

Tinjauan Momen Lentur Pelat Dua Arah dengan Metode Perencanaan Langsung dan Metode Elemen Hingga

Muhammad Fahri¹⁾
Suyadi²⁾
Eddy Purwanto³⁾

Abstract

This research conducted to study and determine the bending moment plate by using the Direct Design Method and Finite Element Method. In the procedure of calculation of concrete structures for buildings, namely SNI 2847 2013 has been set up several plates planning methods one of which is a method of using the Direct Design Method analysis. Finite element method (FEM) is dividing a complex problem into small elements where a simpler solution can be easily obtained. The theory used in plate analysis with the FEM is Kirchhoff-Love theory in which the limits are used specifically for the analysis of thin plates with small deflections by ignoring the transverse shear forces. The program is used by applying the Finite Element Method in this study is a Microsoft Excel as a tool for calculations and modeling program SAP 2000 as a plate structure. From the calculations that the value of deflection and the bending moment on the plate two directions with varying results. From the results obtained show that the static moments of total factored Direct Planning Method and the Finite Element Method showed results equal to each other. Distribution moments on the foundation and interior plate field differently due to direct Planning Method using a great moment coefficients in pedestal while the Finite Element Method using transition stiffness matrix

Keywords: Direct Design Method, Finite Element Method, Two way slab, SAP 2000

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari dan mengetahui momen lentur pelat dua arah dengan Metode Perencanaan Langsung dan Metode Elemen Hingga. Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung yaitu SNI 2847 2013 diatur beberapa metode perencanaan pelat salah satunya Metode Perencanaan Langsung dengan koefisien momen dalam analisisnya. Metode elemen hingga (MEH) membagi masalah yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil dimana solusi yang lebih sederhana dapat diperoleh. Teori yang dipakai pada analisis pelat dengan Metode Elemen Hingga adalah Teori Kirchoff-Love dimana batasan-batasan yang dipakai khusus untuk analisis pelat tipis dengan defleksi kecil dengan mengabaikan gaya geser transversal. Program yang dipakai untuk Metode Elemen Hingga pada penelitian ini adalah *microsoft excel* sebagai alat bantu perhitungan dan program SAP 2000 sebagai pemodelan struktur pelat. Dari perhitungan diperoleh nilai lendutan dan momen lentur pada pelat dua arah dengan hasil bervariasi. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa momen statis total terfaktor dari Metode Perencanaan Langsung dan Metode Elemen Hingga menunjukkan hasil yang saling mendekati. Distribusi momen di tumpuan dan lapangan pelat interior berbeda dikarenakan Metode Perencanaan langsung menggunakan koefisien momen yang besar ditumpuan sedangkan Metode Elemen Hingga menggunakan peralihan matriks kekakuan.

Kata kunci : Metode Perencanaan Langsung, Metode Elemen Hingga, Pelat Dua Arah, SAP 2000

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
surel:muhammadfaherr@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Struktur pelat merupakan struktur planar kaku yang terbuat dari material monolit yang tebalnya kecil dibanding dimensi-dimensi lain. Ketika pelat diberi tegangan yang berasal dari pembebanan maka menghasilkan lendutan dan momen lentur untuk menentukan tebal pelat dan ukuran tulangan. Perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung yaitu SNI 2847 (2013) diatur beberapa metode perencanaan pelat yaitu Metode Perencanaan Langsung. Metode lain yaitu MEH (Metode Elemen Hingga), program yang dipakai adalah SAP 2000 dan *Microsoft Excel*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

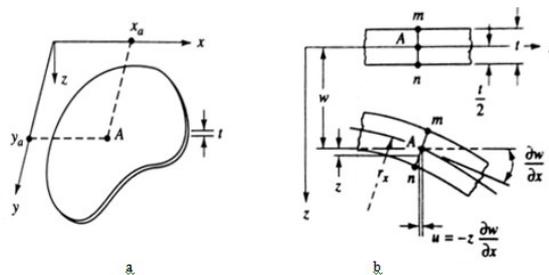
2.1. Konsep Struktur Pelat

2.1.1. Definisi Pelat

Pelat adalah elemen struktur datar yang memiliki ketebalan yang lebih kecil dari dimensi lainnya. Pelat diklasifikasikan menjadi tiga tipe yaitu pelat dengan defleksi kecil, pelat dengan defleksi besar dan pelat tebal (Ugural, 1999).

