain yang mudah digunakan di lapangan dan dapat dijadikan bahan acuan para engineer sipil. Pelat yang ditinjau adalah pelat beton bertulang konvensional dua arah berdasarkan SNI 2847: 2013, dengan menggunakan metode desain langsung untuk menghitung Momen-momen lentur. Hasilnya dibandingkan dengan hasil analisa struktur dengan software SAP v.14.

Hasil analisa menggunakan metode desain langsung dan software yang ada, mempunyai trend yang sama, meskipun nilainya tidak akan sama persis. Program MS Excel digunakan sebagai alat bantu dalam menghitung desain pelat dengan beberapa variasi. Parameter yang divariasikan adalah ukuran bentang, ukuran balok dan kolom, beban hidup, $f'c$, dan f_y . Hasil yang diperoleh berupa nilai momen lentur dan jarak tulangan, yang dituangkan dalam bentuk tabel-tabel desain.

Kata kunci : *Desain, Pelat, Metode desain langsung, Momen lentur*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pelat adalah salah satu elemen struktur yang dibuat untuk menerima beban mati dan beban hidup. Sifatnya lebih dominan terhadap lentur, dengan ketebalan yang kecil dan bentuknya yang lebar. Sistem pelat terdiri dari beberapa macam yaitu sistem *flat plate*, sistem *waffle slab*, sistem *flat slab*, *rib slab* dan sistem pelat konvensional. Sistem pelat konvensional adalah sistem pelat yang sering digunakan, kokoh dan sering dipakai untuk menunjang sistem pelat lantai yang tidak beraturan.

Pada umumnya, pelat diklasifikasikan ke dalam pelat satu arah dan pelat dua arah. Dalam mendesain pelat sendiri terdapat beberapa metode yang digunakan, di antaranya metode desain langsung dan metode rangka ekuivalen. Selain itu di dalam desain pelat harus berdasarkan standart dan aturan yang ada.

Jika terjadi bencana alam. Salah satu bencana alam yang bisa merusak struktur lapisan tanah yaitu gempa bumi.

Terdapat beberapa standar yang digunakan dalam desain pelat, yaitu aturan-aturan beton bertulang yang mengalami beberapa perkembangan dan perubahan. Dalam PBI 1971, memuat syarat-syarat minimum untuk perencanaan dan pelaksanaan konstruksi beton bertulang yang dicor setempat maupun yang dibuat sebelumnya, dimana didalamnya terdapat

tabel-tabel/nomogram untuk dijadikan acuan dalam perencanaan. Karena melihat belum adanya tabel yang dibuat berdasarkan aturan yang baru, yang dapat memudahkan dalam perencanaan, maka dalam tugas akhir ini, peneliti akan membuat suatu desain praktis pelat konvensional dua arah. Desain praktis tersebut dibuat berdasarkan peraturan baru yaitu SNI 2847: 2013. Yang mana nantinya akan menghasilkan suatu tabel desain praktis pelat, dengan berbagai macam variasi sesuai dengan ukuran-ukuran yang biasa digunakan di lapangan. Desain plat tersebut dibuat menggunakan salah satu metode yang terdapat dalam SNI 2847; 2013. Desain pelat ini akan menghasilkan momen, dan jarak tulangan yang akan digunakan. Sehingga diharapkan dapat digunakan dan dijadikan acuan dalam perencanaan di lapangan.

Rumusan Masalah

Bagaimana membuat tabel desain praktis pelat konvensional dua arah beton bertulang, berdasarkan SNI 2847: 2013, yang dapat dijadikan acuan langsung tanpa menggunakan hitungan Analisa struktur dalam desain pelat dilapangan?

Tujuan Penulisan

1. Menghasilkan suatu desain praktis pelat konvensional dua arah dalam bentuk tabel dan grafik

- Mengetahui momen dan jarak tulangan yang akan digunakan berdasarkan standar yang ada

Batasan Masalah

Batasan-batasan penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini, yaitu :

- Desain pelat dua arah saja
- Metode perencanaan yang dibahas Metode Desain Langsung/Perencanaan Langsung (DDM), dengan Peraturan yang digunakan adalah SNI 2847 ; 2013
- Sistem pelat konvensional (pelat dengan balok disemua tumpuan)
- Desain dihitung menggunakan program Exel 2013
- Perhitungan analisa struktur menggunakan program SAP 2000 v.14, sebagai kontrol dari perhitungan menggunakan program exel.
- Dalam disain, nilai yang divariasikan adalah panjang bentang, ukuran balok dan kolom, beban hidup, f'_c , dan f_y , dan diameter tulangan

Manfaat Penulisan

- Sebagai acuan bagi *engineer* sipil pada pelaksanaan dilapangan
- Sebagai masukan dan bahan pertimbangan pemilihan desain pelat yang dibuat berdasarkan standart yang ada.

LANDASAN TEORI

Pelat

Pelat lantai atau slab merupakan bagian dari struktur bangunan yaitu suatu bidang yang memiliki ketebalan yang sangat kecil jika dibandingkan dengan panjang dan lebarnya. Pelat lantai merupakan bidang tipis yang memikul beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan dari pelat. Pelat bersifat sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada bagian gedung, plat berfungsi sebagai pengaku horizontal yang bermanfaat mendukung ketegaran balok portal. Terdapat beberapa tipe pelat yaitu sistem lantai *flat slab*, *grid (waffle system)*, dan sistem Pelat dan balok (sistem pelat konvensional). Sistem pelat konvensional merupakan sistem pelat yang sering digunakan, kuat dan sering digunakan untuk menunjang lantai yang tidak beraturan. Sistem pelat ini bertumpu pada balok-balok. Berdasarkan perbandingan bentang panjang dan bentang

pendek, pelat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah.

Pelat Satu Arah

Pelat satu arah adalah pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan saja sehingga lendutan yang timbul hanya satu arah saja yaitu pada arah yang tegak lurus terhadap tumpuan. Dengan kata lain pelat satu arah adalah pelat yang mempunyai perbandingan antara sisi panjang terhadap sisi pendek yang saling tegak lurus lebih besar dari dua dengan lendutan utama pada sisi yang lebih pendek (Dipohusodo, 1994:45).

Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat yang mengalami lentur dalam dua arah, contohnya pelat yang ditumpu pada keempat sisi yang saling sejajar. Perbandingan antara sisi panjang dan sisi pendek yang saling tegak lurus tidak lebih dari 2. Pelat ini harus ditulangi dalam kedua arah dengan tulangan pokok, yang besarnya sebanding dengan momen-momen pada masing-masing arah yang timbul, dan tidak dibutuhkan tulangan bagi lagi. Perencanaan pelat dua arah umumnya didasarkan pada koefisien momen empiris, di mana meskipun koefisien ini tidak memprediksi variasi tegangan secara akurat, namun menghasilkan pelat dengan keseluruhan faktor keamanan yang memadai

Tebal Pelat

Berikut ini syarat ketentuan yang harus diperhatikan dalam menentukan tebal pelat: Menurut SNI 2847: 2013, pasal 9.5.3.3. Khususnya untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Untuk $\alpha_{fm} < 0,2$ maka menggunakan tabel 2.2 (a)
- Untuk $0,2 < \alpha_{fm} < 2,0$, h tidak boleh lebih kecil dari,

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5 \beta (\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (1)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- Tepi yang tidak menerus, $\alpha_f > 0,8$ atau h min dari kedua persamaan di atas harus dinaikan paling tidak 10% pada panel dengan tepi tidak menerus.

l_n adalah Panjang bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat, diukur muka ke

muka balok, β adalah Rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat.

Tabel 1. Tebal minimum pelat tanpa balok

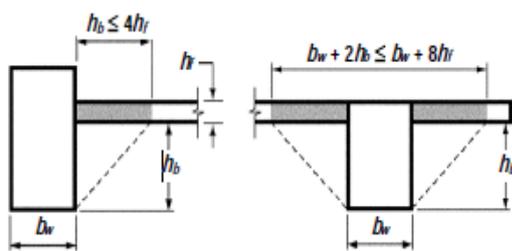
Tegangan leleh, f_y MPa ¹	Tanpa penebalan ²			Dengan penebalan ²		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ³	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

¹Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
²Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
³Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
⁴Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_c untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

Sumber: SNI 2847: 2013

Ketentuan Umum

- Lajur kolom merupakan lajur desain dengan lebar pada masing – masing sisi garis pusat kolom sama dengan 0,25 l_2 atau 0,25 l_1 , Lajur kolom mencakup balok bila ada.
- Lajur tengah adalah suatu lajur desain yang dibatasi oleh dua lajur kolom
- Suatu panel dibatasi oleh garis – garis pusat kolom, balok, atau dinding pada semua sisinya.
- Untuk konstruksi monolit atau komposit penuh, suatu balok mencakup bagian slab pada setiap sisi balok yang membentang dengan jarak yang sama dengan proyeksi balok di atas atau di bawah slab tersebut, yang mana yang lebih besar, tetapi tidak lebih besar dari empat kali tebal slab



Gambar 1 Contoh bagian slab dengan balok

Pembebanan Pelat

Beban yang bekerja pada pelat adalah beban grafitasi, yang terdiri dari beban hidup dan beban mati. Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan. (Muhammad Fahri, Suyadi, Eddy Purwanto). Untuk beban mati dihitung berat sendiri pelat ditambah 100 kg/m². Dan Beban hidup merupakan beban yang terjadi akibat

beban manusia, yaitu penghuni atau pengguna gedung dan kedalamannya termasuk beban–beban pada lantai yang berasal dari barang yang berpindah. Dalam SNI 1727–2013 Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain, (tabel 4 -1), terdapat peraturan beban hidup untuk hunian atau penggunaan, diantaranya sebagai berikut:

- Sistem lantai akses:
Ruang kantor: 2.4 kN/m²
Ruang komputer: 4.79 kN/m²
- Rumah sakit
Ruang operasi: 2.87 kN/m²
Ruang pasien : 1,92 kN/m²
Koridor di atas : 3,83 kN/m²
lantai pertama
- Tempat rekreasi
Bangsal dan ruang : 4,79 kN/m²
dansa
Stadium dan tribun/ : 2,87 kN/m²
arena dengan tempat
duduk tetap (terikat
pada lantai)

Kombinasi Pembebanan

Berikut dalam pasal 9.2 SNI 2847: 2013, kombinasi pembebanan:

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$$

$$U = 0,9D + 1,0W$$

$$U = 0,9D + 1,0E$$

Metode desain langsung

Metode desain langsung merupakan metode yang digunakan dalam menentukan momen–momen rencana, dalam perhitungan pelat dua arah. Namun harus memenuhi persyaratan–persyaratan berikut:

- Harus terdapat minimum tiga bentang menerus dalam masing–masing arah.
- Panel pelat harus berbentuk persegi, dengan rasio antara bentang yang lebih panjang terhadap yang lebih pendek pusat ke pusat tumpuan dalam panel tidak lebih besar dari dua.
- Panjang bentang yang berurutan pusat ke pusat tumpuan dalam masing–masing arah tidak boleh berbeda dengan lebih dari sepertiga bentang yang lebih panjang
- Posisi kolom diijinkan mengalami pergeseran (offset) maksimum sejauh 10% panjang bentang (dalam arah pergeseran) dari baik

sumbu antara garis-garis pusat kolom yang berurutan diizinkan.

- e. Beban yang diperhitungkan hanya beban gravitasi dan didistribusikan merata pada seluruh panel pelat. Beban hidup tak terfaktor tidak boleh melebihi dua kali beban mati tak terfaktor.
- f. Panel dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya, berikut persamaan yang harus dipenuhi untuk balok dalam dua arah tegak lurus.

$$0.2 \leq \frac{\alpha_{f1} l_2^2}{\alpha_{f2} l_1^2} \leq 5,0 \quad (3)$$

Dimana, α_{f1} dan α_{f2} dihitung $\alpha = \frac{Ecb Ib}{Ecs Is}$ (4)

Distribusi Momen

- a. Momen statis terfaktor total
Momen statis terfaktor merupakan jumlah mutlak dari rata-rata momen negatif dan momen positif. Dan jumlah mutlak tersebut tidak boleh lebih kecil dari

$$M_o = \frac{qu l_2 l_2^2 n}{8} \quad (5)$$

- b. Momen terfaktor negatif dan positif
 - Bentang Interior :
Momen terfaktor negatif : 0,65Mo
Momen terfaktor positif : 0,35 Mo
 - Bentang Eksterior
Untuk plat dengan balok diantara semua tumpuan:
Momen terfaktor negative interior: 0,7Mo
Momen terfaktor negatif eksterior: 0,16 Mo
Momen terfaktor positif: 0,57 Mo
- c. Lajur kolom diproporsikan untuk menahan bagian-bagian berikut dalam persen, dan interpolasi linier harus dilakukan antara nilai-nilai tersebut.
 - Momen terfaktor negatif interior

