

STUDI BANDING ANALISIS STRUKTUR PELAT DENGAN METODE *STRIP*, PBI 71, DAN FEM

A COMPARATIVE STUDY OF PLATE STRUCTURE ANALYSIS USING STRIP METHOD, PBI 71, AND FEM

Guntara M. Adityawarman

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta,
Jl. Sunter Permai Raya, Sunter Podomoro, Jakarta utara
guntaragun@yahoo.co.id

Abstrak

Struktur yang memikul momen pada umumnya adalah pelat lantai, balok, dan kolom. Pelat lantai merupakan elemen struktur yang secara langsung mendapatkan beban hidup selain beban tambahan dan berat sendiri. Metode analisis lendutan menggunakan *strip method* dan FEM (SAP2000) sedangkan analisis momen tumpuan dan lapangan menggunakan *strip method*, koefisien momen (PBI 71), dan FEM (SAP2000). Studi kasus ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan lendutan dan momen dari ketiga metode tersebut. Hasil Studi kasus pada pelat beton ukuran $l_y = 4$ m dan $l_x = 3$ m, memberikan nilai lendutan dengan menggunakan *strip method* dan FEM (SAP2000), yaitu 0,255 mm dan 0,412 mm. Analisis momen tumpuan dan lapangan dengan menggunakan *strip method* lebih besar dari metode koefisien momen PBI 71 dan FEM (SAP2000).

Kata kunci: *strip method*, pelat, SAP2000, koefisien momen

Abstract

Structures bearing moments are in general slab, beams and columns. Slab is a structural element that directly bear the live load in addition to the extra load and its own weight. Deflection analysis method employs the *strip method* and FEM (SAP2000) while the negative and positive moment analysis uses the *strip method*, moment coefficient (PBI 71), and FEM (SAP2000). This case study aims to determine the differences in deflection and moments of the three methods. The results of the case study on the concrete slab of $l_y = 4$ m and $l_x = 3$ m, show the deflection values by using the *strip method* and FEM (SAP2000) that are 0.255 mm and 0.412 mm. The negative and positive moment analysis by using the *strip method* is larger than moment coefficient method (PBI 71) and FEM (SAP2000).

Key words: *strip method*, plate, SAP2000, moment coefficient

Tanggal Terima Naskah : 08 April 2015
Tanggal Persetujuan Naskah : 12 Mei 2015

1. PENDAHULUAN

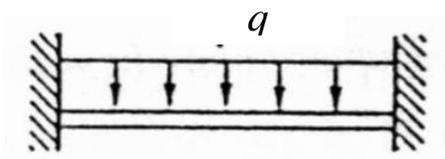
Struktur bangunan pada umumnya terdiri dari elemen – elemen, seperti pelat, balok, dan kolom. Setiap elemen akan menerima beban luar yang kemudian akan memberikan gaya – gaya dalam pada elemen tersebut, seperti momen, normal, lintang. Struktur yang memikul momen pada umumnya adalah pelat lantai, balok, dan kolom. Beban luar yang bekerja pada elemen struktur tersebut, selain akibat beban sendiri struktur tersebut, beban yang menambah besar momen yang harus dipikul adalah beban mati dan beban hidup yang pada dasarnya diterima oleh pelat lantai. Analisis momen yang terjadi dapat dilakukan dengan metode perencanaan langsung dan rangka ekuivalen [1]. Namun, di lapangan masih banyak digunakan metode perhitungan momen pelat dengan menggunakan tabel koefisien momen yang ada dalam PBI 71. Momen lentur yang terjadi pada pelat mengakibatkan lendutan sehingga dibatasi lendutan yang terjadi, yaitu $L/360$ [1]. Perhitungan lendutan pelat yang terjadi dapat dihitung berdasarkan *strip method* dan FEM (SAP2000).