2.1.2. Perilaku Umum Pelat Datar

Pelat yang tidak dibebani pada yaitu bidang x dan y yang bertepatan dengan tengah bidang dan karenanya defleksi bidang z adalah nol. Komponen dari perpindahan dititik A mengakibatkan arah x , y , dan z secara berurutan diberikan notasi menjadi u , v , dan w . Ketika dalam kaitan dengan beban lateral menimbulkan deformasi pada tengah permukaan yaitu titik $A(x_a, y_a)$ mempunyai defleksi w .



Gambar 1. (a) Pelat dengan Tebal Konstan; (b) Bagian dari Pelat Sebelum dan Sesudah Defleksi.

2.1.3. Kondisi Tepi Pelat

2.1.3.1. Kondisi Tepi Jepit (*built in edge*)

Jika tepi pelat adalah jepit maka defleksi sepanjang tepi adalah nol.

2.1.3.2. Kondisi Tepi Ditumpu Sederhana (*simply supported edge*)

Jika pelat ditumpu sederhana maka defleksi sepanjang tepi adalah nol. Pada waktu yang sama tepi dapat berotasi secara bebas dan tidak ada lentur momen sepanjang tepi.

2.1.3.3. Kondisi tepi bebas (*free edge*)

Jika tepi pelat seluruhnya bebas secara natural diasumsikan sepanjang tepi tidak ada momen lentur dan momen puntir dan juga tidak ada gaya geser vertikal.

2.1.4. Tipe Pelat

Pelat memiliki tipe yang diklasifikasikan berdasarkan rasio bentang terpanjang dan bentang terpendeknya, yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah.

2.1.5. Pembebanan Pelat

2.1.5.1 Beban mati

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat bangunan, termasuk segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan.

2.1.5.2. Beban Hidup

Beban hidup didefinisikan sebagai beban yang terjadi akibat penghuni atau penggunaan suatu gedung dan kedalamannya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang yang berpindah.

2.1.5.3. Kombinasi Pembebanan

Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain dalam SNI 1727 2013 merupakan konsep kombinasi pembebanan antara lain:

- a. $U = 1,4D$
- b. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (A \text{ atau } R \text{ atau } S)$
- c. $U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (A \text{ atau } R \text{ atau } S)$
- d. $U = 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- e. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0E + 0,2s$
- f. $U = 0,9D + 1,0E$
- g. $U = 0,9D + 1,0W$

2.2. Metode Perencanaan Langsung

Batasan-batasan metode perencanaan langsung berdasarkan SNI 2847 2013 pasal 13.6.11. Pada balok tumpuan sederhana momen statis total adalah $M_o = 1/8 Wl^2$ sedangkan untuk momen statis total terfaktor (rencana) untuk panel pelat dua arah suatu bentang ditentukan dalam lajur yang dibatasi oleh sumbu-sumbu pelat yang bersebelahan pada tiap sisi dari sumbu tumpuan.

2.3. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

2.3.1. Konsep Umum Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*finite element*) memperluas metode matriks perpindahan ke analitis kontinum struktural. Kontinum elastis suatu pelat diganti dengan struktur pengganti, yang terdiri dari elemen-elemen diskrit yang saling berhubungan hanya dititik-titik simpul yang bersifat sedemikian rupa hingga kontinuitas tegangan dan perpindahan yang sebenarnya pada pelat bisa didekati oleh perpindahan titik simpul elemen tersebut. Pada masalah pelat, dilakukan dengan membagi kontinum asli menjadi sejumlah elemen pelat, yang dibatasi oleh garis-garis pertemuan yang lurus atau lengkung dan memiliki semua sifat bahan yang sama seperti pelat semula (Slizard, 1974).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan hasilnya berupa angka yang merupakan hasil analisis struktur pelat dengan menggunakan Metode Perencanaan Langsung dan MEH. Pada penelitian analisis pelat ini digunakan program *Microsoft Excel* dan *SAP 2000 Versi14*.