Tabel 2 Tebal minimum pelat tanpa balok untuk momen terfaktor negatif interior

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

Sumber: SNI 2847:2013

- Momen Terfaktor negative eksterior

Tabel 3 Tebal minimum pelat tanpa balok untuk momen terfaktor negatif eksterior

l_2/l_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 l_2/l_1) = 0$	$\beta t = 0$	100	100	100
	$\beta t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1,0$	$\beta t = 0$	100	100	100
	$\beta t \geq 2,5$	90	75	45

Sumber: SNI 2847:2013

dimana : $\beta t = \frac{Ecb C}{2 Ecs Is}$ (6)

$$C = \sum (1 - 0,63 \frac{x}{y}) \frac{x^3 y}{3}, \quad (7)$$

- Momen terfaktor positif

Tabel 4. Tebal minimum pelat tanpa balok untuk momen terfaktor positif

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

Sumber: SNI 2847:2013

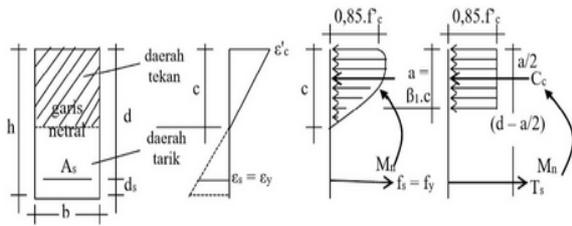
Untuk slab dengan balok di antara semua tumpuan, bagian slab dari lajur kolom harus diseimbangkan untuk menahan bagian dari momen lajur kolom tersebut yang tidak ditahan oleh balok.

- d. Momen terfaktor pada balok
Untuk balok diantara tumpuan, bila $(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1,0$, harus diseimbangkan untuk menahan 85% momen lajur kolom, dan untuk nilai $(\alpha_1 l_2/l_1)$ antara 1,0 dan 0, pembagian momen lajur kolom yang ditahan oleh balok harus diinterpolasi linier antara 85% dan 0%.
- e. Momen terfaktor negatif dan positif yang tidak ditahan oleh lajur kolom harus secara seimbang diberikan pada setengah lajur tengah yang berhubungan. Dan setiap lajur tengah harus diseimbangkan untuk menahan jumlah momen yang diberikan pada kedua setengah lajur tengahnya.

Tulangan Pelat

Tinggi blok tegangan

Untuk tinggi blok tegangan penampang plat, sesuai dengan distribusi regangan dan tegangan pada balok beton bertulang



Gambar 2. Distribusi regangan dan tegangan pada balok tulangan tunggal

Dalam SNI 2847–2013 pasal (10.2.7.1), tegangan beton sebesar $0,85 f_c'$ diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.

Gaya tekan beton dapat diperhitungkan dari hubungan tegangan-regangan beton pada Gambar 2., gaya merupakan hasil kali antara tegangan dan luas penampang, maka dari gambar tersebut dapat dihitung besar C_c (gaya tekan beton) sebagai berikut:

$$C_c = (0,85 \cdot f_c') \cdot (a \cdot b) \quad (8)$$

Dan untuk gaya Tarik tulangan baja (T_s) dapat dihitung dengan cara membuat perkalian antara luas baja tulangan dan tegangan lelehnya, yaitu sebagai berikut:

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (9)$$

Karena balok dalam keadaan setimbang, maka gaya tekan beton akan sama dengan gaya tarik baja tulangan. Dan substitusi dari persamaan (8) dan (9), akan diperoleh besar a (tinggi blok tegangan) sebagai berikut:

$$a = \frac{C_c}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (10)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (11)$$

Tinggi efektif penampang

Dalam SNI 2847–2013, Tinggi efektif penampang adalah jarak yang diukur dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal.

$$d = h - \text{selimut beton} - 0,5 \cdot \text{diameter} \quad (12)$$

Kekuatan momen desain

Dalam SNI 2847 – 2013 pasal (14.8.3) kekuatan momen desain ϕM_n untuk kombinasi lentur dan beban aksial pada tengah ketinggian harus sebesar:

$$\phi M_n \geq M_u \quad (13)$$

Dimana M_u adalah momen terfaktor maksimum pada tengah ketinggian dinding akibat beban lateral.

Dari Gambar 2., besarnya gaya tekan beton C_c sama dengan gaya Tarik baja tulangan T_s , dan kedua gaya tersebut berlawanan arah dengan jarak sebesar $d - a/2$. Arah gaya tekan beton C_c (yang berada di sebelah atas) ke kiri, sedangkan arah gaya Tarik baja tulangan T_s , (sebelah bawah) ke kanan, sehingga membentuk momen kopel yang disebut momen nominal actual (M_n) dengan arah berlawanan arah jarum jam. Momen ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$M_n = C_c (d - a/2) \text{ atau } M_n = T_s (d - a/2) \quad (14)$$

Dari persamaan (13), dan diperoleh hitungan sebagai berikut:

$$M_n = (0,85 \cdot f_c') \cdot (a \cdot b) \cdot (d - a/2)$$

atau

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad (15)$$

Jumlah tulangan

Luas tulangan perlu A_s (perlu) dihitung dari persamaan (11)

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y} \quad (16)$$

Dan untuk jumlah tulangan (n) dihitung dengan membagi luas tulangan perlu A_s , terhadap luas satu batang tulangan, dengan rumus:

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot D^2} \quad (17)$$

selanjutnya untuk jarak tulangan perlu, dapat dihitung dengan membagi lebar per unit terhadap jumlah tulangan per meter lebar.