Studi kasus ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan momen pelat menggunakan *strip method*, koefisien momen, dan FEM, serta menganalisis lendutan pelat menggunakan *strip method* dan FEM.

2. KONSEP DASAR

2.1 Strip Method

Menurut H. Grashof, penyelesaian pelat empat persegi panjang dapat diselesaikan dengan pendekatan analitis. Metode ini membagi pelat menjadi lajur-lajur yang saling tegak lurus dimana setiap lajur ditinjau sebagai balok. Metode ini cocok untuk menganalisis perilaku pelat tetapi kurang cocok untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti. Untuk menganalisis lendutan dan momen pelat, metode ini banyak digunakan. Persamaan Lendutan pada lajur di tengah pelat memiliki persamaan yang mirip dengan persamaan lendutan balok dengan mempertimbangkan tebal pelat [2].



Gambar 1. Balok dengan tumpuan jepit

Persamaan umum balok dengan beban terbagi rata dan tumpuan jepit di ujung-ujungnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 adalah sebagai berikut:

$$M_{\text{lapanhan}} = \frac{1}{24} qL^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$M_{\text{tumpuan}} = \frac{1}{12} qL^2 \dots\dots\dots(2)$$

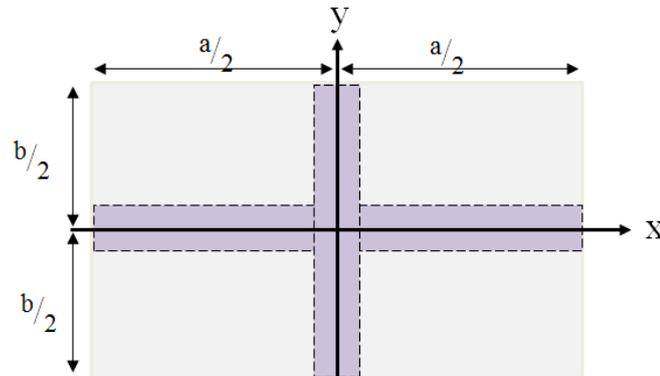
Persamaan untuk lendutan balok dengan beban terbagi rata dan tumpuan jepit di kedua ujungnya, yaitu sebagai berikut:

$$w = \frac{1}{384} \frac{qL^4}{EI} \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan untuk nilai EI pada pelat setelah dilakukan penyederhanaan maka persamaan EI dapat dituliskan sebagai berikut:

$$EI = D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \dots\dots\dots(4)$$

Pada *Strip method*, lendutan dan momen balok diasumsikan seperti balok sehingga pelat dibagi dalam lajur-lajur. Pembagian Lajur pada pelat dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. *Strip method*

Berdasarkan persamaan (3), maka persamaan lendutan balok untuk masing lajur dapat ditulis sebagai berikut:

$$w_a = \frac{1}{384} \frac{q_a \cdot a^4}{EI} \dots\dots\dots(5)$$

$$w_b = \frac{1}{384} \frac{q_b \cdot b^4}{EI} \dots\dots\dots(6)$$

dimana nilai q_a dan q_b , adalah sebagai berikut:

$$q_a = \frac{b^4}{a^4 + b^4} p_o \dots\dots\dots(7)$$

$$q_b = \frac{a^4}{a^4 + b^4} p_o \dots\dots\dots(8)$$

Persamaan momen sepanjang balok adalah sebagai berikut:

$$M_a = \frac{1}{2} q_a \cdot L_a \cdot x - \frac{1}{2} q_a x^2 - \frac{1}{12} q_a \cdot L_a^2 \dots\dots\dots(9)$$

$$M_b = \frac{1}{2} q_b \cdot L_b \cdot x - \frac{1}{2} q_b x^2 - \frac{1}{12} q_b \cdot L_b^2 \dots\dots\dots(10)$$

