PENENTUAN TEBAL PELAT LANTAI GEDUNG YANG DITUMPU PADA KEEMPAT SISINYA SESUAI SNI 2847:2013

*Oleh : I Gusti Ngurah Eka Partama *)*

ABSTRAK

Ketebalan minimum pelat beton bertulang non-prategang di dalam Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013) diatur dalam Pasal 9.5.3. Pada kondisi riil di lapangan ketebalan pelat lantai gedung ditetapkan secara empirik sebesar 12 cm. Panel pelat lantai yang luasnya lebih dari 12 m² atau bentang sisi pelat yang lebih dari 4 meter cenderung solusi yang diambil dengan menempatkan balok anak.

Analisa perhitungan tebal minimum pelat beton yang ditumpu pada keempat sisinya dengan bentang balok sepanjang L untuk gedung dilakukan dengan menggunakan model yang divariasikan menurut : dimensi panel pelat, dimensi balok yang menumpu sisi pelat dengan estimasi tinggi penampang balok (ht) sebesar $1/12.L - 1/10.L$ lebar balok (bw) diestimasi $1/2.ht - 2/3.ht$, mutu baja tulangan rencana dan variasi kondisi sisi pelat menerus dan tidak menerus.

Hasil analisa menunjukkan bahwa variasi dimensi balok menyebabkan ratio rata-rata kekakuan balok dengan kekakuan pelat (α_m) tetap lebih besar dari 2, sehingga tebal minimum pelat beton pada gedung menggunakan formula adalah $h = \{L_n / (0,8 + f_y / 1400)\} / (36 + 9\beta)$; tetapi tidak boleh kurang dari 90 mm. Dengan demikian dari formula itu dapat dilihat bahwa variasi dimensi balok tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam menentukan tebal pelat. Variasi mutu baja tulangan menunjukkan tebal minimum pelat sebesar 90 mm untuk dimensi panel 4x4 m² dan baru menunjukkan ketebalan lebih besar dari 90 mm untuk panel berdimensi 5x3 m². Variasi menerus atau tidak menerus sisi pelat juga menunjukkan α_m lebih besar dari 2, sehingga variasi ini juga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketebalan pelat. Variasi dimensi panel pelat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketebalan pelat hal ini dapat dilihat dari formula h yang merupakan fungsi dari L_n (bentang bersih arah memanjang) dan β (Ratio panjang sisi panjang dengan panjang sisi pendek).

Secara keseluruhan ketebalan pelat lantai gedung yang ditumpu pada keempat sisinya untuk berbagai dimensi panel pelat sebagai berikut : panel pelat 3x3 m² tebal pelat = 90 mm, panel pelat 4x3 m² tebal pelat = 90 mm, panel pelat 4x4 m² tebal pelat = 95 mm, panel pelat 5x3 m² tebal pelat = 105 mm, panel pelat 5x4 m² tebal pelat = 110 mm, panel pelat 5x5 m² tebal pelat = 115 mm, panel pelat 6x3 m² tebal pelat = 115 mm, panel pelat 6x4 m² tebal pelat = 125 mm panel pelat 6x5 m² tebal pelat = 135 mm, panel pelat 6x6 m² tebal pelat = 140 mm dan panel pelat 7x6 m² tebal pelat = 155 mm.

Kata Kunci : Tebal, Minimum, Pelat, Beton

ABSTRACT

The minimum thickness of the non-prestressed reinforced concrete plates in Indonesian Concrete Structural Code (SNI 2847:2013) is set forth in Section 9.5.3. In real conditions in the field the thickness of the building floor plate is set empirically by 12 cm. Floor plates covering more than 12 m² or span side plates more than 4 meters tends to be the solution taken by placing the second beam.

The minimum thickness analysis of the concrete plates supported on all four sides with a beam span along L for the building was performed using the model varied according to the dimensions of the plate panel, the dimensions of the beam that supported the side of the plate with the estimated height of the cross section (ht) of $1/12.L - 1/10.L$ beam width (bw) is estimated $1/2.ht - 2/3.ht$, reinforcement steel grades and variations of continuous and non-continuous plate-side conditions.

**) Staf Pengajar Fakultas Teknik UNR - Denpasar*

The result of the analysis shows that the dimension of beam dimension causes the average rigidity ratio of beam with plate stiffness (α_m) to remain larger than 2, so that minimum thickness

of concrete plate in building using formula is $h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$; but may not less than 90

mm. The formula can be seen that variation of dimension section beam not give significant influence which in determining is thick of slab. Variation of steel grade show thickly of slab is equal to 90 mm for the dimension of panel until 4x4 m² and bigger than 90 mm when slab have dimension 5x3 m². Variation of continue or not continue side end of slab also show the α_m bigger than 2, so that this variation of not give significant influence which thick of slab. Dimension slab panel variation of give significant influence is thick of slab, this matter can be seen from h formula representing function of L_n (span cleanness) and β (Ratio of long side by short side length).

Overall the thickness of the building floor plates supported on all four sides for the various dimensions of the plate panel are as follows : plate panel 3x3 m² thickness = 90 mm, plate panel 4x3 m² thickness = 90 mm, plate panel 4x4 m² thickness = 95 mm, plate panel 5x3 m² thickness = 105 mm, slab 5x4 m² thickness = 110 mm, plate panel 5x5 m² thickness = 115 mm, plate panel 6x3 m² thickness = 115 mm, plate panel 6x4 m² thickness = 125, plate panel 6x5 m² thickness = 135 mm, plate panel 6x6 m² thickness = 140 mm and plate panel 7x6 m² thickness = 155 mm.

Key Word : Thick, Minimum, Slab, Concrete

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pelat lantai gedung beton bertulang umumnya bidang pelat lantainya ditumpu pada setiap sisinya oleh balok induk atau balok anak. Secara empirik ketebalan pelat lantai gedung ditetapkan sebesar 12 cm, kemudian untuk panel pelat lantai yang luasnya lebih dari 12 m² atau bentang sisi pelat yang lebih dari 4 meter cenderung solusi yang diambil dengan menempatkan balok anak. Solusi ini diambil untuk menghindari perhitungan yang rumit, namun berdampak pada penggunaan beton menjadi boros.