3.2 Data Penelitian

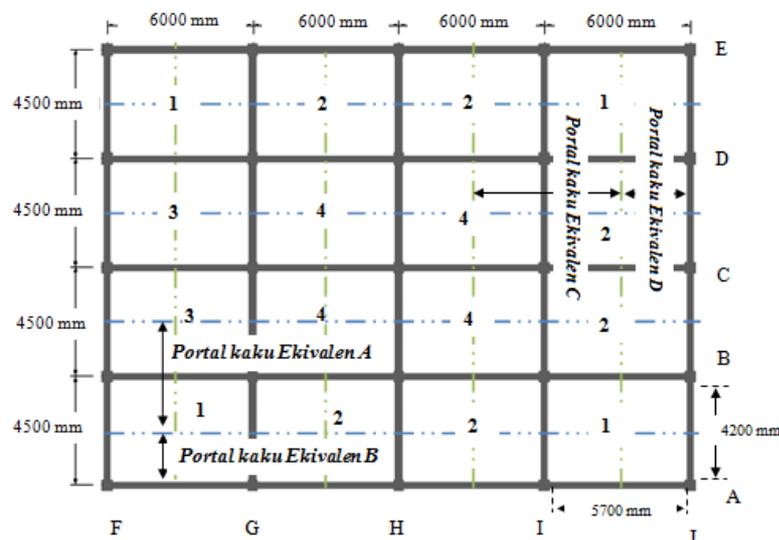
Data yang digunakan akan disesuaikan dengan pedoman SNI 2847 2013. Kemudian didesain struktur bangunan yang terdiri atas pelat, balok dan kolom dengan fokus penelitian adalah analisa struktur pelat.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menyiapkan data, studi literatur dan merencanakan data penelitian sesuai dengan metode yang akan dilakukan yaitu berupa metode perencanaan langsung, metode elemen hingga dan pemodelan struktur dan analisis struktur pelat menggunakan SAP 2000 versi 14.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Perhitungan Pelat Dua Arah dengan Balok menggunakan Metode Perencanaan Langsung



Gambar 2. Denah Pelat Lantai

Terdapat beberapa data spesifikasi teknis pada bangunan yaitu:

Material	: Beton
Mutu beton ($f'c$)	: 25 Mpa (K300)
Modulus elastisitas	: 23500 Mpa
Berat jenis beton	: 2400 kg/m ³
Dimensi balok	: 300 mm x 400 mm
Dimensi kolom	: 400 mm x 400 m

Berikut adalah langkah-langkahnya:

1. Langkah pertama yaitu memeriksa penggunaan metode perencanaan langsung agar syarat- syaratnya terpenuhi.
2. Melakukan pemeriksaan tebal pelat berdasarkan syarat lendutan.
3. Langkah ketiga adalah perhitungan momen statis total terfaktor berupa perhitungan beban rencana, arah memanjang bangunan dan arah melebar bangunan.

4. Menghitung kekakuan struktur pelat, kolom dan balok, nilai kekakuannya sama dikarenakan struktur bangunan yang direncanakan memiliki dimensi yang sama yaitu 400mm x 400 mm.
5. Menghitung distribusi momen memanjang dan melebar bangunan berupa nilai faktor momen untuk distribusi negatif interior dan momen negatif eksterior pada arah memanjang bangunan.
6. Memeriksa tebal pelat berdasarkan syarat geser, hasilnya adalah nilai tebal pelat cukup aman terhadap geser. Setelah diperoleh momen lentur untuk balok T arah memanjang dan balok T arah melebar maka selanjutnya adalah mencari nilai momen lentur balok L arah memanjang dan balok L arah melebar.
7. Menentukan tetapan torsi dari balok transversal, dan dipakai C_b sebagai tetapan torsi dan dari balok transversal arah utara – selatan dengan tetapan torsi arah barat – timur besarnya adalah sama.
8. Menghitung kekakuan struktur pelat, kolom dan balok, pada struktur bangunan yang direncanakan memiliki dimensi yang sama yaitu 400 mm x 400 mm, sehingga nilai kekakuan kolom yang sama pada setiap arah. Langkah kesembilan yaitu perhitungan distribusi momen untuk arah memanjang bangunan dan arah melebar bangunan.
9. Distribusi beban arah memanjang bangunan dan arah melebar bangunan