2.2 Koefisien Momen (PBI 71)

Pada tepi pelat dapat terletak bebas, terjepit penuh, atau terjepit elastis. Jepitan penuh terjadi, jika penampang pelat di atas tumpuan tidak mengalami putaran saat menerima beban, serta pelat dan balok merupakan satu kesatuan monolit yang relatif sangat kaku [3]. Perhitungan momen lapangan dan tumpuan dengan menggunakan tabel koefisien momen dalam PBI 71 sangat praktis sehingga masih digunakan hingga saat ini. Persamaan momen lapangan dan tumpuan arah x dan y dengan tumpuan jepit penuh di semua sisinya dengan $l_y = 4$ m dan $l_x = 3$ m ($l_y / l_x = 1.333$) adalah sebagai berikut.

$$Ml_x = 0,001.q.lx^2.X = 0,001.q.lx^2.32 \dots\dots\dots(11)$$

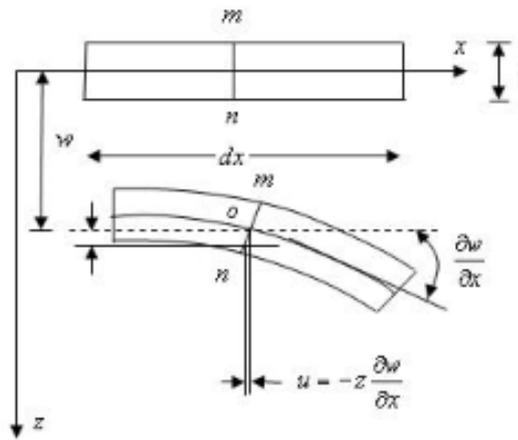
$$Ml_y = 0,001.q.lx^2.X = 0,001.q.lx^2.18,667 \dots\dots\dots(12)$$

$$Mt_x = -0,001.q.lx^2.X = 0,001.q.lx^2.70,333 \dots\dots\dots(13)$$

$$Mt_y = -0,001.q.lx^2.X = 0,001.q.lx^2.57 \dots\dots\dots(14)$$

2.3 Finite Element Method (FEM)

Pelat adalah suatu elemen struktur yang datar dimana tebalnya jauh lebih kecil dari dimensi yang lain. Kekakuan pelat tipis didasarkan pada teori lentur lendutan kecil dengan bahan homogen, isotropik, elastis [4].



Gambar 3. Pelat lentur

Gambar 3 menjelaskan tentang pelat tanpa beban dengan tebal (t) dan bidang x-y merupakan bidang tengahnya, serta arah z sebagai bidang pelat mengalami lendutan. Setelah diterapkan beban maka terjadi perpindahan yang dinotasikan sebagai u,v, dan w, dimana u sebagai perpindahan arah x, v perpindahan arah y, dan w adalah perpindahan arah z.

$$u = z \frac{\partial w}{\partial x} \dots\dots\dots(14)$$

$$v = z \frac{\partial w}{\partial y} \dots\dots\dots(15)$$

$$M_x = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \dots\dots\dots(16)$$

$$M_y = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \left[\nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \dots\dots\dots(17)$$

$$M_{xy} = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} (1-\nu) \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] \dots\dots\dots(18)$$

dimana *flexural rigidity* (D) dari pelat dapat ditulis sebagai berikut.

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \dots\dots\dots(19)$$

Persamaan di atas dapat dituliskan dalam bentuk matrix.

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D & D\nu & 0 \\ D\nu & D & 0 \\ 0 & 0 & D\left(\frac{1-\nu}{2}\right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial y \cdot \partial y} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(20)$$