Upaya untuk mendapatkan ketebalan pelat yang efektif dan efisien harus dilakukan kalkulasi yang cermat sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam standar-standar yang berlaku sehingga biaya yang dibutuhkan dipilih yang paling rendah tanpa mengabaikan aspek keamanan dan keselamatan.

Kajian ini akan berupaya untuk mendapatkan tebal pelat lantai dalam berbagai dimensi panel pelat yang ditumpu pada keempat sisinya sesuai SNI 2847:2013.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang diangkat di dalam penelitian ini adalah berapa tebal pelat lantai gedung yang ideal tanpa memasang balok anak sebagai pengaku.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah menentukan tebal pelat lantai gedung yang ideal tanpa memasang balok anak sebagai pengaku.

1.4 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model yang dirancang sendiri oleh peneliti untuk selanjutnya dilakukan analisa dan perhitungan sesuai ketentuan SNI 2847:2013.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pelat Dua Arah (*Two way slab*)

Pelat Dua Arah yaitu : pelat yang mendukung atau memikul beban (Momen Lentur) dalam dua arah.

Gambar 1. Distribusi Momen Lentur pada pelat 2 arah yang ditumpu pada 4 sisinya

Harga M_{tx} , M_{lx} , M_{ty} dan M_{ly} ditentukan berdasarkan nilai l_y/l_x dan Tabel 13.3.2 Pada Peraturan Beton Indonesia 1971 (PBI '71).

2.2 Perencanaan Tebal minimum Pelat Dua Arah

Tebal pelat minimum dengan balok yang menumpunya pada semua sisi diatur dalam Pasal 9.5.3 SNI 2847:2013 yang terdiri :

- Untuk α_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 ($\alpha_m \leq 0,2$) harus menggunakan pasal 9.5.3.2
- Untuk α_m yang lebih besar dari 0,2 tetapi tidak lebih dari 2 ($0,2 < \alpha_m \leq 2$) tebal minimum pelat ditentukan dengan persamaan :

$$h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta \{ \alpha_m - 0,2 \}} ; \text{tetapi tidak boleh kurang dari 125 mm}$$

- c. Untuk α_m yang lebih besar dari 2 ($\alpha_m \geq 2$) tebal pelat ditentukan dengan persamaan :

$$h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} ; \text{tetapi tidak boleh kurang dari 90 mm}$$

dimana :

h = tebal minimum pelat (mm)

$L_n = L_{n1}$ = Panjang bersih pelat dalam arah memanjang (mm) (Nawy, 1990)

f_y = Tegangan leleh baja/mutu baja (dalam MPa)

$$\beta = \frac{L_{n1}}{L_{n2}} ; \quad L_{n1} = \text{bentang bersih dalam arah panjang (mm)}$$

L_{n2} = bentang bersih dalam arah pendek (mm)

$$\alpha = \text{Perbandingan kekakuan balok dengan kekakuan pelat} = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s}$$

E_{cb} = Modulus Elastisitas Beton

E_{cs} = Modulus Elastisitas Pelat

I_b = Momen Inersia balok (dalam penampang T atau Γ)

I_s = Momen Inersia pelat yang bersesuaian dengan balok

Penampang balok dengan bentuk penampang “ T ” atau “ Γ ” untuk perhitungan momen inersia terhadap sumbu-X (I_x) dapat dihitung dengan formula :

$$I_b = k \cdot \frac{1}{12} \cdot bw \cdot ht^3 \text{ dengan nilai k dihitung sebagai berikut :}$$

Gambar 2. Notasi dimensi bentuk penampang balok “ T ” atau “ Γ ” untuk menghitung Momen Inersia terhadap sumbu mendatar (I_x)

$$k = 1 + \left\{ \left(\frac{bE}{bw} - 1 \right) \left(\frac{ho}{ht} \right)^3 \right\} + \left\{ \frac{3 \left(\frac{bE}{bw} - 1 \right) \left(1 - \frac{ho}{ht} \right)^2 \cdot \frac{ho}{ht}}{1 + \left(\frac{bE}{bw} - 1 \right) \cdot \frac{ho}{ht}} \right\} \text{ (Nawy, 1990)}$$

$$k = \left\{ \frac{1 + \left(\frac{bE}{bw} - 1 \right) \left(\frac{ho}{ht} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{ho}{ht} \right) + 4 \left(\frac{ho}{ht} \right)^2 + \left(\frac{ho}{ht} - 1 \right) \left(\frac{ho}{ht} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{bE}{bo} - 1 \right) \cdot \frac{ho}{ht}} \right\} \text{ atau (Wang, et. al, 1987)}$$

$$\alpha_m = \text{ratio rata-rata kekakuan balok dengan pelat} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

Pada Pasal 9.5.3.4 SNI 2847:2013 disebutkan pelat dengan tebal kurang dari tebal minimum yang ditetapkan dalam Pasal 9.5.3.3 boleh digunakan bila dapat ditunjukkan dengan perhitungan bahwa lendutan yang terjadi tidak melampaui batas lendutan yang ditetapkan pada Tabel 95 (b).