4.2 Permodelan Struktur dengan Program SAP 2000

a. Klik *New Project*, ubah satuan menjadi KN, m, C dan pilih *template* yaitu *Grid Only*. Koordinat yang dipakai x, y, dan z karena struktur menerapkan portal 3D. Mengisi *Number of Grid Lines* yaitu jumlah baris pada arah x, y dan z. *Grid Spacing* adalah jarak pada struktur yang tertera. Maka akan muncul elemen struktur pada jendela kerja program SAP 2000.

b. Pilih *Define* untuk mendefinisikan material dan *profil frame* untuk kolom, balok serta *area sections* pada pelat rencana. Pada *Materials* muncul jendela *Material Property Data*, pada pilihan 4000psi pilih *modify/show material*, dan penamaan material diubah Beton. Memasukan data-data seperti berat volume, Poisson Ratio, Modulus Elastisitas, mutu beton dan lainnya.

c. Pilih *Define* untuk mendefinisikan pembebanan pada struktur. Pada pilihan *Define Load Patterns* adalah untuk besaran sendiri struktur dan *Load Combination Data* adalah untuk memasukan kombinasi pembebanan.

d. Menggambar elemen batang struktur dengan memilih *Draw Line*. Pada saat menggambar pilih elemen sesuai pada kolom dan balok sehingga secara otomatis SAP 2000 akan memasukan data kolom dan balok yang sudah dipilih. Pada tumpuan kolom yang dipakai adalah jepit maka klik semua kolom dan pilih *Assign, Joint, Restraints* dan pilih tumpuan jepit.

e. Menggambar elemen bidang pada pelat dengan memilih *Draw Rectangular Area Element* dan secara otomatis ketika klik bidang pelat akan terdefinisi sebagai elemen pelat.

f. Bagian terpenting dari perencanaan pelat pada program SAP 2000 adalah pembentukan *mesh* dengan memilih *Edit*, *Edit Areas* dan *Devide Areas*. Maka akan terlihat template *Devide Selected Areas*. Selanjutnya kita bisa mengatur berapa banyak jumlah elemen yang diinginkan dengan pilihan *Devide Area Into The Nnumber of Objects*.

g. Memasukan beban pada struktur sesuai dengan perencanaan yaitu beban mati sebesar 3,42 kN/m dan beban hidup sebesar 3 kN/m pada arah transversal merata pada permukaan pelat.

h. Menganalisis struktur dengan memilih *Analyze*, *Set Analyze Option* dan pilih analisis *Space Frame*. Kemudian pilih *Analyze*, *Run Analysis* dan *Run*. Maka akan terlihat hasil deformasi dari analisis dengan SAP 2000.

Metode Perencanaan Langsung dan Program SAP 2000 pada struktur pelat mengalami perbedaan pada hasil Momen Lentur dikarenakan :

a. Penggunaan program SAP 2000 dihitung dengan menggunakan elemen-elemen kecil yang mendekati struktur aslinya, sehingga faktor-faktor kesalahan yang terjadi sangat kecil, dibanding terhadap Metode Perencanaan langsung yang menggunakan koefisien-koefisien momen dimana faktor pembulatan angka desimal sangatlah mempengaruhi dalam perhitungan momen yang menyebabkan faktor kesalahan menjadi besar.

b. Pada perhitungan dengan menggunakan Metode Perencanaan Langsung tidak memperhatikan kondisi struktur secara keseluruhan (*boundary condition diabaikan*) tetapi perlintai, sehingga menghasilkan gaya dalam yang kurang memadai dan akan semakin menjauhi eksaknya.