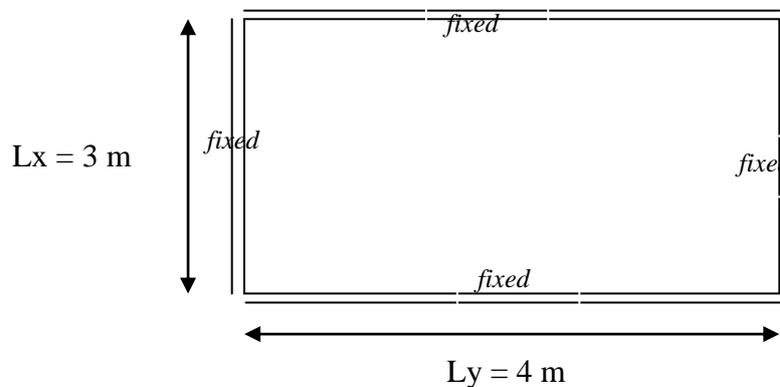
3. METODE PENELITIAN

3.1 Data Pelat Empat Persegi Panjang

Dalam studi kasus ini, digunakan data-data pelat sebagai berikut:

- a. Panjang pelat arah x $l_x = 3$ m
- b. Panjang pelat arah y $l_y = 4$ m
- c. Tebal Pelat, $t = 120$ mm
- d. *Poisson ratio*, $\nu = 0.2$
- e. Elastisitas, $E = 20000$ MPa

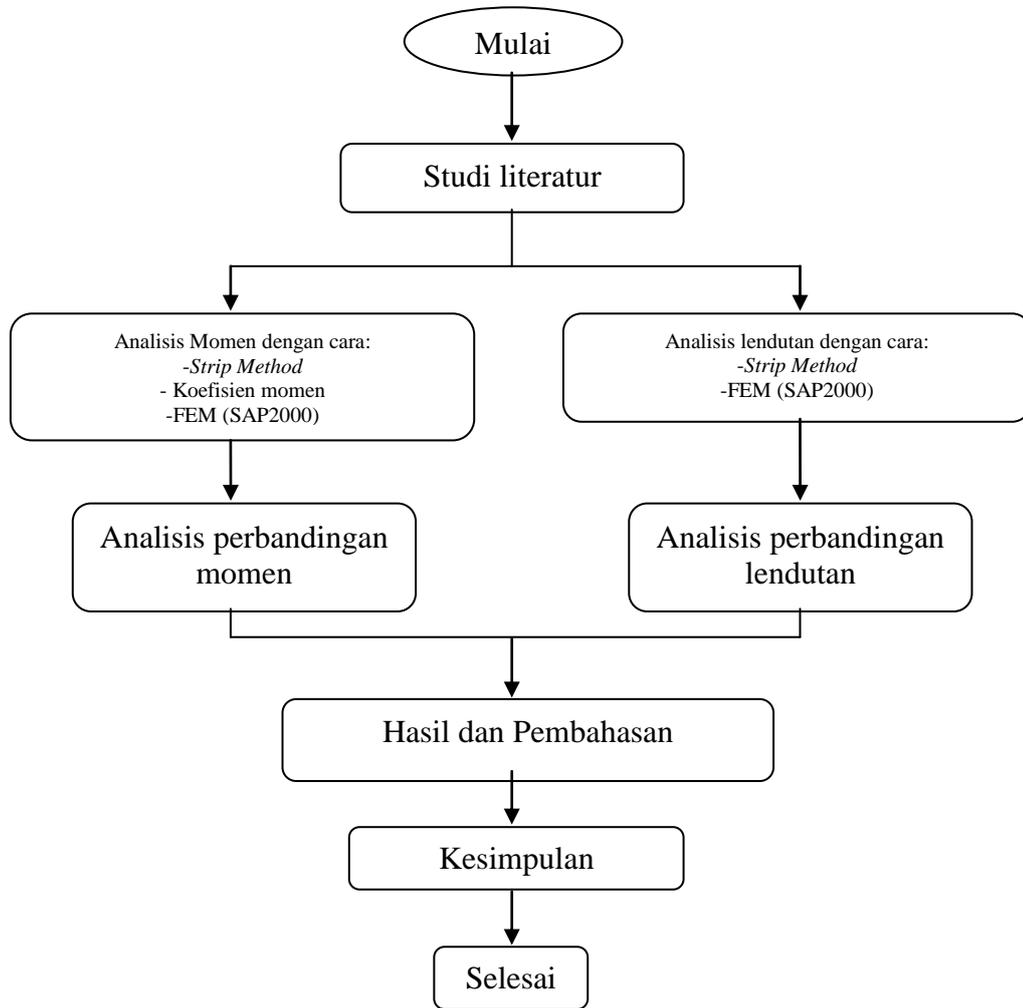
Pelat akan dianalisis menggunakan beberapa metode untuk mendapatkan momen lentur dan lendutan pada pelat. Analisis momen yang terjadi pada elemen segiempat menggunakan *strip method*, koefisien momen (PBI 71), dan *finite elemen method* dengan menggunakan SAP2000. Pelat akan dibebani dengan beban tambahan sebesar $1,34 \text{ kN/m}^2$ selain berat sendiri dari pelat dan juga beban hidup sebesar $2,5 \text{ kN/m}^2$. Beban tersebut akan dikombinasikan menggunakan kombinasi pembebanan, yaitu $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$.