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Model Penelitian

Model dibuat dengan menyusun dimensi panel pelat lantai yang sering dilaksanakan dalam pembangunan gedung bertingkat. Panel-Panel pelat lantai yang ditinjau yaitu panel pelat dengan keempat sisi menerus, panel pelat dengan tiga sisi menerus, panel pelat dengan dua sisi menerus, panel pelat dengan satu sisi menerus dan panel pelat dengan sisi tidak ada yang menerus yang masing-masing kasusnya dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Model panel pelat lantai

Huruf yang tercantum pada masing-masing panel pelat pada Gambar 6 menunjukkan masing-masing kasus. Huruf A menunjukkan panel pelat untuk kasus keempat sisi pelat menerus, Huruf B menunjukkan panel pelat salah satu sisi pendek pelat tidak menerus dan sisi lainnya menerus, Huruf C menunjukkan satu sisi panjang dan sisi pendek pelat menerus dan yang lainnya tidak menerus, Huruf D menunjukkan satu sisi panjang tidak menerus dan sisi lainnya menerus, Huruf E menunjukkan salah satu sisi

pendek pelat menerus dan sisi lainnya tidak menerus, Huruf F menunjukkan dua sisi pendek pelat menerus dan dua sisi panjang tidak menerus, Huruf E menunjukkan semua sisi pendek tidak menerus, Huruf H menunjukkan salah satu sisi panjang pelat menerus dan sisi lainnya tidak menerus dan Huruf I menunjukkan salah dua sisi pendek pelat tidak menerus dan dua sisi panjang menerus.

Dimensi balok diestimasi berdasarkan panjang bentang yang bersesuaian. Untuk lebar balok (b_w) diestimasi $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{2}{3}$ dari tinggi penampang balok ($\frac{1}{2}.h_t - \frac{2}{3}.h_t$), sedangkan tinggi penampang balok (h_t) diestimasi sebesar $\frac{1}{12}$ sampai $\frac{1}{10}$ kali panjang bentang balok ($\frac{1}{12}.L - \frac{1}{10}.L$).

Dimensi panel pelat (L_x dan L_y) yang ditinjau bervariasi yaitu :

- a. 3mx3m
- b. 4mx3m, 4mx4m
- c. 5mx3m, 5mx4m, 5mx5m
- d. 6mx3m, 6mx4m, 6mx5m, 6mx6m

3.2. Perhitungan Tebal minimum Pelat Lantai

Perhitungan tebal pelat ditinjau untuk masing-masing kasus yaitu : panel pelat untuk kasus keempat sisi pelat menerus, panel pelat untuk kasus tiga sisi pelat menerus, panel pelat untuk kasus dua sisi pelat menerus, panel pelat untuk kasus satu sisi pelat menerus dan panel pelat untuk kasus semua sisi pelat tidak menerus. Sebagai contoh perhitungan diambil panel pelat C seperti Gambar 4.

Gambar 4. Model panel pelat lantai untuk contoh perhitungan

Satuan dalam cm; Dimensi balok sisi pendek 25x40 cm dan dimensi balok sisi panjang 30x50 cm ; Mutu baja tulangan $f_y = 240$ MPa

Perhitungan tebal pelat lantai tersebut dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Estimasi awal tebal pelat (h_o)

Tebal pelat sebagai estimasi awal perlu ditentukan karena saat peninjauan Besaran Inersia balok, balok penumpu pelat ditinjau sebagai balok dengan bentuk penampang

“ T “ untuk balok yang memikul pelat yang menerus dan “ I ” untuk balok yang memikul pelat yang tidak menerus. Estimasi awal tebal pelat (h_o) pada contoh perhitungan ini ditentukan sebesar 12 cm

2. Tentukan as-as pelat baik arah memanjang maupun melintang/memendek untuk panel pelat terpilih dan panel pelat di sekeliling panel pelat terpilih. Perhatikan Gambar 8.
3. Balok-balok tumpuan pelat terpilih diberi nomor 1, 2, 3 dan 4 (penomoran bebas) Perhatikan Gambar 5.

Gambar 5. Penomoran balok dan penentuan as pelat pada dan di sekeliling pelat terpilih

4. Menentukan rasio rata-rata kekakuan balok dengan pelat (α_m)

Sebelum menghitung rasio kekakuan balok dan pelat, terlebih dahulu harus ditentukan dimensi efektif balok, Inersia Balok (I_b) dan Inersia Pelat (I_s).

a. Dimensi Efektif dan Inersia Balok 1

Gambar 6. Dimensi penampang balok nomor 1 untuk contoh perhitungan

$$f = h_t - h_o \text{ harus } \leq 4 \cdot h_o \text{ (Pasal 13.2.4 SNI 2847:2013)}$$

$$= 40 - 12 = 28 \text{ cm} \leq 4 \cdot 12 = 48$$

$$b_E = b_w + f = 25 + 28 = 53 \text{ cm}$$

$$\frac{h_o}{h_t} = \frac{12}{40} = 0,30 ; \frac{b_E}{b_w} = \frac{53}{25} = 2,12$$

$$I_{b1} = k \cdot \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_t^3$$

;

$$k = 1 + \left\{ \left(\frac{bE}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_o}{h_t} \right)^3 \right\} + \left\{ \frac{3 \left(\frac{bE}{b_w} - 1 \right) \left(1 - \frac{h_o}{h_t} \right)^2 \cdot \frac{h_o}{h_t}}{1 + \left(\frac{bE}{b_w} - 1 \right) \cdot \frac{h_o}{h_t}} \right\}$$

$$= 1 + \left\{ (2,12 - 1)(0,30)^3 \right\} + \left\{ \frac{3(2,12 - 1)(1 - 0,30)^2 \cdot 0,30}{1 + (2,12 - 1) \cdot 0,30} \right\} = 1,400$$

$$I_{b1} = 1,400 \cdot \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 40^3 = 186.659 \text{ cm}^4$$

b. Dimensi efektif dan inersia balok 2

Gambar 7. Dimensi penampang balok nomor 2 untuk contoh perhitungan

$$f = h_t - h_o \text{ harus } \leq 4 \cdot h_o \text{ (Pasal 13.2.4 SNI 2847:2013)}$$

$$= 50 - 12 = 38 \text{ cm} \leq 4 \cdot 12 = 48 \text{ (O.K.)}$$

$$bE = b_w + f = 30 + 38 = 68 \text{ cm}$$

$$\frac{h_o}{h_t} = \frac{12}{50} = 0,24 ; \quad \frac{bE}{b_w} = \frac{68}{30} = 2,27$$