c. Pada program SAP 2000 perencanaan konstruksi, dengan melihat kondisi struktur secara keseluruhan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya sehingga menghasilkan nilai yang mendekati nilai real nya. Hal ini dapat dibuktikan pada perencanaan penulis untuk pelat secara parsial dengan menggunakan SAP 2000 dibandingkan dengan metode pendekatan grafik pelat bertumpuan jepit dengan beban merata diseluruh permukaan pelat.

d. Perencanaan Momen Lentur pelat dengan menggunakan Metode Perencanaan Langsung akan menghasilkan lentur yang pelat yang lebih besar dibandingkan dengan Program SAP 2000, sehingga dalam pelaksanaannya menjadi tidak ekonomis.

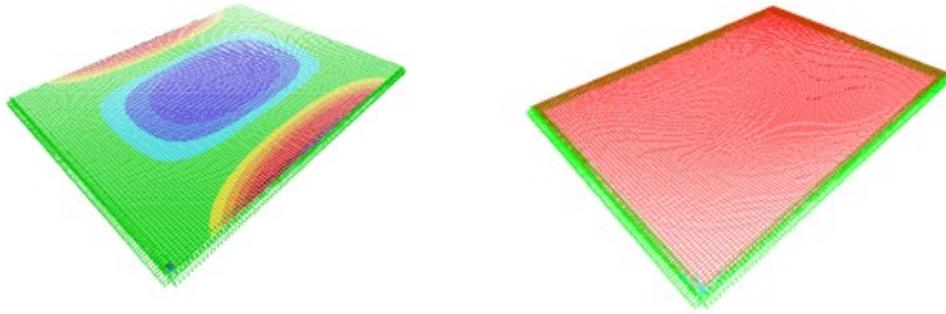
4.3 Analisa Perhitungan Pelat Dua Arah menggunakan Metode Pendekatan Grafik dan SAP 2000

Data struktural pelat yang ditinjau antara lain:

Tebal palat	:0,13 m
Berat volume	:2400 kg/m ³
Modulus elastisitas	:23500 Mpa
Beban pada pelat	:3 kN/m ²
ν (Poisson Ratio)	: 0,2

Pada kasus ini pelat yang ditinjau adalah panel 4 dengan semua tumpuan adalah jepit. Sisi bentang terpanjang adalah 6 m & bentang terpendek 4,5 m. Metode elemen hingga hanya dibatasi untuk mengetahui momen lentur pada pelat tidak meninjau struktur balok dan kolom struktur.

Perhitungan lendutan dan momen lentur pelat dengan semua tumpuan jepit dengan pendekatan grafik dan didapatkan hasil 1,5084 dan 3,9667 untuk lendutannya.



Gambar 3. Momen Lentur dan Lendutan Pelat Elemen Segiempat

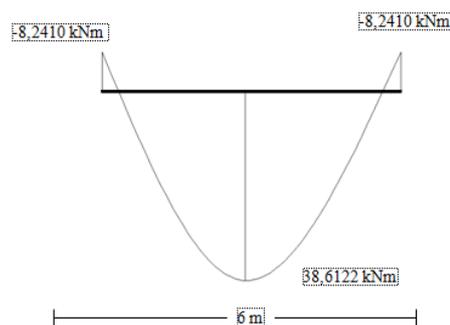
4.4 Analisa Perhitungan Pelat Dua Arah menggunakan Metode Elemen Hingga dengan Microsoft Excel

Sebelum menggunakan Metode Elemen Hingga maka harus diidentifikasi jenis pelat terlebih dahulu. Pada pelat yang akan dianalisis menggunakan Metode Elemen Hingga memiliki batasan-batasan menurut teori Khirchoff-Love sebagai berikut :

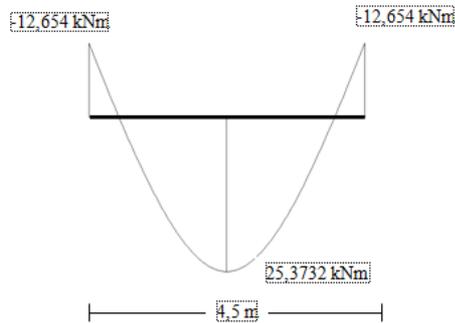
- material adalah Elastis, Homogen dan Isotropis.
- pelat tipis dengan defleksi bidang tengah kecil
- Tebal pelat relatif kecil dibandingkan dengan dimensi lainnya. Dimensi lateral terkecil pada pelat paling sedikit sepuluh kali lebih besar daripada ketebalannya.