Untuk jarak tulangan, Dalam SNI 2847–2013 pasal (14.3.5); jarak tulangan vertikal dan horizontal satu sama lain tidak boleh lebih jauh dari 3 kali tebal dinding, atau lebih jauh dari 450 mm, maka untuk pelat menggunakan persamaan berikut: Di mana h = Tebal pelat

$$S_{\max} = 3h \text{ atau } 450 \text{ mm} \quad (18)$$

$$\text{Jarak tulangan perlu (Sada)} < S_{\max} \quad (19)$$

Batasan tulangan maksimum dan minimum

Untuk luas tulangan Ada (A_s ada) dapat dihitung dengan hitungan berikut ini:

$$A_s \text{ada} = \frac{\text{lebar tinjauan}}{\text{Jarak tulangan perlu}} \times (A_s \text{ tulangan})$$

Dalam SNI 2847–2013, ρ (rasio tulangan) merupakan rasio A_s terhadap bd , Maka untuk menghitung ρada dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\rho \text{ada} = \frac{A_s \text{ada}}{b \cdot d} \quad (21)$$

Agar tulangan yang digunakan tidak terlalu sedikit atau rasio tulangan ρ tidak terlalu kecil, diberikan syarat berikut dalam SNI 2847–2013 (pasal 10.5.1)

$$A_s \geq A_{s \text{ min}} \text{ atau } \rho \geq \rho_{\text{min}} \quad (22)$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w d \text{ atau } A_{s \text{ min}} = \frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y}$$

Dipilih yang paling besar, dan untuk nilai ρ_{min} , dari persamaan (21) dan (23) diperoleh persamaan berikut ini:

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f'c}}{f_y} \text{ atau } \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (24)$$

Agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang diberikan syarat berikut ini:

$$A_s \leq A_{s \text{ max}} \text{ atau } \rho \leq \rho_{\text{max}} \quad (25)$$

$$A_{s \text{ max}} = \rho_{\text{max}} \times b \cdot d \quad (26)$$

Dalam SNI 2847–2013, (lampiran B.10.3) rasio tulangan maximum (ρ_{max}) dihitung sebagai berikut:

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (27)$$

untuk ρ_b dalam pasal B.8.4.2 SNI 2847 – 2013 dihitung dengan persamaan berikut:

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \quad (28)$$

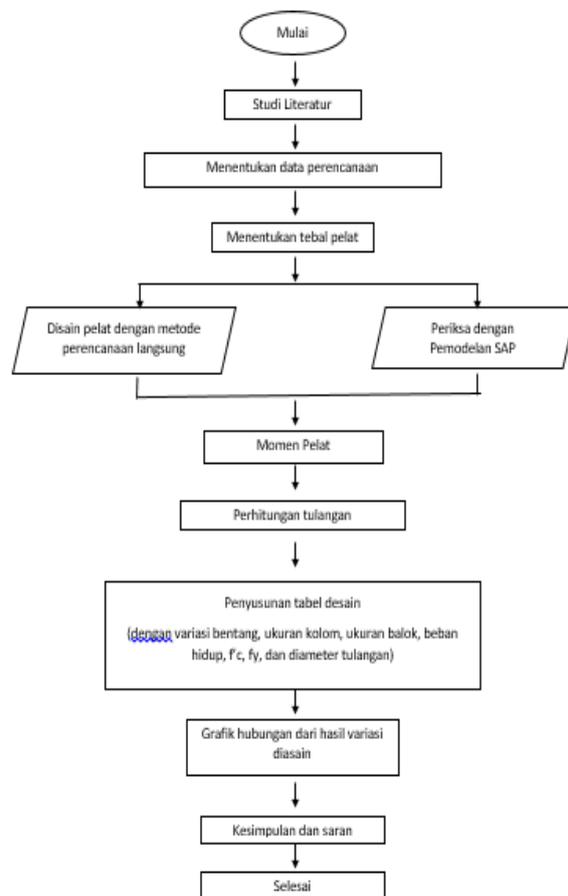
dimana β_1 adalah faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang bergantung pada mutu beton ($f'c$). dalam pasal 10.2.7.3 SNI 2847 – 2013, nilai β_1 sebagai berikut :

$$f'c = 17 - 28 \text{ MPa}, \beta_1 = 0,85 \quad (29)$$

$$f'c = > 28 \text{ MPa}, \beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \cdot (f'c - 28)}{7}, \text{ dan } \beta_1 > 0,65 \quad (30)$$

METODE PENELITIAN

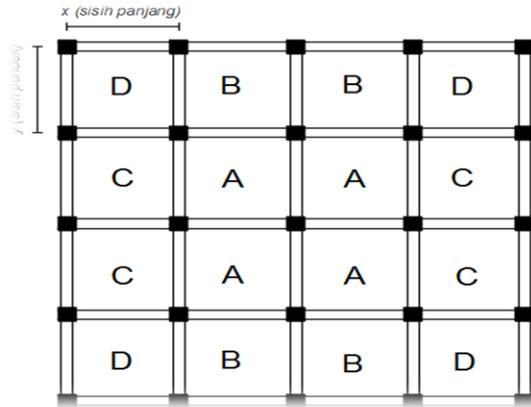
Metode penelitian ini bersifat studi literatur, yaitu pemodelan struktur menggunakan metode perencanaan langsung yang mengacu pada aturan yang ada yaitu SNI 2847–2013. Pada desain pelat ini digunakan program *Microsoft Excel* dan membandingkan hasilnya dengan hasil analisa program SAP 2000 Versi 14,. penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan hasilnya berupa angka yang dituangkan ke dalam bentuk tabel, yang merupakan hasil perhitungan struktur pelat melalui metode, standart, dan *software* yang digunakan.