$$I_{b2} = k \cdot \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_t^3$$

$$k = 1 + \left\{ \left(\frac{bE}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_o}{h_t} \right)^3 \right\} + \left\{ \frac{3 \left(\frac{bE}{b_w} - 1 \right) \left(1 - \frac{h_o}{h_t} \right)^2 \cdot \frac{h_o}{h_t}}{1 + \left(\frac{bE}{b_w} - 1 \right) \cdot \frac{h_o}{h_t}} \right\}$$

$$= 1 + \left\{ (2,27 - 1)(0,24)^3 \right\} + \left\{ \frac{3(2,27 - 1)(1 - 0,24)^2 \cdot 0,24}{1 + (2,27 - 1) \cdot 0,24} \right\} = 1,422$$

$$I_{b2} = 1,422 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 50^3 = 444.480 \text{ cm}^4$$

c. Dimensi Efektif dan Inersia Balok 3

Gambar 8. Dimensi penampang balok nomor 3 untuk contoh perhitungan

$$f = h_t - h_o = 40 - 12 = 28 \text{ cm}$$

$$b_E = b_w + 2f \text{ harus } \leq b_w + 8 \cdot h_o \text{ (Pasal 15.2.4 SNI 03-2847-2002)}$$

$$= (25 + 2 \cdot 28 = 81 \text{ cm}) \leq (25 + 8 \cdot 12 = 121 \text{ cm}) \text{ O.K}$$

$$\frac{h_o}{h_t} = \frac{12}{40} = 0,30 ; \frac{b_E}{b_w} = \frac{81}{25} = 3,24$$

$$I_{b3} = k \cdot \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_t^3$$

;

$$k = 1 + \left\{ \left(\frac{b_E}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_o}{h_t} \right)^3 \right\} + \left\{ \frac{3 \left(\frac{b_E}{b_w} - 1 \right) \left(1 - \frac{h_o}{h_t} \right)^2 \cdot \frac{h_o}{h_t}}{1 + \left(\frac{b_E}{b_w} - 1 \right) \cdot \frac{h_o}{h_t}} \right\}$$

$$= 1 + \left\{ (3,24 - 1)(0,30)^3 \right\} + \left\{ \frac{3(3,24 - 1)(1 - 0,30)^2 \cdot 0,30}{1 + (3,24 - 1) \cdot 0,30} \right\} = 1,651$$

$$I_{b3} = 1,651 \cdot \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 40^3 = 220.172 \text{ cm}^4$$

d. Dimensi efektif dan inersia balok 4 (I_{b4})

Gambar 9. Dimensi penampang balok nomor 2 untuk contoh perhitungan

$$f = h_t - h_o = 40 - 12 = 28 \text{ cm}$$

$$b_E = b_w + 2f \text{ harus } \leq b_w + 8.h_o \text{ (Pasal 13.2.4 SNI 2847:2013)}$$

$$= (30 + 2.38 = 106 \text{ cm}) \leq (30 + 8.12 = 126 \text{ cm}) \text{ O.K}$$

$$\frac{h_o}{h_t} = \frac{12}{50} = 0,24 ; \frac{bE}{b_w} = \frac{106}{30} = 3,53$$

$$I_{b4} = k \cdot \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_t^3 \quad ;$$

$$k = 1 + \left\{ \left(\frac{bE}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{h_o}{h_t} \right)^3 \right\} + \left\{ \frac{3 \left(\frac{bE}{b_w} - 1 \right) \left(1 - \frac{h_o}{h_t} \right)^2 \cdot \frac{h_o}{h_t}}{1 + \left(\frac{bE}{b_w} - 1 \right) \cdot \frac{h_o}{h_t}} \right\}$$

$$= 1 + \left\{ (3,53 - 1)(0,24)^3 \right\} + \left\{ \frac{3(3,53 - 1)(1 - 0,24)^2 \cdot 0,24}{1 + (3,53 - 1) \cdot 0,24} \right\} = 1,69$$

$$I_{b4} = 1,69 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 50^3 = 528.008 \text{ cm}^4$$

e. Inersia pelat yang bersesuaian dengan balok 1 (I_{s1})

Gambar 10. Dimensi penampang pelat bersesuaian dengan balok nomor 1 untuk contoh perhitungan

Momen Inersia dihitung sesuai penampang yang diarsir (sesuai dengan arah potongan melintang balok 1)

$$I_{s1} = \frac{1}{12} \cdot b_1 \cdot h_1^3 ; I_{s1} = \frac{1}{12} \cdot 250 \cdot 12^3 = 36.000 \text{ cm}^4$$

f. Inersia pelat yang bersesuaian dengan balok 2 (I_{s2})

Gambar 11. Dimensi penampang pelat bersesuaian dengan balok nomor 2 untuk contoh perhitungan

Momen Inersia di hitung sesuai penampang yang diarsir (sesuai dengan arah potongan melintang balok 2)

$$I_{s2} = \frac{1}{12} \cdot b_2 \cdot h_2^3 ; I_{s2} = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 12^3 = 28.800 \text{ cm}^4$$

g. Inersia pelat yang bersesuaian dengan balok 3 (I_{s3})

Gambar 12. Dimensi penampang pelat bersesuaian dengan balok nomor 3 untuk contoh perhitungan

$$I_{s3} = \frac{1}{12} \cdot b_3 \cdot h_3^3 ; I_{s3} = \frac{1}{12} \cdot 500 \cdot 12^3 = 72.000 \text{ cm}^4$$

h. Inersia Ppelat yang bersesuaian dengan balok 4 (I_{s4})