Besarnya tegangan yang lurus bidang pusat sangat kecil sehingga bisa diabaikan. Banyak dari anggapan ini terkenal karena seperti balok dasar. Pengujian dengan skala kecil dan besar telah membuktikan berlakunya anggapan-anggapan tersebut (Szilard, 1974).

Tahap-tahap pengerjaan MEH struktur pelat adalah memodelisasi dan membagi struktur menjadi elemen-elemen yang lebih kecil (dikritisasi) dan pemberian penamaan, memodelkan dan mendefinisikan pembebanan pada struktur pelat, menghitung matriks kekakuan segiempat, mencari nilai lendutan pada persamaan kekakuan akhir untuk kuadran pelat dan didapat nilai sebesar 6,4552 mm, nilai rotasi untuk arah x dan y masing-masing sebesar 0,004176 dan -0,004765.



Gambar 4. Momen Lentur Pelat Memanjang Metode Elemen Hingga



Gambar 5 Momen Lentur Pelat Melebar Metode Elemen Hingga

4.5. Hasil Momen Lentur pada Struktur Pelat dengan Metode Perencanaan Langsung dan Metode Elemen Hingga

Setelah dilakukan analisis maka didapatkan hasil momen lentur struktur pelat dari metode Perencanaan Langsung, Metode Elemen Hingga, Metode Pendekatan Grafik dan SAP 2000. Perbedaan-perbedaan pada hasil analisis Metode Elemen Hingga, Metode

Pendekatan Grafik dan Program SAP 2000 disebabkan karena :

- Pada Metode Elemen Hingga secara manual dengan *Microsoft Excel* menerapkan teori *Kirchhoff-Love* dimana hanya berlaku untuk pelat tipis, tidak ada pengaruh mutu baja (f_y), dan mengabaikan deformasi geser transversal disemua sumbu, Deformasi lendutan w dan rotasi β dianggap linier.
- Pada program SAP 2000 sudah menerapkan teori *Reissner-Mindlin* dimana perhitungan analisis sudah kompleks. Pelat didesain untuk tidak mengabaikan deformasi geser transversal, ada pengaruh vibrasi, lendutan w dan rotasi β akibat beban bisa terjadi bilinear. Sehingga nilai sudah dipastikan mendekati nilai pendekatan grafik.
- Pada Metode Elemen Hingga secara manual, penyajian jumlah elemen hanya dibatasi pada 4 elemen kuadrilateral dengan elemen yang paling mendekati yaitu elemen MITC. Jelas bahwa banyaknya jumlah elemen sangat berpengaruh pada hasil akhir pada analisis.

Tabel 1. Perbandingan Momen Pelat Portal B dan D dengan Metode Perencanaan Langsung dan Analisis SAP 2000

Keterangan Momen Pelat	Metode Perencanaan Langsung			
	Arah Melebar		Arah Memanjang	
	Momen Negatif tumpuan Interior (kNm)	Momen Bentang Positif Interior (kNm)	Momen Negatif tumpuan Interior (kNm)	Momen Bentang Positif Interior (kNm)
Momen Pelat Jalur Kolom	-7,4656	4,0199	-13,0893	7,0481
Momen Pelat Jalur Tengah	-26,7995	14,4305	-18,5101	9,967
Analisis SAP 2000				
Keterangan Momen Pelat	Arah Melebar		Arah Memanjang	
	Momen Negatif Tumpuan Interior (kNm)	Momen Bentang Positif Interior (kNm)	Momen Negatif Tumpuan Interior (kNm)	Momen Bentang Positif Interior (kNm)
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
Momen Pelat Jalur Kolom	-5,4001	3,7056	-10,8882	5,8653
Momen Pelat Jalur Tengah	-8,2744	8,5072	-11,4076	6,5591
Selisih Nilai Momen Lentur				
Momen Pelat Jalur Kolom	-2,0656	0,3143	-2,2011	-1,1828
Momen Pelat Jalur Tengah	-18,5251	5,9233	-7,1025	-3,4079