Gambar 4. Pelat tertumpu jepit di semua sisi

3.2 Alur Penelitian

Studi kasus ini mengikuti alur analisis seperti pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Alur analisis

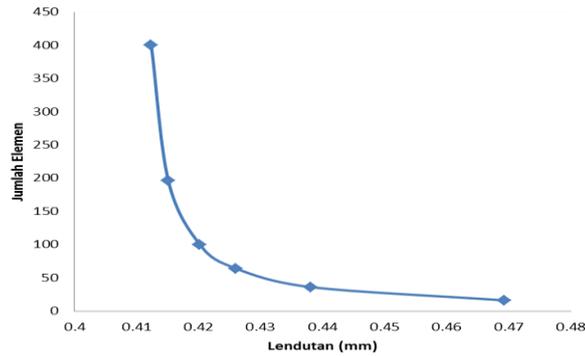
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lendutan *Strip Method* dan *Finite Element Method*

Hasil uji konvergensi terhadap model yang dibuat dilakukan dengan cara membagi elemen pelat menjadi beberapa elemen. Uji konvergensi elemen yang digunakan terhadap lendutan yang terjadi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Lendutan di tengah bentang

No.	Elemen	Defleksi (mm)	%error
1	16	0.4692	
2	36	0.43805	6.64
3	64	0.42600	2.75
4	100	0.42020	1.36
5	196	0.41512	1.21
6	400	0.41237	0.66



Gambar 6. Lendutan vs jumlah elemen

Uji konvergensi memperlihatkan bahwa semakin banyak elemen yang digunakan, maka hasil lendutan yang terjadi hampir mendekati jumlah elemen sebelumnya. Dari Tabel 1 terlihat bahwa % *error* untuk jumlah elemen 400, yaitu 0,66 % dari jumlah elemen 196 sehingga untuk analisis ini digunakan jumlah elemen 400. Pada Gambar 6 diperlihatkan bahwa pada kondisi dengan jumlah elemen yang semakin banyak maka lendutan yang terjadi terhadap lendutan sebelumnya memiliki selisih yang semakin kecil. Hasil lendutan di tengah bentang dengan menggunakan *strip method* didapatkan dengan menggunakan persamaan (5) dan persamaan (6). Perbandingan hasil lendutan dengan menggunakan beberapa metode dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Lendutan di tengah bentang