Gambar 13. Dimensi penampang pelat bersesuaian dengan balok nomor 4 untuk contoh perhitungan

$$I_{s4} = \frac{1}{12} \cdot b_4 \cdot h_4^3 ; I_{s4} = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 12^3 = 57.600 \text{ cm}^4$$

i. Perhitungan Ratio Kekakuan Balok dengan pelat rata-rata (α_m)

$$\alpha_1 = \frac{Ecb.I_{b1}}{Ecs.I_{s1}} = \frac{186.659}{36.000} = 5,185 ; \alpha_2 = \frac{Ecb.I_{b2}}{Ecb.I_{s2}} = \frac{444.480}{28.800} = 15,433$$

$$\alpha_3 = \frac{Ecb.I_{b3}}{Ecb.I_{s3}} = \frac{220.172}{72.000} = 3,058 ; \alpha_4 = \frac{Ecb.I_{b4}}{Ecb.I_{s4}} = \frac{528.008}{57.600} = 9,167$$

$$\alpha_m = \frac{\sum \alpha_i}{4} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = \frac{5,185 + 15,433 + 3,058 + 9,167}{4} = 8,211$$

5. Menentukan tebal minimum pelat (h)

Hasil perhitungan rasio kekakuan balok dan pelat rata-rata (α_m) didapat sebesar 8,211 yang lebih besar dari 2 ($\alpha_m \geq 2$) dengan demikian tebal pelat ditentukan dengan persamaan :

$$h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} ; \text{tetapi tidak boleh kurang dari 90 mm}$$

Panjang bentang bersih masing-masing sisi pelat adalah :

$$L_{n1} = 500 - 25 = 475 \text{ cm} ; L_{n2} = 400 - 30 = 370 \text{ cm}$$

Rasio antara bentang bersih sisi panjang terhadap sisi pendek adalah :

$$\beta = \frac{L_{n1}}{L_{n2}} = \frac{475}{370} = 1,284$$

$$\text{sehingga : } h = \frac{475 \left(0,8 + \frac{240}{1400} \right)}{36 + 9 \cdot 1,284} = \frac{475(0,97)}{47,556} = 9,70 \text{ cm}$$

Tebal pelat yang dicoba pada awal perhitungan yaitu $h_o = 12 \text{ cm}$ memenuhi syarat tetapi masih terlalu boros dibandingkan dengan tebal pelat yang disyaratkan. Untuk mengupayakan tebal pelat yang ideal dan ekonomis perhitungan diulangi dengan menentukan nilai $h_o = 10 \text{ cm}$ (sedikit diatas tebal pelat hasil perhitungan dengan rumus (h) dan angka bulat).

6. Perhitungan ulang tebal pelat dengan mencoba $h_o = 10 \text{ cm}$

Perhitungan ulang dilakukan dengan melakukan perhitungan mulai dari langkah ke-4 di atas dengan hasil sebagai berikut :

a. Inersia balok

$$I_{b1} = 1,409 \cdot \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 40^3 = 186.867 \text{ cm}^4 ; I_{b2} = 1,412 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 50^3 = 441.250 \text{ cm}^4$$

$$I_{b3} = 1,669 \cdot \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 40^3 = 222.533 \text{ cm}^4 ;$$

$$I_{b4} = 1,689 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 50^3 = 527.813 \text{ cm}^4$$

b. Inersia pelat

$$I_{s1} = \frac{1}{12} \cdot b_1 \cdot h_1^3 = \frac{1}{12} \cdot 250 \cdot 10^3 = 20.833 \text{ cm}^4 ;$$

$$I_{s2} = \frac{1}{12} \cdot b_2 \cdot h_2^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 10^3 = 16.667 \text{ cm}^4$$

$$I_{s_3} = \frac{1}{12} \cdot b_3 \cdot h_3^3 = \frac{1}{12} \cdot 500 \cdot 10^3 = 41.667 \text{ cm}^4;$$

$$I_{s_4} = \frac{1}{12} \cdot b_3 \cdot h_3^3 = \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 10^3 = 33.333 \text{ cm}^4$$

c. Perhitungan ratio kekakuan balok dengan pelat rata-rata (α_m)

$$\alpha_1 = \frac{Ecb.Ib_1}{Ecs.Is_1} = \frac{186.867}{20.833} = 8,97; \alpha_2 = \frac{Ecb.Ib_2}{Ecs.Is_2} = \frac{441.250}{16.667} = 26,47$$

$$\alpha_3 = \frac{Ecb.Ib_3}{Ecs.Is_3} = \frac{222.533}{41.667} = 5,34; \alpha_4 = \frac{Ecb.Ib_4}{Ecs.Is_4} = \frac{527.813}{33.333} = 15,83$$

$$\alpha_m = \frac{\sum \alpha_i}{4} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = \frac{8,97 + 26,47 + 5,34 + 15,83}{4} = 14,15$$

d. Menentukan tebal minimum pelat (h)

Hasil perhitungan rasio kekakuan balok dan pelat rata-rata (α_m) didapat sebesar 14,15 yang juga lebih besar dari 2 ($\alpha_m \geq 2$), sehingga tebal pelat dihitung dengan rumus yang sama menghasilkan nilai sama yaitu 9,70 cm. Tebal pelat yang dicoba pada awal perhitungan yaitu $h_o = 10$ cm memenuhi syarat dan cukup ekonomis, sehingga tebal pelat terpakai adalah $h = 10$ cm.