Gambar 3. Diagram alir prosedur desain pelat konvensional dua arah beton bertulang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk model denah pelat yang digunakan, adalah pelat dengan bentang lebih dari tiga, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4. Denah pelat lantai

Berikut perhitungan dari salah satu variasi disain pelat dua arah dengan metode desain langsung:

Data struktural pelat:

Panjang bentang arah x , arah Y : (5,5 x 4) m

Dimensi balok : 30 x 40 (cm)

Dimensi kolom : 30 x 30 (cm)

Beban hidup : 479 kg/m²

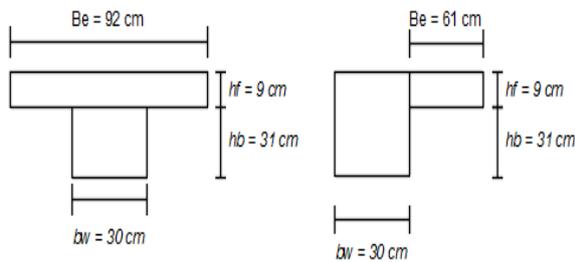
Asumsi tebal pelat : 9 cm

Mutu beton ($f'c$) : 18,675 MPa

(K – 225 : 0,083 x 125) Berat

jenis beton : 2400 kg/m³

Tegangan leleh baja (f_y) : 240 MPa



Gambar 5. Balok dalam dan balok tepi

$$Be = bw + 2 hb \leq bw + 8 hf$$

$$= 30 + 2 \times 27 \leq 30 + 8 \times 9$$

$$= 92 \text{ cm} \leq 102 \text{ cm} \quad (\text{ok})$$

$$Be = hb \leq 4hf$$

$$= 31 \text{ cm} \leq 4 \times 9 \text{ cm} = 36 \text{ cm} \quad (\text{ok})$$

Menentukan tebal pelat

a. Menentukan rasio kekakuan lentur

Menentukan α_1

Inersia balok: 255274,69 cm⁴

Inersia untuk pelat: 24300 cm⁴

$$\text{Maka, nilai } \alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{255274,7 \text{ cm}^4}{24300 \text{ cm}^4} = 10,505$$

$$\text{nilai } \alpha_2 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{255274,7 \text{ cm}^4}{33412,5 \text{ cm}^4} = 7,640$$

$$\text{nilai } \alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{216268,4 \text{ cm}^4}{13061,25 \text{ cm}^4} = 16,558$$

$$\text{nilai } \alpha_4 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{216268,443 \text{ cm}^4}{17617,5 \text{ cm}^4} = 12,276$$

b. Menentukan tebal minimum pelat Pelat dengan balok interior

• Tinjauan panel A

$$\alpha_m = \frac{2 \times \alpha_1 + 2 \times \alpha_2}{4} = \frac{2 \times 10,505 + 2 \times 7,64}{4}$$

$$= 9,073$$

$$9,073 > 2$$

Untuk $\alpha_m > 2$:

$h > (h \text{ pada rumus (2)}), \text{ dan } h > 125 \text{ mm}$
 Dengan nilai β dan Ln sebagai berikut.

$$\beta = \frac{5,5}{4} = 1,375$$

$$Ln = 5,5 - 0,3 = 5,2 \text{ cm} = 5200 \text{ mm}$$

$$h = \frac{5200(0,8 + \frac{240}{1400})}{36 + 9 \cdot 1,375} = 104,422 \text{ mm}$$

maka untuk $h = 90 \text{ mm}$,

$90 \text{ mm} > 104,422 \text{ mm}$ (tdk ok), dan $90 \text{ mm} = 90 \text{ mm}$ (ok)

Maka dipakai nilai $h = 110 \text{ mm}$

Dengan perhitungan yang sama didapatkan nilai α_m dan kontrol tebal pelat di tiap panel

Menentukan Momen Statis Terfaktor

Dari hasil perhitungan menggunakan metode desain langsung didapatkan tabel berikut

Tabel 5. Hasil perhitungan momen arah X , bentang luar

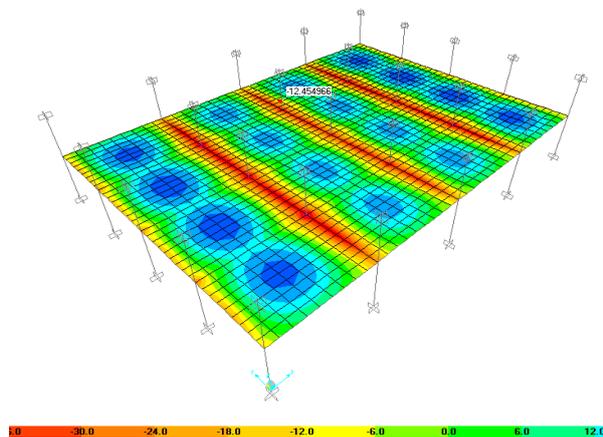
Bentang Luar			
	M terfaktor negatif Interior	M terfaktor positif	M terfaktor negatif exterior
Mu (kNm)	-113.871	92.723	-26.028
Faktor distribusi (%)			
Lajur kolom	83.182	83.182	-84.860
lajur tengah	16.818	16.818	-15.140
Distribusi Momen (kNm)			
Momen pada balok	-80.512	65.560	-18.774
Momen pada pelat	-14.208	11.569	-3.313
Momen pada lajur tengah	-19.151	15.594	-3.940

Tabel 6. Hasil perhitungan momen arah X ,bentang dalam

Bentang Dalam		
	M terfaktor negatif Interior	M terfaktor positif
Mu (kNm)	-105.737	56.935
Faktor distribusi (%)		
Lajur kolom	83.182	83.182
lajur tengah	16.818	16.818
Distribusi Momen (kNm)		
Momen pada balok	-74.761	40.256
Momen pada pelat	-13.193	7.104
Momen pada lajur tengah	-17.783	9.576

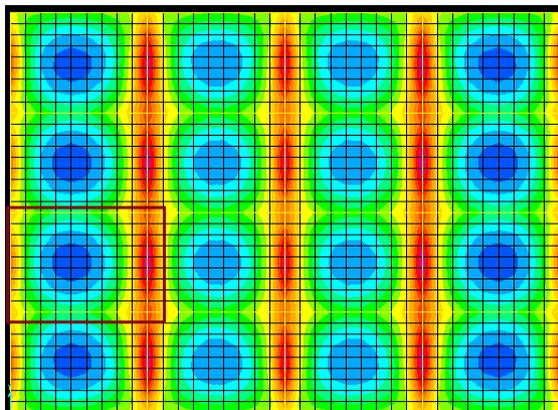
Analisa Struktur dengan SAP 2000

Keluaran 3D SAP2000



Gambar 6. Contoh Display Output SAP untuk Momen Lentur Arah X

Keluaran 2D SAP2000



Gambar 7. Gambar momen lentur bentang luar arah X

Tabel 8. Perbandingan momen pelat bentang luar arah X dengan metode desain langsung dan analisa SAP 2000