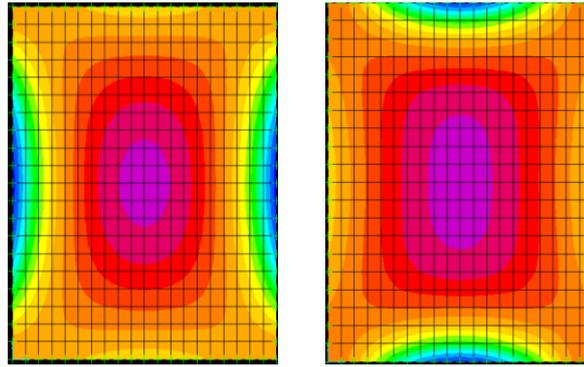
No.	Metode	δ (mm)	Selisih (%)
1.	<i>Strip Method</i>	0.255	61.57
2.	FEM (SAP2000)	0.412	

Perbandingan lendutan dengan menggunakan *strip method*, yaitu 0,255 mm dan menggunakan FEM (SAP2000), yaitu 0,412 mm. Hasil analisis lendutan dengan menggunakan *strip method* dan FEM (SAP2000) pada pelat $l_y = 4$ m dan $l_x = 3$ m memiliki selisih perbedaan lendutan sebesar 61,57%. Hasil ini memperlihatkan bahwa analisis lendutan menggunakan *strip method* lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan FEM.

4.2 Analisis Momen dengan *Strip Method*, PBI 71, dan FEM

Momen tumpuan dan lapangan dengan menggunakan SAP2000 menghasilkan momen M11 dan momen M22. Dari momen M11 dan momen M22 diambil hasil yang maksimum untuk digunakan sebagai data desain perencanaan. Untuk analisis arah x digunakan momen *ultimit* M11 dan analisis arah y digunakan momen *ultimit* M22. Momen M11 dan momen M22 yang terjadi akibat beban dengan menggunakan SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 7.

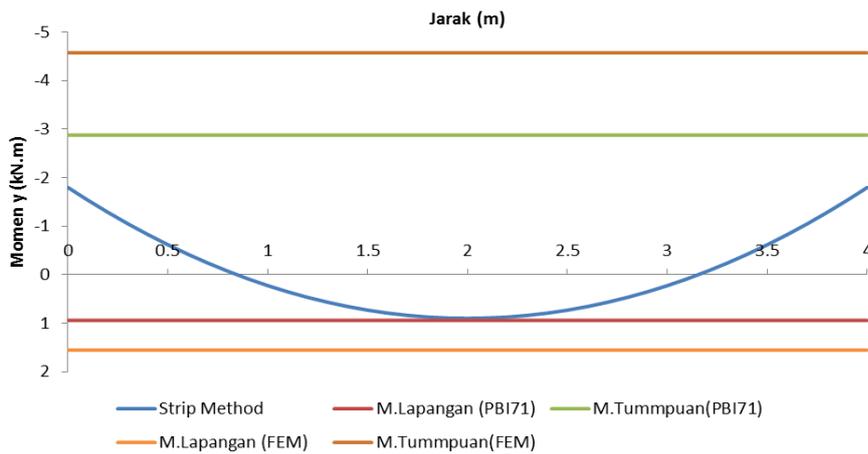
Momen Tumpuan dan lapangan menggunakan *Strip Method* dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan (9) dan persamaan (10), sedangkan analisis momen dengan menggunakan PBI 71 menggunakan persamaan (11), (12), (13), dan (14). Hasil dari analisis momen tumpuan dan lapangan menggunakan *Strip Method*, PBI 71, dan FEM dapat dilihat pada Tabel 4.



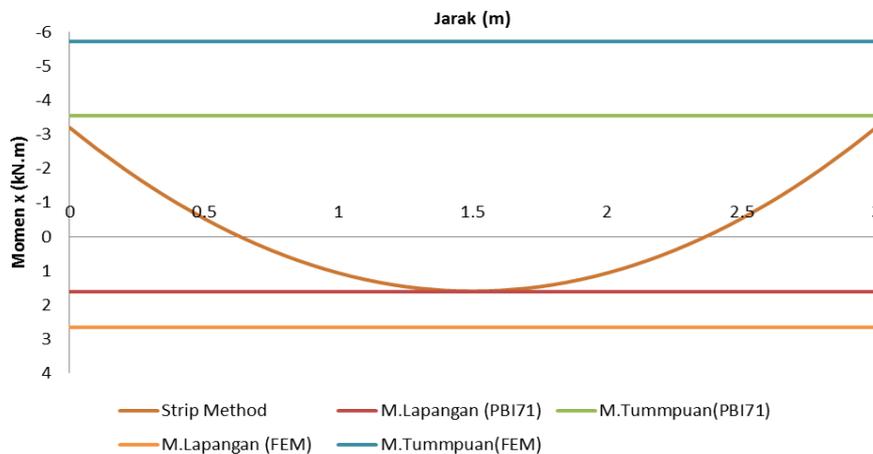
Gambar 7. Momen arah M11 dan M22

Tabel 4. Hasil analisis momen tumpuan dan lapangan

Metode	Arah X (kN.m)		Arah Ys (kN.m)	
	M _{lapangan}	M _{tumpuan}	M _{lapangan}	M _{tumpuan}
Strip Method	1.598	-3.195	0.899	-1.797
Koefisien Momen (PBI 71)	1.615	-3.550	0.942	-2.877
FEM (SAP2000)	2.656	-5.722	1.554	-4.572



Gambar 8. Diagram momen arah y



Gambar 9. Diagram momen arah x

Hasil perbandingan momen tumpuan dan lapangan dengan menggunakan *strip method*, PBI 71, dan FEM dapat dilihat pada Tabel 4 dan secara grafik diagram momen dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Berdasarkan data analisis tersebut, dapat dijelaskan bahwa metode analisis momen dengan menggunakan *strip method* lebih kecil dari metode koefisien momen (PBI 71) dan FEM. Untuk analisis momen menggunakan FEM menghasilkan momen yang lebih besar dari kedua metode yang lainnya. Nilai momen tumpuan dengan menggunakan metode koefisien momen berada di tengah hasil momen tumpuan dari *strip method* dan FEM. Hasil Studi kasus ini memperlihatkan bahwa perencanaan tulangan pada pelat dengan ukuran $l_y = 4$ m dan $l_x = 3$ m menggunakan FEM dengan SAP2000 akan menghasilkan penulangan yang lebih aman. Selisih persentase antara setiap metode dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Selisih perbandingan momen lapangan dan tumpuan

Metode	Selisih Arah X (%)		Selisih Arah Y (%)	
	M lapangan	M tumpuan	M lapangan	M tumpuan
<i>Strip Method</i>	1.10	11.10	4.84	60.08
PBI 71				
FEM (SAP2000)	64.45	61.19	64.94	58.92

5. KESIMPULAN

Dari hasil Studi kasus, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Analisis lendutan pelat $l_y = 4$ m dan $l_x = 3$ m dengan menggunakan *strip method* dan FEM (SAP2000), yaitu 0,255 mm dan 0,412 mm. Hasil ini memperlihatkan bahwa analisis lendutan menggunakan *strip method* lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan FEM.
- b. Analisis momen tumpuan dan lapangan pada pelat $l_y = 4$ m dan $l_x = 3$ m, didapatkan bahwa momen lapangan dengan *strip method* lebih kecil dari metode koefisien momen (PBI 71) dan FEM (SAP 2000). Perencanaan dengan menggunakan FEM (SAP2000) akan memberikan nilai keamanan yang lebih dari metode lainnya.

REFERENSI

- [1]. Badan Standarisasi Nasional, 2002, SNI 03-2847-2002 *Tata Cara Perhitungan Struktur untuk Bangunan Gedung*. Bandung.
- [2]. Timoshenko S dan Woinowsky Krieger S. 1959. *Theory of plate and shells*. 2nd ed. McGraw-Hill, Inc.
- [3]. Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Jakarta.
- [4]. Ugural. 1999. *Stresses in Plates and Shells*. 2nd ed.