Contoh perhitungan tebal minimum pelat dua arah oleh Setiawan (2016) dengan dimensi panel 7 m x 6 m mendapat tebal pelat minimum 15,132 cm dan ditetapkan untuk dimensi panel ini menggunakan mutu baja tulangan BJTD 40 ($f_y = 400$ MPa) ketebalan pelat sebesar 15,50 cm. Hasil perhitungan ketebalan pelat selengkapnya ditabelkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan tebal pelat untuk seluruh kasus

No.	Panel Pelat		Estimasi Awal Tebal Pelat ho [cm]	Dimensi Balok				Mutu Baja Tulangan fy [MPa]	Tebal Pelat h [cm]
	Sisi Panjang (Ly) [m]	Sisi Pendek (Lx) [m]		Pada Sisi Panjang [cm]		Pada Sisi Pendek [cm]			
				bw	ht	bw	ht		
1	3	3	12	15	30	15	30	240	9,00
	3	3	12	15	30	15	30	320	9,00
	3	3	12	15	30	15	30	350	9,00
	3	3	12	15	30	15	30	390	9,00
	3	3	12	15	30	15	30	400	9,00
2	3	3	12	20	30	20	30	240	9,00
	3	3	12	20	30	20	30	320	9,00
	3	3	12	20	30	20	30	350	9,00
	3	3	12	20	30	20	30	390	9,00

	3	3	12	20	30	20	30	400	9,00
3	3	3	12	20	30	15	30	240	9,00
	3	3	12	20	30	15	30	320	9,00
	3	3	12	20	30	15	30	350	9,00
	3	3	12	20	30	15	30	390	9,00
	3	3	12	20	30	15	30	400	9,00
4	3	3	12	15	30	20	30	240	9,00
	3	3	12	15	30	20	30	320	9,00
	3	3	12	15	30	20	30	350	9,00
	3	3	12	15	30	20	30	390	9,00
	3	3	12	15	30	20	30	400	9,00
5	4	3	12	20	40	15	30	240	9,00
	4	3	12	20	40	15	30	320	9,00
	4	3	12	20	40	15	30	350	9,00
	4	3	12	20	40	15	30	390	9,00
	4	3	12	20	40	15	30	400	9,00
6	4	3	12	20	40	20	30	240	9,00
	4	3	12	20	40	20	30	320	9,00
	4	3	12	20	40	20	30	350	9,00
	4	3	12	20	40	20	30	390	9,00
	4	3	12	20	40	20	30	400	9,00
7	4	3	12	25	40	15	30	240	9,00
	4	3	12	25	40	15	30	320	9,00
	4	3	12	25	40	15	30	350	9,00
	4	3	12	25	40	15	30	390	9,00
	4	3	12	25	40	15	30	400	9,00
8	4	3	12	25	40	20	30	240	9,00
	4	3	12	25	40	20	30	320	9,00
	4	3	12	25	40	20	30	350	9,00
	4	3	12	25	40	20	30	390	9,00
	4	3	12	25	40	20	30	400	9,00
9	4	4	12	20	40	20	40	240	9,00
	4	4	12	20	40	20	40	320	9,00
	4	4	12	20	40	20	40	350	9,00
	4	4	12	20	40	20	40	390	9,50
	4	4	12	20	40	20	40	400	9,50
10	4	4	12	25	40	20	40	240	9,00
	4	4	12	25	40	20	40	320	9,00
	4	4	12	25	40	20	40	350	9,00
	4	4	12	25	40	20	40	390	9,50
	4	4	12	25	40	20	40	400	9,50
11	4	4	12	20	40	25	40	240	9,00
	4	4	12	20	40	25	40	320	9,00
	4	4	12	20	40	25	40	350	9,00
	4	4	12	20	40	25	40	390	9,50
	4	4	12	20	40	25	40	400	9,50
12	4	4	12	25	40	25	40	240	9,00
	4	4	12	25	40	25	40	320	9,00

	4	4	12	25	40	25	40	350	9,00
	4	4	12	25	40	25	40	390	9,00
	4	4	12	25	40	25	40	400	9,50
13	5	3	12	25	50	15	30	240	9,50
	5	3	12	25	50	15	30	320	10,00
	5	3	12	25	50	15	30	350	10,00
	5	3	12	25	50	15	30	390	10,50
	5	3	12	25	50	15	30	400	10,50
14	5	3	12	25	50	20	30	240	9,50
	5	3	12	25	50	20	30	320	10,00
	5	3	12	25	50	20	30	350	10,00
	5	3	12	25	50	20	30	390	10,50
	5	3	12	25	50	20	30	400	10,50
15	5	3	12	30	50	15	30	240	10,00
	5	3	12	30	50	15	30	320	10,00
	5	3	12	30	50	15	30	350	10,00
	5	3	12	30	50	15	30	390	10,50
	5	3	12	30	50	15	30	400	10,50
16	5	3	12	30	50	20	30	240	10,00
	5	3	12	30	50	20	30	320	10,00
	5	3	12	30	50	20	30	350	10,00
	5	3	12	30	50	20	30	390	10,00
	5	3	12	30	50	20	30	400	10,50
17	5	4	12	25	50	20	40	240	10,00
	5	4	12	25	50	20	40	320	10,50
	5	4	12	25	50	20	40	350	11,00
	5	4	12	25	50	20	40	390	11,00
	5	4	12	25	50	20	40	400	11,00
18	5	4	12	25	50	25	40	240	10,00
	5	4	12	25	50	25	40	320	10,50
	5	4	12	25	50	25	40	350	11,00
	5	4	12	25	50	25	40	390	11,00
	5	4	12	25	50	25	40	400	11,00
19	5	4	12	30	50	20	40	240	10,00
	5	4	12	30	50	20	40	320	10,50
	5	4	12	30	50	20	40	350	11,00
	5	4	12	30	50	20	40	390	11,00
	5	4	12	30	50	20	40	400	11,00
20	5	4	12	30	50	25	40	240	10,00
	5	4	12	30	50	25	40	320	10,50
	5	4	12	30	50	25	40	350	10,50
	5	4	12	30	50	25	40	390	11,00
	5	4	12	30	50	25	40	400	11,00
21	5	5	12	25	50	25	50	240	10,50
	5	5	12	25	50	25	50	320	11,00
	5	5	12	25	50	25	50	350	11,50
	5	5	12	25	50	25	50	390	11,50
	5	5	12	25	50	25	50	400	11,50

22	5	5	12	25	50	30	50	240	10,50
	5	5	12	25	50	30	50	320	11,00
	5	5	12	25	50	30	50	350	11,00
	5	5	12	25	50	30	50	390	11,50
	5	5	12	25	50	30	50	400	11,50
23	5	5	12	30	50	25	50	240	10,50
	5	5	12	30	50	25	50	320	11,00
	5	5	12	30	50	25	50	350	11,50
	5	5	12	30	50	25	50	390	11,50
	5	5	12	30	50	25	50	400	11,50
24	5	5	12	30	50	30	50	240	10,50
	5	5	12	30	50	30	50	320	11,00
	5	5	12	30	50	30	50	350	11,00
	5	5	12	30	50	30	50	390	11,50
	5	5	12	30	50	30	50	400	11,50
25	6	3	12	30	60	15	30	240	10,50
	6	3	12	30	60	15	30	320	11,00
	6	3	12	30	60	15	30	350	11,50
	6	3	12	30	60	15	30	390	11,50
	6	3	12	30	60	15	30	400	11,50
26	6	3	12	30	60	20	30	240	10,50
	6	3	12	30	60	20	30	320	11,00
	6	3	12	30	60	20	30	350	11,50
	6	3	12	30	60	20	30	390	11,50
	6	3	12	30	60	20	30	400	11,50
27	6	3	12	40	60	15	30	240	10,50
	6	3	12	40	60	15	30	320	11,00
	6	3	12	40	60	15	30	350	11,00
	6	3	12	40	60	15	30	390	11,50
	6	3	12	40	60	15	30	400	11,50
28	6	3	12	40	60	20	30	240	10,50
	6	3	12	40	60	20	30	320	11,00
	6	3	12	40	60	20	30	350	11,00
	6	3	12	40	60	20	30	390	11,50
	6	3	12	40	60	20	30	400	11,50
29	6	4	12	30	60	20	40	240	11,50
	6	4	12	30	60	20	40	320	12,00
	6	4	12	30	60	20	40	350	12,50
	6	4	12	30	60	20	40	390	12,50
	6	4	12	30	60	20	40	400	13,00
30	6	4	12	30	60	25	40	240	11,50
	6	4	12	30	60	25	40	320	12,00
	6	4	12	30	60	25	40	350	12,50
	6	4	12	30	60	25	40	390	12,50
	6	4	12	30	60	25	40	400	12,50
31	6	4	12	40	60	20	40	240	11,50
	6	4	12	40	60	20	40	320	12,00
	6	4	12	40	60	20	40	350	12,50

	6	4	12	40	60	20	40	390	12,50
	6	4	12	40	60	20	40	400	12,50
32	6	4	12	40	60	25	40	240	11,50
	6	4	12	40	60	25	40	320	12,00
	6	4	12	40	60	25	40	350	12,00
	6	4	12	40	60	25	40	390	12,50
	6	4	12	40	60	25	40	400	12,50
	6	4	12	40	60	25	40	400	12,50
33	6	5	12	30	60	25	50	240	12,00
	6	5	12	30	60	25	50	320	13,00
	6	5	12	30	60	25	50	350	13,00
	6	5	12	30	60	25	50	390	13,50
	6	5	12	30	60	25	50	400	13,50
	6	5	12	30	60	25	50	400	13,50
34	6	5	12	30	60	30	50	240	12,00
	6	5	12	30	60	30	50	320	12,50
	6	5	12	30	60	30	50	350	13,00
	6	5	12	30	60	30	50	390	13,50
	6	5	12	30	60	30	50	400	13,50
	6	5	12	30	60	30	50	400	13,50
35	6	5	12	40	60	25	50	240	12,00
	6	5	12	40	60	25	50	320	13,00
	6	5	12	40	60	25	50	350	13,50
	6	5	12	40	60	25	50	390	13,50
	6	5	12	40	60	25	50	400	13,50
	6	5	12	40	60	25	50	400	13,50
36	6	5	12	40	60	30	50	240	12,00
	6	5	12	40	60	30	50	320	12,50
	6	5	12	40	60	30	50	350	13,00
	6	5	12	40	60	30	50	390	13,50
	6	5	12	40	60	30	50	400	13,50
	6	5	12	40	60	30	50	400	13,50
37	6	6	12	30	60	30	60	240	12,50
	6	6	12	30	60	30	60	320	13,50
	6	6	12	30	60	30	60	350	13,50
	6	6	12	30	60	30	60	390	14,00
	6	6	12	30	60	30	60	400	14,00
	6	6	12	30	60	30	60	400	14,00
38	6	6	12	40	60	40	60	240	12,50
	6	6	12	40	60	40	60	320	13,00
	6	6	12	40	60	40	60	350	13,50
	6	6	12	40	60	40	60	390	13,50
	6	6	12	40	60	40	60	400	14,00
	6	6	12	40	60	40	60	400	14,00
	7	6	20	40	60	40	60	400	15,50

3.3 Pembahasan Spesifik Atas Variasi Perlakuan Model

3.3.1 Variasi Dimensi Balok Tumpuan Sisi Pelat

Dimensi balok yang diestimasi dengan batasan-batasan lebar balok (bw) diestimasi $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{2}{3}$ dari tinggi penampang balok ($\frac{1}{2}.ht - \frac{2}{3}.ht$) dan tinggi penampang balok (ht) diestimasi sebesar $\frac{1}{12}$ sampai $\frac{1}{10}$ kali panjang bentang balok ($\frac{1}{12}.L - \frac{1}{10}.L$)

memberikan nilai α_m selalu lebih besar dari 2 ($\alpha_m > 2$), sehingga tebal pelat yang ditentukan tidak boleh kurang dari nilai hasil perhitungan dengan formula :

$$h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \text{ dan tidak boleh kurang dari 90 mm. Dengan demikian dari}$$

formula itu dapat dilihat bahwa variasi dimensi balok tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam menentukan tebal pelat.

3.3.2 Variasi Mutu Baja Tulangan

Hasil perhitungan ketebalan pelat akibat variasi mutu baja tulangan sampai dimensi

panel pelat 4x4 m² dengan formula $h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$ mendapatkan hasil

perhitungan tidak lebih besar dari 90 mm, sehingga ketebalan pelat ditetapkan sebesar 90 mm. Perbedaan setiap variasi mutu baja tulangan baru tampak mulai dari dimensi panel pelat 4x4 m². Untuk aplikasi secara praktis dan dengan pertimbangan alasan keamanan ketebalan pelat hasil perhitungan diambil dengan nilai terbesar.

3.3.3 Variasi Kondisi Sisi Pelat

Variasi kondisi pelat yang dimaksud adalah sisi pelat menerus atau tidak menerus, hal ini membawa konsekuensi saat peninjauan balok dimensi efektif balok akan ditinjau sebagai balok penampang “T” untuk pelat yang sisinya menerus dan akan ditinjau sebagai balok penampang “Γ” untuk sisi pelat yang tidak menerus. Hasil perhitungan tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan atas perlakuan yang berbeda dari kondisi sisi pelat, dengan demikian posisi panel pelat tidak menentukan dalam menghitung tebal pelat.

3.3.4 Variasi dimensi panel pelat

Variasi dimensi panel pelat ($L_y \times L_x$) menghasilkan nilai tebal pelat dengan perbedaan yang signifikan. Hal ini cukup beralasan karena dalam formula

$$h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}, \text{ ketebalan pelat merupakan fungsi dari } L_n \text{ (dimensi bersih panel}$$

pelat dalam arah panjang) dan merupakan fungsi dari β yang merupakan rasio dari sisi panjang dengan sisi pendek panel pelat lantai. Ketebalan pelat mulai melampaui nilai

tebal minimum 90 mm pada dimensi panel 4x4 m². Untuk aplikasi secara praktis dan dengan pertimbangan alasan keamanan ketebalan pelat hasil perhitungan diambil dengan nilai terbesar

Keseluruhan pembahasan di atas jika diakumulasikan maka ketebalan pelat lantai untuk masing-masing dimensi panel pelat dapat dilihat pada Tabel 4. Pada Tabel ini tampak bahwa informasi yang disajikan masih bersifat khusus, agar bisa diaplikasikan secara umum, maka dasar utama dalam menentukan dimensi tebal pelat adalah dimensi sisi panjang panel pelat. Dimensi panel pelat di antara dua dimensi panel pelat yang berurutan, tebal pelat diambil pada nomor urut yang lebih besar. Sebagai contoh panel pelat dengan dimensi 5,0 x 3,5 m², maka jika melihat urutan dimensinya panel pelat ini berada di antara urutan nomor 3 dan nomor 4. Tebal pelat ditentukan sesuai dengan tebal pelat pada panel pelat pada urutan nomor 4, sehingga tebal pelatnya adalah 11,00 cm.

Tabel 2. Tebal pelat menurut dimensi panel pelat.

No.	Dimensi Panel Pelat [M ²]	Tebal Pelat Lantai [CM]
1	3x3	9,00
2	4x3	9,00
3	4x4	9,50
4	5x3	10,50
5	5x4	11,00
6	5x5	11,50
7	6x3	11,50
8	6x4	12,50
9	6x5	13,50
10	6x6	14,00
11	7x6	15,50

Sumber : Hasil analisis

IV. PENUTUP

4.1 Simpulan

Hasil analisa berbagai kasus dimensi panel pelat secara menyimpulkan ketebalan pelat lantai gedung yang ditumpu pada keempat sisinya sebagai berikut : panel pelat 3x3 m² tebal pelat = 90 mm, panel pelat 4x3 m² tebal pelat = 90 mm, panel pelat 4x4 m² tebal pelat = 95 mm, panel pelat 5x3 m² tebal pelat = 105 mm, panel pelat 5x4 m² tebal pelat = 110 mm, panel pelat 5x5 m² tebal pelat = 115 mm, panel pelat 6x3 m² tebal pelat = 115 mm, panel pelat 6x4 m² tebal pelat =

125 mm panel pelat 6x5 m² tebal pelat = 135 mm, panel pelat 6x6 m² tebal pelat = 140 mm dan panel pelat 7x6 m² tebal pelat = 155 mm.

4.2 Saran

Ketebalan pelat pada simpulan adalah hasil analisis adalah untuk sistem pelat dua arah (*Two way Slab*) dengan mengambil dimensi balok pada sisi pelat sebagai tumpuan pelat dengan batasan-batasan sebagai berikut : Dimensi tinggi balok diambil sebesar 1/12-1/10 kali panjang bentang yang bersesuaian ($1/12L - 1/10L$) dan dimensi lebar balok diambil sebesar $\frac{1}{2} - \frac{2}{3}$ kali dimensi tinggi balok ($1/2h - 2/3h$), oleh karena itu untuk mengurangi hasil perhitungan yang bias, saat perencanaan balok dimensi balok disarankan untuk mengikuti batasan-batasan tersebut diatas.

Untuk meyakinkan keamanan hasil perhitungan, bahwa ketebalan pelat yang diambil cukup aman dan ekonomis, sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan untuk menentukan besar lendutan yang terjadi sehingga ketebalan pelat yang diambil saat dibebani menunjukkan perilaku pelat yang betul-betul aman terhadap kemungkinan adanya kegagalan konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonymous, 2013, ***Standar Nasional Indonesia (SNI), Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI-2847:2013)***, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
2. Departemen Pekerjaan Umum, 1971, ***Peraturan Beton Indonesia (NI-2)***, Yayasan LPMB, Bandung
3. Nawy, E. G. 1990, ***Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar***, PT Eresco, Bandung
4. Setiawan, A. 2016, ***Perancangan Struktur Beton Bertulang*** Penerbit Erlangga, Jakarta
5. Wang, C. K. Salmon, C. G. S, Hariandja, B. 1987, ***Disain Beton Bertulang Jilid 2***. Penerbit Erlangga, Jakarta