Tabel 2. Perbandingan momen pelat untuk portal A dan C dengan Metode Perencanaan Langsung dan Analisis SAP 2000

Keterangan Momen Pelat	Metode Perencanaan Langsung					
	Arah Melebar			Arah Memanjang		
	Momen Negatif tumpuan Eksterior (kNm)	Momen Positif Bentang Interior (kNm)	Momen Negatif Tumpuan Interior (kNm)	Momen Negatif Tumpuan Interior (kNm)	Momen Positif Bentang Interior (kNm)	Momen Negatif Tumpuan Interior (kNm)
Momen Pelat Jalur Kolom	-1,9945	6,5467	-8,0398	-3,5012	11,4783	-14,0961
Momen Pelat Jalur Tengah	-5,5507	23,5011	-28,8609	-2,6947	16,2319	-19,9339
Analisis SAP 2000						
Keterangan Momen Pelat	Arah Melebar			Arah Memanjang		
	Momen Negatif Tumpuan Eksterior (kNm)	Momen Positif Bentang Interior (kNm)	Momen Negatif Tumpuan Interior (kNm)	Momen Negatif Tumpuan Eksterior (kNm)	Momen Positif Bentang Interior (kNm)	Momen Negatif Tumpuan Interior (kNm)
	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
Momen Pelat Jalur Kolom	-0,8312	3,306	-7,9778	-3,1001	7,645	-11,7793
Momen Pelat Jalur Tengah	-4,1408	10,3803	-16,6192	-1,3052	10,3644	-11,7914
Selisih Nilai Momen Lentur						
Momen Pelat Jalur Kolom	-1,1633	3,2407	-0,0626	-0,4012	3,8333	-2,3168
Momen Pelat Jalur Tengah	-1,4099	13,1208	-12,2417	-1,3895	5,8675	-8,2025

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pembahasan untuk menganalisis pelat dua arah dengan Metode Perencanaan Langsung dan Metode Elemen Hingga menggunakan program SAP2000 dan *Microsoft Excel* maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan program SAP 2000 akan lebih baik karena didalam penggunaannya struktur pelat yang dihitung dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang mendekati struktur aslinya, sehingga faktor kesalahan yang terjadi menjadi sangat kecil, dibanding terhadap Metode Perencanaan Langsung yang menggunakan koefisien momen dimana faktor pembulatan angka desimal sangat mempengaruhi dalam perhitungan momen yang menyebabkan faktor kesalahan menjadi semakin besar.

2. Perencanaan momen lentur pelat dengan menggunakan Metode Perencanaan Langsung akan menghasilkan momen lentur yang cukup besar dibandingkan dengan program SAP 2000, sehingga dalam pelaksanaannya menjadi tidak efisien dan ekonomis. Perhitungan dengan menggunakan Metode Perencanaan Langsung tidak memperhatikan kondisi struktur secara keseluruhan tetapi lantai perlintai, sehingga menghasilkan gaya dalam yang kurang memadai dan semakin menjauhi hasil nilai aslinya. Pada program SAP2000 perencanaan konstruksi dengan melihat kondisi struktur secara keseluruhan sesuai dengan keadaan sebenarnya sehingga mendekati nilai eksaknya.

3. Pada analisis pelat dengan menggunakan Metode Perencanaan Langsung, Metode Elemen Hingga dengan 4 elemen kuadrilateral, pada program SAP 2000 memiliki nilai momen lentur.

4. Pada analisis pelat dengan menggunakan Metode Perencanaan Langsung, Metode Elemen Hingga dengan 4 elemen kuadrilateral, pada program SAP 2000 memiliki nilai lendutan.