Bentang Luar Hasil Metode Desain Langsung			
	M terfaktor negatif Interior	M terfaktor positif	M terfaktor negatif exterior
Momen lajur kolom	-14.208	11.569	-3.313
Momen lajur tengah	-19.151	15.594	-3.940
Beban Luar Hasil Analisa struktur pada SAP			
	M terfaktor negatif Interior	M terfaktor positif	M terfaktor negatif exterior
Momen lajur kolom	-22.691	12.100	-11.647
Momen lajur tengah	-29.277	17.731	-19.025
Selisih Nilai Momen Lentur			
Momen lajur kolom	8.483	0.531	8.334
Momen lajur tengah	10.126	2.137	15.085
Persentase Selisih Nilai Momen Lentur (%)			
Momen lajur kolom	37.385	4.386	71.554
Momen lajur tengah	34.587	12.050	79.288

Perhitungan Tulangan

Dihitung tulangan pada pelat untuk lajur kolom arah X, bentang luar, diambil nilai momen pelat yang paling besar pada lajur kolom dari hasil perhitungan perencanaan langsung. Dengan data – data yang diperlukan. $b = 1000 \text{ mm}$, $h = 105 \text{ mm}$, $f'c = 18,675 \text{ MPa}$, $f_y = 240 \text{ MPa}$, selimut beton = 20 mm, diameter tulangan = 10 mm, momen pelat = 14207976,26 Nmm (momen untuk Arah X, bentang luar, lajur kolom M'in).

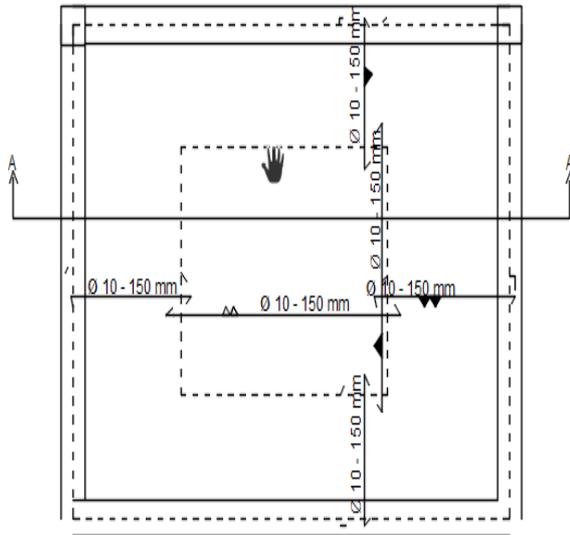
Hasil perhitungan jarak tulangan sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil perhitungan tulangan Arah X

ARAH X			
Bentang Luar			
	M ⁻ In	M ⁻ Ex	M ⁺
Lajur kolom	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150
Lajur tengah	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150
Bentang Dalam			
	M ⁻ In	M ⁺	
Lajur kolom	Ø10 - 150	Ø10 - 150	
Lajur tengah	Ø10 - 150	Ø10 - 150	

Tabel 9. Hasil perhitungan tulangan Arah Y

ARAH Y			
Bentang Luar			
	M ⁻ In	M ⁻ Ex	M ⁺
Lajur kolom	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150
Lajur tengah	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150
Bentang Dalam			
	M ⁻ In	M ⁺	
Lajur kolom	Ø10 - 150	Ø10 - 150	
Lajur tengah	Ø10 - 150	Ø10 - 150	



Gambar 7. Denah penulangan pelat bentang luar

Hasil variasi desain pelat konvensional dua arah beton bertulang

Dalam variasi desain, nilai yang divariasikan adalah sebagai berikut:

Bentang: diambil dari 4 m sampai 8 m

Ukuran balok: 30x40, 35x40, 40x40, 45x50

K (mutu beton): K-225, K-250, K-275, K-300, K-325, K-350.

Beban hidup: Rumah sakit: 2,87 kN/m², Ruang dansa 4,79 kN/m² Koridor: 3,83 kN/m²

f'c diambil sesuai dengan mutu beton yang ada, yaitu f'c = K x 0,083 kg/cm²

fy: 240 MPa untuk tulangan polos, 300 MPa untuk tulangan ulir, Diameter tulangan Ø10

Selimit beton 20mm, sesuai dengan aturan dalam SNI 2847-2013, pasal 7.7.1.

Kemudian didapatkan hasil desain praktis pelat konvensional dua arah beton bertulang, seperti pada Tabel 10.

PENUTUP

Kesimpulan

- Nilai momen lentur yang didapat dari perhitungan menggunakan metode disain langsung, hasilnya tidak sama dengan hasil menggunakan *software* SAP 2000, memiliki selisih yang tidak terlalu besar. Hal ini dikarenakan, pada metode disain langsung, digunakan nilai -nilai koefisien momen, dan mengalami pembulatan angka-angka yang berpengaruh pada hasil akhirnya, sedangkan pada *software* SAP 2000, menganalisa keseluruhan struktur, yang artinya mendapatkan hasil yang lebih akurat.
- Dari variasi beban dalam disain pelat, dapat dilihat, semakin besar beban, dengan keadaan panjang bentang yang sama, maka momen akan semakin besar. Dan dalam keadaan beban yang sama, jika beban diperbesar, maka momen juga akan semakin besar.
- Dalam keadaan beban yang sama, jika balok divariasikan. Semakin besar ukuran balok, maka momen akan lebih kecil
- Dalam perhitungan tulangan, semakin besar nilai f'c, maka luas tulangan perlu (AS_{perlu}) akan semakin kecil. Dan jika nilai fy diperbesar, luas tulangan juga akan menjadi lebih kecil.

Tabel 10. Hasil Variasi Desain Pelat Konvensional Dua Arah Beton Bertulang, (Untuk tulangan polos)
Desain praktis pelat Arah X, (fy = 240 MPa, d tulangan = 10 mm)

Variasi desain pelat dua arah beton bertulang Arah X										Tumpuan										Lapangan										BENTANG DALAM																						
No	fy = 240 MPa	D tulangan = 10 mm	tulangan polos	K	fc	bh	bb	tulangan polos	K	fc	Unik M Ex		Unik M'		Unik M In		Unik M Ex		Unik M'		Unik M In		Unik M Ex		Unik M'		Unik M In		Unik M Ex		Unik M'		Unik M In																			
											Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak	Momen	Jarak												
1	4	4	30	40	90	K-225	18,675	287	316	279.19	Ø10-200	994.60	Ø10-200	1221.44	Ø10-200	620.42	Ø10-200	2210.23	Ø10-200	2714.32	Ø10-200	1134.20	Ø10-200	610.72	Ø10-200	2520.44	Ø10-200	1357.2	Ø10-200	316	275.41	Ø10-200	981.16	Ø10-200	1204.94	Ø10-200	612.03	Ø10-200	2180.36	Ø10-200	2677.64	Ø10-200	1118.87	Ø10-200	602.47	Ø10-200	2486.38	Ø10-200	1388.8	Ø10-200		
									316	271.64	Ø10-200	967.72	Ø10-200	1188.43	Ø10-200	603.65	Ø10-200	2150.50	Ø10-200	2640.96	Ø10-200	1103.54	Ø10-200	594.22	Ø10-200	2452.32	Ø10-200	1320.5	Ø10-200	316	267.87	Ø10-200	954.28	Ø10-200	1171.93	Ø10-200	595.26	Ø10-200	2120.63	Ø10-200	2604.28	Ø10-200	1088.22	Ø10-200	585.96	Ø10-200	2418.26	Ø10-200	1302.1	Ø10-200		
									316	264.10	Ø10-200	940.84	Ø10-200	1155.42	Ø10-200	586.88	Ø10-200	2090.76	Ø10-200	2567.60	Ø10-200	1072.89	Ø10-200	577.71	Ø10-200	2384.20	Ø10-200	1283.8	Ø10-200	316	279.19	Ø10-200	994.60	Ø10-200	1221.44	Ø10-200	620.42	Ø10-200	2210.23	Ø10-200	2714.32	Ø10-200	1134.20	Ø10-200	610.72	Ø10-200	2520.44	Ø10-200	1357.2	Ø10-200		
									316	275.41	Ø10-200	981.16	Ø10-200	1204.94	Ø10-200	612.03	Ø10-200	2180.36	Ø10-200	2677.64	Ø10-200	1118.87	Ø10-200	602.47	Ø10-200	2486.38	Ø10-200	1388.8	Ø10-200	316	271.64	Ø10-200	967.72	Ø10-200	1188.43	Ø10-200	603.65	Ø10-200	2150.50	Ø10-200	2640.96	Ø10-200	1103.54	Ø10-200	594.22	Ø10-200	2452.32	Ø10-200	1320.5	Ø10-200		
	2	4	4	35	40	90	K-250	20,75	287	316	279.19	Ø10-200	994.60	Ø10-200	1221.44	Ø10-200	620.42	Ø10-200	2210.23	Ø10-200	2714.32	Ø10-200	1134.20	Ø10-200	610.72	Ø10-200	2520.44	Ø10-200	1357.2	Ø10-200	316	275.41	Ø10-200	981.16	Ø10-200	1204.94	Ø10-200	612.03	Ø10-200	2180.36	Ø10-200	2677.64	Ø10-200	1118.87	Ø10-200	602.47	Ø10-200	2486.38	Ø10-200	1388.8	Ø10-200	
										316	271.64	Ø10-200	967.72	Ø10-200	1188.43	Ø10-200	603.65	Ø10-200	2150.50	Ø10-200	2640.96	Ø10-200	1103.54	Ø10-200	594.22	Ø10-200	2452.32	Ø10-200	1320.5	Ø10-200	316	267.87	Ø10-200	954.28	Ø10-200	1171.93	Ø10-200	595.26	Ø10-200	2120.63	Ø10-200	2604.28	Ø10-200	1088.22	Ø10-200	585.96	Ø10-200	2418.26	Ø10-200	1302.1	Ø10-200	
										316	264.10	Ø10-200	940.84	Ø10-200	1155.42	Ø10-200	586.88	Ø10-200	2090.76	Ø10-200	2567.60	Ø10-200	1072.89	Ø10-200	577.71	Ø10-200	2384.20	Ø10-200	1283.8	Ø10-200	316	279.19	Ø10-200	994.60	Ø10-200	1221.44	Ø10-200	620.42	Ø10-200	2210.23	Ø10-200	2714.32	Ø10-200	1134.20	Ø10-200	610.72	Ø10-200	2520.44	Ø10-200	1357.2	Ø10-200	
										316	275.41	Ø10-200	981.16	Ø10-200	1204.94	Ø10-200	612.03	Ø10-200	2180.36	Ø10-200	2677.64	Ø10-200	1118.87	Ø10-200	602.47	Ø10-200	2486.38	Ø10-200	1388.8	Ø10-200	316	271.64	Ø10-200	967.72	Ø10-200	1188.43	Ø10-200	603.65	Ø10-200	2150.50	Ø10-200	2640.96	Ø10-200	1103.54	Ø10-200	594.22	Ø10-200	2452.32	Ø10-200	1320.5	Ø10-200	
		3	4	4	40	40	90	K-275	22,825	287	316	279.19	Ø10-200	994.60	Ø10-200	1221.44	Ø10-200	620.42	Ø10-200	2210.23	Ø10-200	2714.32	Ø10-200	1134.20	Ø10-200	610.72	Ø10-200	2520.44	Ø10-200	1357.2	Ø10-200	316	275.41	Ø10-200	981.16	Ø10-200	1204.94	Ø10-200	612.03	Ø10-200	2180.36	Ø10-200	2677.64	Ø10-200	1118.87	Ø10-200	602.47	Ø10-200	2486.38	Ø10-200	1388.8	Ø10-200
											316	271.64	Ø10-200	967.72	Ø10-200	1188.43	Ø10-200	603.65	Ø10-200	2150.50	Ø10-200	2640.96	Ø10-200	1103.54	Ø10-200	594.22	Ø10-200	2452.32	Ø10-200	1320.5	Ø10-200	316	267.87	Ø10-200	954.28	Ø10-200	1171.93	Ø10-200	595.26	Ø10-200	2120.63	Ø10-200	2604.28	Ø10-200	1088.22	Ø10-200	585.96	Ø10-200	2418.26	Ø10-200	1302.1	Ø10-200
											316	264.10	Ø10-200	940.84	Ø10-200	1155.42	Ø10-200	586.88	Ø10-200	2090.76	Ø10-200	2567.60	Ø10-200	1072.89	Ø10-200	577.71	Ø10-200	2384.20	Ø10-200	1283.8	Ø10-200	316	279.19	Ø10-200	994.60	Ø10-200	1221.44	Ø10-200	620.42	Ø10-200	2210.23	Ø10-200	2714.32	Ø10-200	1134.20	Ø10-200	610.72	Ø10-200	2520.44	Ø10-200	1357.2	Ø10-200
											316	275.41	Ø10-200	981.16	Ø10-200	1204.94	Ø10-200	612.03	Ø10-200	2180.36	Ø10-200	2677.64	Ø10-200	1118.87	Ø10-200	602.47	Ø10-200	2486.38	Ø10-200	1388.8	Ø10-200	316	271.64	Ø10-200	967.72	Ø10-200	1188.43	Ø10-200	603.65	Ø10-200	2150.50	Ø10-200	2640.96	Ø10-200	1103.54	Ø10-200	594.22	Ø10-200	2452.32	Ø10-200	1320.5	Ø10-200
4			4	4	45	40	90	K-300	24,9	287	316	279.19	Ø10-200	994.60	Ø10-200	1221.44	Ø10-200	620.42	Ø10-200	2210.23	Ø10-200	2714.32	Ø10-200	1134.20	Ø10-200	610.72	Ø10-200	2520.44	Ø10-200	1357.2	Ø10-200	316	275.41	Ø10-200	981.16	Ø10-200	1204.94	Ø10-200	612.03	Ø10-200	2180.36	Ø10-200	2677.64	Ø10-200	1118.87	Ø10-200	602.47	Ø10-200	2486.38	Ø10-200	1388.8	Ø10-200
											316	271.64	Ø10-200	967.72	Ø10-200	1188.43	Ø10-200	603.65	Ø10-200	2150.50	Ø10-200	2640.96	Ø10-200	1103.54	Ø10-200	594.22	Ø10-200	2452.32	Ø10-200	1320.5	Ø10-200	316	267.87	Ø10-200	954.28	Ø10-200	1171.93	Ø10-200	595.26	Ø10-200	2120.63	Ø10-200	2604.28	Ø10-200	1088.22	Ø10-200	585.96	Ø10-200	2418.26	Ø10-200	1302.1	Ø10-200
											316	264.10	Ø10-200	940.84	Ø10-200	1155.42	Ø10-200	586.88	Ø10-200	2090.76	Ø10-200	2567.60	Ø10-200	1072.89	Ø10-200	577.71	Ø10-200	2384.20	Ø10-200	1283.8	Ø10-200	316	279.19	Ø10-200	994.60	Ø10-200	1221.44	Ø10-200	620.42	Ø10-200	2210.23	Ø10-200	2714.32	Ø10-200	1134.20	Ø10-200	610.72	Ø10-200	2520.44	Ø10-200	1357.2	Ø10-200
											316	275.41	Ø10-200	981.16	Ø10-200	1204.94	Ø10-200	612.03	Ø10-200	2180.36	Ø10-200	2677.64	Ø10-200	1118.87	Ø10-200	602.47	Ø10-200	2486.38	Ø10-200	1388.8	Ø10-200	316	271.64	Ø10-200	967.72	Ø10-200	1188.43	Ø10-200	603.65	Ø10-200	2150.50	Ø10-200	2640.96	Ø10-200	1103.54	Ø10-200	594.22	Ø10-200	2452.32	Ø10-200	1320.5	Ø10-200
	5		4	4	50	40	90	K-325	26,975	287	316	279.19	Ø10-200	994.60	Ø10-200	1221.44	Ø10-200	620.42	Ø10-200	2210.23	Ø10-200	2714.32	Ø10-200	1134.20	Ø10-200	610.72	Ø10-200	2520.44	Ø10-200	1357.2	Ø10-200	316	275.41	Ø10-200	981.16	Ø10-200	1204.94	Ø10-200	612.03	Ø10-200	2180.36	Ø10-200	2677.64	Ø10-200	1118.87	Ø10-200	602.47	Ø10-200	2486.38	Ø10-200	1388.8	Ø10-200
											316	271.64	Ø10-200	967.72	Ø10-200	1188.43	Ø10-200	603.65	Ø10-200	2150.50	Ø10-200	2640.96	Ø10-200	1103.54	Ø10-200	594.22	Ø10-200	2452.32	Ø10-200	1320.5	Ø10-200	316	267.87	Ø10-200	954.28	Ø10-200	1171.93	Ø10-200	595.26	Ø10-200	2120.63	Ø10-200	2604.28	Ø10-200	1088.22	Ø10-200	585.96	Ø10-200	2418.26	Ø10-200	1302.1	Ø10-200
											316	264.10	Ø10-200	940.84	Ø10-200	1155.42	Ø10-200	586.88	Ø10-200	2090.76	Ø10-200	2567.60	Ø10-200	1072.89	Ø10-200	577.71	Ø10-200	2384.20	Ø10-200</																							

- e. Dalam variasi disain, ada beberapa variasi yang tidak dapat dihasilkan, karena dalam perhitungan ($A_{S_{perlu}}$), nilai D dalam persamaan kuadrat tidak dapat diperoleh.

Saran

Dalam mendisain, perlu beberapa hal yang harus diperhatikan, diantaranya:

- a. Memperhatikan setiap persyaratan yang ada dalam standar yang digunakan.
b. Teliti dalam memilih disain yang efisien dan aman.
c. Dalam penelitian berikutnya, peneliti dapat membuat desain pelat menggunakan metode rangka ekuivalen

DAFTAR PUSTAKA

- Dicky Zulkarnain, J. T., 2013. *Perencanaan Lantai Flat Slab Berdasarkan Tata Cara SNI 03 - 2847 - 2002*. Tugas Akhir Departemen Teknik Sipil FT USU.
- Dipohusodo, Istimawan, 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama
- Eka Susanti, N. A., 2016. *Studi Perbandingan Pelat Berusuk Dua Arah (Waffle Slab) dan Pelat Konvensional*. Jurnal Iptek, 35.
- McCormac, J. C 2003. *Desain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- Muhammad Fahri, S. E., 2016. *Tinjauan Momen Lentur Pelat Dua Arah dengan Metode Perencanaan Langsung dan Metode Elemen Hingga*. JRSDD, 88.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 2847-2013. *Persyaratan Beton Structural untuk Bangunan Gedung*.
- Siwi, B. R., 2008. *ReDesain Struktur Beton Bertulang Dengan Tipe D Pada Asrama Kaltim Ruhui Rahayu*.