5. Nilai-nilai lendutan dan momen lentur bisa berbeda pada setiap metode dikarenakan pada Metode Elemen Hingga menerapkan teori *Kirchhoff-Love* dimana hanya berlaku untuk pelat tipis dan mengabaikan deformasi geser transversal disemua sumbu, deformasi lendutan w dan rotasi β dianggap linier, tidak ada pengaruh vibrasi pada pelat.

6. Semakin banyak jumlah elemen yang digunakan maka nilai lendutan akan semakin mendekati nilai real pada perhitungan pendekatan grafik, hal ini dapat dibuktikan pada percobaan penulis untuk membandingkan jumlah elemen kuadrilateral pada struktur pelat secara parsial di program SAP 2000.

7. Dalam menentukan banyaknya *mesh* pada struktur pelat dua arah dengan program SAP 2000 minimal memiliki 64 elemen segiempat agar pada setiap pelat agar kesalahan yang terjadi dibawah 5 %.

Tabel 3. Perbandingan Momen Lentur Metode Perencanaan Langsung dan Metode Elemen Hingga di Jalur Tengah Balok T

Jalur Kolom	Momen Lentur Metode Perencanaan Langsung (kNm)		Momen Lentur Metode Elemen Hingga (kNm)		Momen Lentur Metode Pendekatan Grafik (kNm)		Momen Lentur SAP 2000 (kNm)	
	Arah Memanjang	Arah Melebar	Arah Memanjang	Arah Melebar	Arah Memanjang	Arah Melebar	Arah Memanjang	Arah Melebar
	Balok L Momen Negatif Eksterior	-3,5012	-1,9945	-	-	-	-	-
Balok L Momen Positif eksterior	11,4783	6,5467	-	-	-	-	-	-
Balok L Momen Negatif Interior	-14,0961	-8,0398	-	-	-	-	-	-
Balok L Momen Negatif Interior	-13,0893	-7,4656	-	-	-	-	-	-
Balok T Momen Positif Interior	7,0481	4,0199	-	-	-	-	-	-
Balok T Momen Negatif Interior	-13,0893	-7,4656	-	-	-	-	-	-

Jalur Tengah	Momen Lentur Metode Perencanaan Langsung (kNm)		Momen Lentur Metode Elemen Hingga (kNm)		Momen Lentur Metode Pendekatan Grafik (kNm)		Momen Lentur SAP 2000 (kNm)	
	Arah Memanjang	Arah Melebar	Arah Memanjang	Arah Melebar	Arah Memanjang	Arah Melebar	Arah Memanjang	Arah Melebar
	Balok L Momen Negatif Eksterior	-2,6947	-5,5507	-	-	-	-	-
Balok L Momen Positif eksterior	16,2319	23,5011	-	-	-	-	-	-
Balok L Momen Negatif Interior	-19,9339	-28,8609	-	-	-	-	-	-
Balok L Momen Negatif Interior	-18,5101	-26,7995	-12,2507	-8,1204	-12,621	-10,0971	-10,5803	-5,9514
Balok T Momen Positif Interior	9,967	14,4305	18,8725	32,3719	6,1304	3,9667	12,3657	9,1255
Balok T Momen Negatif Interior	-18,5101	-26,7995	-12,2507	-8,1204	-12,621	-10,0971	-10,5803	-5,951

Tabel 4. Perbandingan Lendutan dari Metode Elemen Hingga, Metode Perencanaan Langsung, Metode Pendekatan Grafik dan SAP 2000

Lendutan Lajur Tengah	Lendutan Metode Perencanaan Langsung (mm)	Lendutan Metode Elemen Hingga (mm)	Lendutan Metode Pendekatan Grafik (mm)	Lendutan Momen SAP 2000 (mm)
Balok T	1,5910	6,0332	1,5084	1,89

DAFTAR PUSTAKA

- Slizard. 1974. “*Teori dan Analisis Pelat Metode Klasik dan Numerik*”. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- SNI 1727, 2013. *Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03 2847, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Ugural. 1999. *Stresses in Plates and Shells*. Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc.