

ANALISIS PELAT BERLUBANG DENGAN APLIKASI METODE ELEMEN HINGGA EAoSM DAN SAP 2000 (*SHELL MULTILAYERED MESH ELEMENTS*)

Tukbagus Rahmat Wijaya¹⁾, Fachriza Noor Abdi²⁾, Budi Haryanto³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9
Kampus Gunung Kelua, Samarinda (75119), Indonesia

Email : tukbagusrahmatw@gmail.com¹

²⁾ Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9
Kampus Gunung Kelua, Samarinda (75119), Indonesia

Email: fnabdi@ft.unmul.a.id²

³⁾ Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl.Sambaliung No.9
Kampus Gunung Kelua, Samarinda (75119), Indonesia

Email: budiharyanto7951@gmail.com³

ABSTRAK

Pelat beton bertulang adalah suatu struktur beton bertulang tipis dengan bidang horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus terhadap bidang struktur tersebut.. Pelat beton bertulang mempunyai berbagai macam bentuk, contohnya pelat beton yang mempunyai lubang di tengahnya. Dengan terdapatnya lubang pada pelat yang mengakibatkan berkurangnya kapasitas pelat untuk menahan beban, untuk memudahkan mencari nilai momen dan lendutan pada pelat berlubang maka dilakukan analisis lendutan dan momen menggunakan aplikasi metode elemen hingga EAoSM dan SAP 2000. Hasil analisis dari penelitian ini yaitu, pada pelat lingkaran berlubang dan pelat persegi berlubang menggunakan program EAoSM dan SAP 2000 menunjukkan bahwa untuk lendutan maksimum yang terjadi pada bagian tengah pelat, lebih kecil dibandingkan dengan lendutan yang diijinkan. Serta hasil dari pemeriksaan kapasitas momen lentur nominal atau momen lentur ultimat yang diizinkan pada pelat beton didapatkan sebesar 217,02 kN.m, lebih besar dibandingkan dengan momen lentur yang dari hasil analisis menggunakan program EAoSM dan SAP 2000.

Kata kunci: Analisis Elemen Hingga, Pelat berlubang, EAoSM, SAP 2000, Lendutan, Momen Lentur, Tumpuan Sendi dan Jepit

ABSTRACT

A reinforced concrete slab is a flat and thin construction made of reinforced concrete. It is designed to withstand perpendicular loads acting on a horizontal plane. Reinforced concrete slabs come in a variety of shapes and sizes. Some are perforated. The presence of these holes reduces the plate's load-bearing capacity. To simplify the determination of moment and deflection values for perforated plates, deflection and moment analysis is conducted using the finite element method, utilizing EAoSM and SAP 2000. The analysis results of this study show that the maximum deflection occurring at the center of the perforated circular and square plates, as determined by the EAoSM and SAP 2000 programs, is within the allowable limits. The investigation revealed a capacity of 217.02 kN.m for allowable nominal and ultimate bending moments in the concrete slab, which exceeds the bending moment determined from the EAoSM and SAP 2000 analysis results. Technical abbreviations are defined on first use.

Keywords: Finite Element Analysis, Plate with hole, EAoSM, SAP 2000, Deflection, Bending Moment, Fixed and Simply Support

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelat beton bertulang adalah suatu struktur beton bertulang tipis dengan bidang horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus terhadap bidang struktur tersebut. Pelat beton mempunyai peranan yang penting

pada struktur bangunan contohnya pada industri petrokimia, pelat beton berperan sebagai tempat diletakkannya peralatan-peralatan industri.

Pelat beton bertulang sendiri mempunyai berbagai macam bentuk, contohnya terdapat lubang di tengah bentang pelat. Dengan terdapatnya bukaan atau lubang

pada pelat yang mengakibatkan berkurangnya kapasitas pelat untuk menahan beban, oleh karena itu untuk memudahkan mencari nilai momen dan lendutan pada pelat berlubang maka dilakukan analisis lendutan dan momen menggunakan aplikasi metode elemen hingga EAoSM dan SAP 2000.

Metode elemen hingga menggunakan program, EAoSM yaitu sebuah program aplikasi komputer untuk menganalisa suatu struktur beton bertulang yang diidealisasi sebagai struktur multilapis (lapisan beton dan lapisan baja tulangan), yang berdasarkan analisis metode elemen hingga dengan model elemen hingga multilapis kuadrilateral 8 Nodal. Untuk SAP 2000 sendiri suatu program analisis struktur berbasis metode elemen hingga di mana struktur balok, pelat, atau kolom diidealisasikan sebagai elemen frame. Dengan menggunakan program komputer SAP 2000 dan EAoSM, pada penelitian ini akan digunakan dalam menganalisa struktur pelat berlubang.

Pelat beton bertulang adalah suatu struktur beton bertulang tipis dengan bidang horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus terhadap bidang struktur tersebut. Pelat beton mempunyai peranan yang penting pada struktur bangunan contohnya pada industri petrokimia, pada unit cooling water intake structural pelat beton berperan sebagai tempat diletakkannya peralatan-peralatan seperti mesin pompa, dan pipa air laut yang berfungsi mengambil air laut dan ditampung ke dalam unit cooling water intake structure.

Pelat beton sendiri mempunyai berbagai macam bentuk dengan menyesuaikan hasil desain dan kebutuhan contohnya pada industri petrokimia pelat beton mempunyai lubang di tengahnya yang berfungsi sebagai tempat saluran pipa. Dengan terdapatnya bukaan atau lubang pada pelat yang akan mempengaruhi lendutan dan momen lentur, untuk mencari nilai tersebut dilakukan analisis lendutan dan momen lentur menggunakan aplikasi metode elemen hingga EAoSM dan SAP 2000

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara menganalisa lendutan pada plat beton berlubang menggunakan aplikasi metode elemen hingga EAoSM dan SAP 2000?
2. Bagaimana cara menganalisa momen pada pelat beton berlubang menggunakan aplikasi metode elemen hingga EAoSM dan SAP 2000?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui nilai lendutan pada plat beton berlubang menggunakan aplikasi metode elemen hingga EAoSM dan SAP 2000.
2. Untuk mengetahui momen lentur pada pelat beton berlubang menggunakan aplikasi metode elemen hingga EAoSM dan SAP 2000.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pelat

Menurut Asroni (2017), pelat beton bertulang adalah suatu struktur beton bertulang tipis dengan bidang horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus terhadap bidang struktur tersebut. Ketebalan bidang pelat ini relatif sangat kecil dibandingkan dengan bentang panjang/lebar bidangnya. Pelat beton bertulang ini sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada bangunan pelat ini berfungsi sebagai membran/pengaku horizontal, yang sangat berguna untuk menopang kekakuan balok portal.

2.2. Metode Elemen Hingga

Menurut Nasution (2010), metode elemen hingga merupakan cara numerik dalam menyelesaikan masalah dalam ilmu rekayasa dan matematika fisis. Cakupan penyelesaian dari kedua masalah ini berupa analisis struktur, transfer panas, aliran fluida, transportasi massa, dan potensial elektromagnetik. Sebagaimana sebutan elemen hingga, analisis metode elemen hingga didasarkan pada representasi badan atau sistem struktur yang di rakit dari elemen-elemen badan/sistem.

2.3. Program EAoSM

Menurut Abdi (2001), program EAoSM (Elastic Analysis of Slab Multilayered) adalah sebuah program aplikasi komputer untuk menganalisa suatu struktur beton bertulang yang diidealisasi sebagai struktur multilapis (lapisan beton dan lapisan baja tulangan), yang berdasarkan analisis metode elemen hingga dengan model elemen hingga multilapis kuadrilateral 8 Nodal.



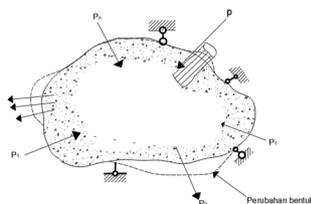
Gambar 1 Tampilan saat membuka program EAoSM (Sumber : Abdi, 2001)

2.4. SAP 2000

SAP 2000 adalah software teknik sipil yang digunakan untuk menganalisa struktur bangunan dan telah dipakai secara luas di seluruh dunia. Program ini merupakan hasil penelitian dan pengembangan tim yang dipimpin oleh Profesor Edward L. Wilson dari University of California selama lebih dari 25 tahun (Sholeh, 2021). Untuk lebih mendalamnya SAP 2000 suatu program analisis struktur berbasis metode elemen hingga di mana struktur balok, pelat, atau kolom diidealisasikan sebagai elemen frame. Program analisa struktur ini menyediakan beberapa standar perencanaan Internasional. Contohnya saja seperti ACI 318, Eurocode, AASHTO dan beberapa standard yang lain untuk material beton. Sedangkan untuk material, SAP 2000 menyediakan standard AISC, UBC, Eurocode dan juga beberapa standard lain (Casita dan Komara, 2021)

2.5. Teori Elastisitas

Menurut Szilard (1974) teori elastisitas merupakan cabang yang penting dari fisika matematis, yang mengkaji hubungan antara gaya, perpindahan, tegangan, dan regangan dalam benda elastis. Bila suatu benda pejal dibebani oleh gaya luar, benda tersebut akan berubah bentuk/berdeformasi seperti pada Gambar 2, sehingga timbul tegangan dan regangan dalam perubahan bentuk ini tergantung pada konfigurasi geometris dari benda tersebut dan pada sifat mekanis bahannya. Dalam teori elastisitas, dibatasi pembahasan hanya pada bahan yang elastis linear yaitu, keadaan di mana hubungan antara tegangan dan regangan bersifat linear, dan perubahan bentuk serta tegangan akan hilang bila gaya luar dihilangkan. Selain itu, teori elastisitas klasik menganggap bahan bersifat homogen dan isotropik dengan demikian, sifat mekanis bahan sama dalam segala arah. Walaupun bahan-bahan struktural tidak tepat memenuhi semua anggapan ini, pengujian menunjukkan bahwa untuk struktur baja, misalnya, teori elastisitas memberikan hasil dengan ketepatan yang tinggi, asalkan tegangannya *mash* berada di bawah titik leleh (yield point).



Gambar 2 Perubahan suatu benda elastis terhadap gaya luar

2.6. Kontrol Defleksi

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

Tabel 1 Lentutan Izin Maksimum yang Dihitung (SNI 2847:2013)

Jenis Komponen Struktur	Lentutan yang Diperhitungkan	Batas Lentutan
Atap datar yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lentutan seketika akibat beban hidup L	$\frac{l}{180}$
Lantai yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lentutan seketika akibat beban hidup L	$\frac{l}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup)	$\frac{l}{480}$
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lentutan seketika akibat penambahan beban hidup)	$\frac{l}{240}$

2.7. Kontrol Kapasitas Pelat

Menurut Priyosulistyo (2020), kontrol kapasitas dan tulangan yang digunakan pada pelat sama halnya seperti pada balok yaitu :

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f'c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \dots \dots \dots (2.1)$$

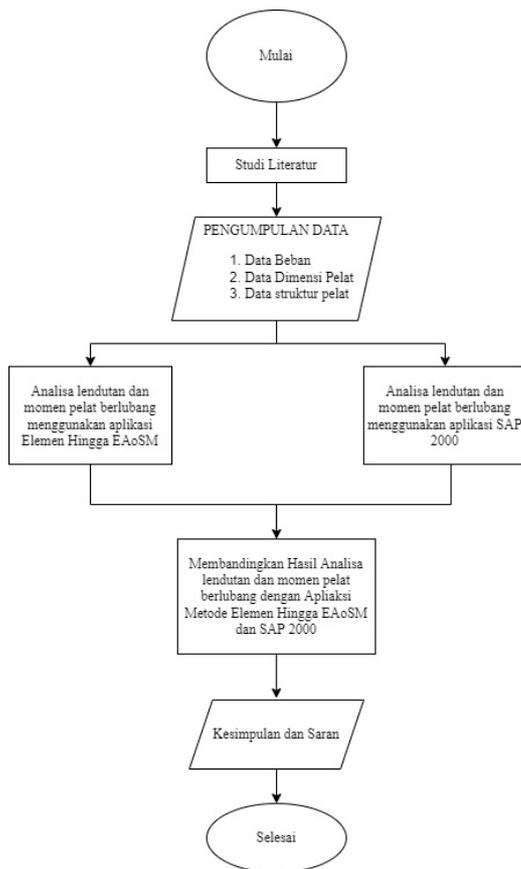
$$a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 \cdot f'c' \cdot b) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$M_n = T \left(d \times \frac{a}{2} \right) = C \left(d \times \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d \times \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$M_r = M_n \geq M_u \dots \dots \dots (2.4)$$

3. Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

3.1 Pengumpulan data

1. Data Beban

Beban beton bertulang = 24 kN/m³
 Beban hidup merata(pabrik), = 11,97 kN/m²

2. Data Dimensi Pelat

Pada penelitian kali ini direncanakan dimensi pelat persegi berukuran 5 meter x 5 meter dengan dimensi lubang/bukaan di tengahnya berdiameter 2 meter dan pelat berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter 6 meter dan dimensi lubang/bukaan di tengahnya berukuran 2 meter. Untuk ketebalan pelat direncanakan 20 cm.

3. Data Spesifikasi Bahan Struktur Pelat

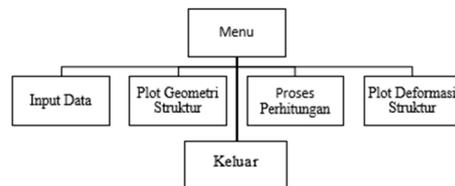
Pada penelitian kali ini data struktur pelat direncanakan seperti berikut:

1. Kuat tekan beton (F_c') sebesar 30 Mpa
2. Mutu baja tulangan F_y sebesar 390 Mpa.
3. Diameter tulangan yang digunakan (D) = 16 mm
4. Modulus Elastis beton, E = 4700 √F_c' = E = 4700 √30 = 25.743 Mpa dengan angka Poisson, ν = 0,2
5. Modulus Elastis baja tulangan, E = 200.000 Mpa dengan angka Poisson, ν = 0,3

3.2 Analisa Lendutan dan Momen Plat Berlubang

1. Analisa Menggunakan Program Aplikasi EAoSM

Pada analisa lendutan dan momen plat berlubang menggunakan program aplikasi elemen hingga EAoSM memerlukan data input yang terdiri dari data control, data kompatibilitas dan intensitas beban elemen, data koordinat titik nodal, data kekekangan, data jenis lapasian, data property material, dan data beban. Data input untuk program EAoSM dibuat dengan format .txt. Bagan proses perhitungan hingga mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu displacement, momen lentur dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Bagan Program EAoSM

2. Analisa Menggunakan Program Aplikasi SAP 2000

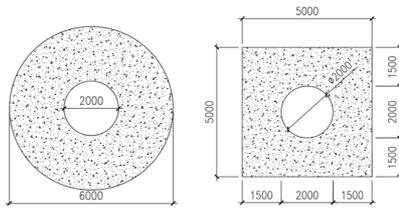
Dalam analisa plat berlubang menggunakan program SAP 2000 disimulasikan model plat berlubang. Adapun tahapan pemodelan untuk menganalisa lendutan dan momen lentur struktur plat menggunakan SAP 2000 Versi 22 antara lain:

1. Membuat grid pemodelan pelat

2. Menentukan material dan penampang pelat
3. Menggambar objek pelat
4. Mendefinisikan pembebanan dan memasukan data beban
5. Melakukan analisis struktur

4. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian kali ini dimensi pelat persegi berukuran 5 meter x 5 meter dengan dimensi lubang/bukaan di tengahnya berdiameter 2 meter dan pelat berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter 6 meter. Untuk dimensi lubang/bukaan di tengahnya berukuran 2 meter.

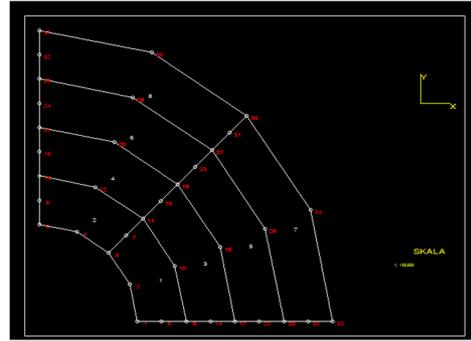


Gambar 5 Dimensi Pelat Beton Berlubang

4.1 Analisis Pelat Beton Berlubang dengan Program EAoSM

1. Pelat Lingkaran

Analisa lendutan (*displacement*) dan momen lentur pada pelat berlubang yaitu dilakukan pada struktur pelat beton bertulang dengan bentuk lingkaran yang diberikan beban merata akibat berat sendiri pelat dan beban hidup pelat sebesar 16.68 kN/m. Material properti data untuk pelat terdiri dari modulus elastisitas beton, $E = 25.743.000 \text{ kN/m}^2$ dengan angka Poisson, $\nu = 0,2$ dan modulus elastisitas baja tulangan, $E = 200.000.000 \text{ kN/m}^2$ dengan angka Poisson, $\nu = 0,3$. Tumpuan pada pelat lingkaran berlubang pada penelitian kali ini didukung dengan jepit sempurna dan sendi pada bagian luar lingkaran. Analisis dilakukan dengan 8 elemen untuk seperempat bagian pelat dengan pola jaringan elemen seperti Gambar 6. Hasil Analisis dari pelat beton berlubang dengan bentuk lingkaran menggunakan program EAoSM dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3 serta lendutan maksimum dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

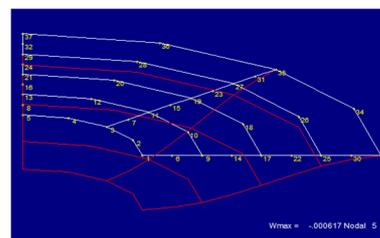


Gambar 6 Bentuk Jaringan Elemen Seperempat Pelat Lingkaran

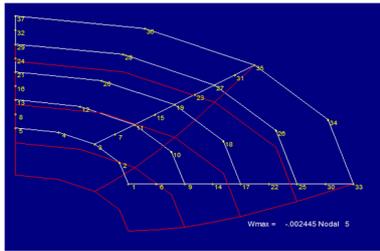
Tabel 2 Tabel Hasil Analisa Lendutan Pada Pelat Lingkaran Dengan Tumpuan Jepit dan Sendi

Pelat Lingkaran Dengan Tumpuan Jepit			Pelat Lingkaran Dengan Tumpuan Sendi		
Nomor Nodal	Jarak (m)	Lendutan (mm)	Nomor Nodal	Jarak (m)	Lendutan (mm)
37	1	0	37	1	0
32	1,25	0,046	32	1,25	0,45
29	1,5	0,122	29	1,5	0,89
24	1,75	0,227	24	1,75	1,29
21	2	0,338	21	2	1,67
16	2,25	0,437	16	2,25	1,96
13	2,5	0,528	13	2,5	2,2
8	2,75	0,582	8	2,75	2,3
5	3	0,616	5	3	2,445

(Sumber: Hasil perhitungan menggunakan aplikasi EAoSM)



Gambar 7 Hasil Analisa Lendutan Bentuk Lingkaran Dengan Tumpuan Jepit



Gambar 8 Hasil Analisa Lendutan Bentuk Lingkaran Dengan Tumpuan Sendi

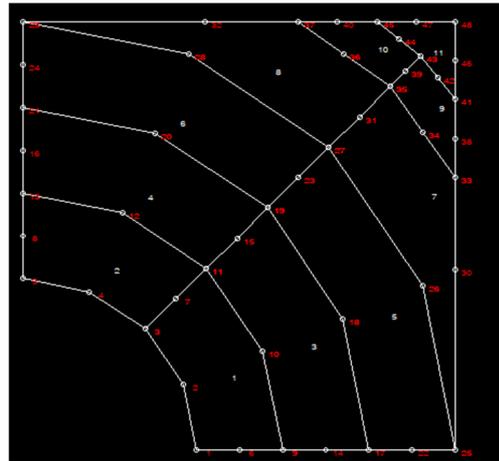
Tabel 3 Tabel Analisa Momen Pada Pelat Lingkaran Berlubang

Pelat Lingkaran Berlubang			
Tumpuan	Arah Momen	Nilai momen(kN.m)	No. Nodal
Sendi	XZ-Momen	12,21	2
	YZ-Momen	14,33	4
Jepit	XZ-Momen	18,867	34
	YZ-Momen	18,538	36

(Sumber: Hasil perhitungan menggunakan aplikasi EAoSM)

2. Pelat Persegi

Analisa selanjutnya yaitu analisa lendutan (*displacement*) dan momen lentur yang dilakukan pada struktur pelat beton bertulang dengan bentuk persegi empat dengan lubang dibagian tengah pelat berbentuk lingkaran. Pada pelat beton bertulang persegi diberi beban vertical merata akibat berat sendiri pelat dan beban hidup pelat sebesar 16,68 kN/m². Material properti data untuk pelat terdiri dari modulus elastisitas beton, $E=25.743.000$ kN/m² dengan angka Poisson, $\nu = 0,2$ dan modulus elastisitas baja tulangan, $E = 200000000$ kN/m² dengan angka Poisson, $\nu = 0,3$. Tumpuan pada pelat persegi didukung dengan jepit sempurna dan sendi pada bagian 4 sisi pelat persegi. Analisis dilakukan dengan 11 elemen untuk seperempat bagian pelat dengan pola jaringan elemen seperti Gambar 9. Hasil Analisis dari pelat beton berlubang dengan bentuk lingkaran menggunakan program EAoSM dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 serta lendutan maksimum dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 9 Jaringan Elemen Seperempat Pelat

Tabel 4 Hasil Analisa Lendutan Pada Pelat Persegi Dengan Tumpuan Jepit

Pelat Persegi Dengan Tumpuan Jepit			
No. Nodal	Jarak (m)	Lendutan (m)	Lendutan (mm)
29	1	0	0,000
24	1,25	0,00005125	0,051
21	1,5	0,0001189	0,119
16	1,75	0,0001871	0,187
13	2	0,000247	0,247
8	2,25	0,0002779	0,278
5	2,5	0,000293	0,293

(Sumber: Hasil perhitungan menggunakan aplikasi EAoSM)

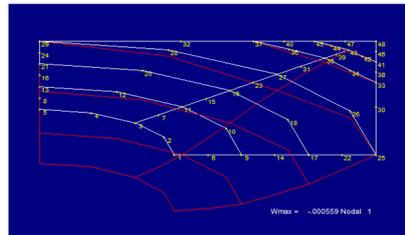
Tabel 5 Hasil Analisa Lendutan Pada Pelat Persegi Dengan Tumpuan Sendi

Pelat Persegi Dengan Tumpuan Sendi			
No. Nodal	Jarak (m)	Lendutan (m)	Lendutan (mm)
29	1	0	0
24	1,25	0,00015	0,1489
21	1,5	0,00029	0,2894
16	1,75	0,00040	0,398
13	2	0,00049	0,488
8	2,25	0,00054	0,5354
5	2,5	0,00056	0,5587

(Sumber: Hasil perhitungan menggunakan aplikasi EAoSM)



Gambar 10 Hasil Analisa Displacement Pada Pelat Bentuk Persegi Dengan Tumpuan Jepit



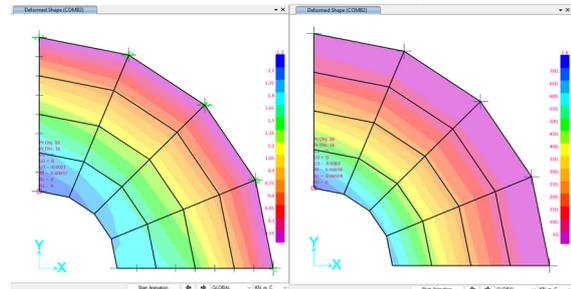
Gambar 11 Hasil Analisa Displacement Pada Pelat Bentuk Persegi Dengan Tumpuan Sendi

Tabel 6 Tabel Analisa Momen Pada Pelat Persegi Berlubang

Pelat Persegi Berlubang			
Tumpuan	Arah Momen	Mmaks (kN.m)	No. Nodal
Sendi	XZ-Momen	3,789	2
	YZ-Momen	5,069	4
Jepit	XZ-Momen	6.132	25
	YZ-Momen	5,638	29

(Sumber: Hasil perhitungan menggunakan aplikasi EAoSM)

Gambar 12 dan Tabel 7 serta Tabel 8 dan momen hasil pembebanan pada pelat beton berlubang seperti pada Tabel 9



a. $\Delta = 2,1$ mm (Nodal no 5) b. $\Delta = 0,7$ mm (Nodal no 5)
Gambar 12 Kontur Lendutan Pelat Bentuk lingkaran Dengan (a) Tumpuan Sendi dan (b) Tumpuan Jepit

Tabel 7 Hasil *Displacement* Pelat Lingkaran Berlubang Tumpuan Jepit

TABLE: Joint Displacements						
Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
5	0.0	0.0	-0,000712	0,000353	-0,00023	0
8	0.0	0.0	-0,00062	0,000379	-0,00022	0
16	0.0	0.0	-0,00052	0,000417	-0,00019	0
21	0.0	0.0	-0,000412	0,000441	-0,00017	0
24	0.0	0.0	-0,0003	0,000441	-0,00013	0
29	0.0	0.0	-0,000192	0,000409	-9,3E-05	0
13	0.0	0.0	-9,7E-05	0,000334	-5,4E-05	0
32	0.0	0.0	-2,8E-05	0,000201	-2,1E-05	0
37	0.0	0.0	0	0	0	0

(Sumber: Hasil perhitungan menggunakan aplikasi SAP 2000)

4.2 Analisis Pelat Beton Berlubang Dengan Program SAP 2000

1. Pelat Lingkaran

Pada analisa pelat lingkaran berlubang, pelat beton dimodelkan pelat lingkaran berlubang dengan diameter 6 m, diameter lubang 2 m dan ketebalan 20 cm. Material beton dengan modulus elastis sebesar $E = 25.743.000 \text{ kN/m}^2$ dengan angka Poisson, $\nu = 0,2$ dan modulus elastisitas baja tulangan, $E = 200000000 \text{ kN/m}^2$ dengan angka Poisson, $\nu = 0,3$. Kemudian pelat menerima beban merata (*uniform*) untuk beban mati sebesar $4,71 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup sebesar $11,97 \text{ kN/m}^2$. Pelat ditumpu dengan 2 jenis tumpuan yang berbeda yaitu menggunakan tumpuan sederhana dan tumpuan jepit. Hasil lendutan dapat dilihat pada

Tabel 8 Hasil *Displacement* Pelat Lingkaran Berlubang Tumpuan Sendi

TABLE: Joint Displacements						
Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
5	0	0	-0,00211	0,00047	0	0
8	0	0	-0,001978	0,00052	-0,00038	0
16	0	0	-0,00858	0,00076	-0,00043	0
21	0	0	-0,00164	0,0009	-0,00049	0
24	0	0	-0,001423	0,00117	-0,00046	0
29	0	0	-0,001108	0,00137	-0,00043	0

13	0	0	-0,000786	0,0015	-0,00037	0
32	0	0	-0,000401	0,00171	-0,00027	0
37	0	0	0	0	0	0

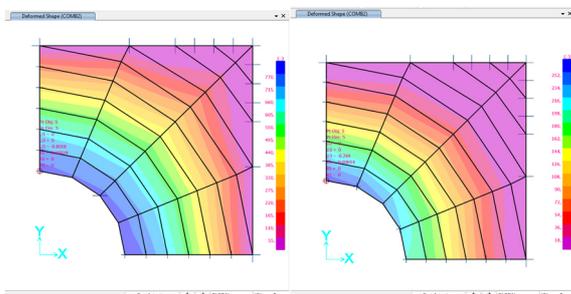
(Sumber: Hasil perhitungan menggunakan aplikasi SAP 2000)

Tabel 9 Hasil Analisa Momen Lentur Pelat Lingkaran Berlubang

Tabel Momen Pelat Beton Lingkaran Berlubang					
SAP 2000 Tumpuan Jepit			SAP 2000 Tumpuan Sendi		
No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah x(kN.m)
34	3	16,04	2	1	5,59
No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)
36	3	6,61	4	1	8,43

2. Pelat Berlubang

Pada analisa pelat lingkaran berlubang, pelat beton dimodelkan pelat persegi berlubang dengan ukuran 5m x 5m, diameter lubang 2 m dan ketebalan 20 cm. Material beton dengan modulus elastis sebesar $E = 25.743.000 \text{ kN/m}^2$ dengan angka Poisson, $\nu = 0,2$ dan modulus elastisitas baja tulangan, $E = 200000000 \text{ kN/m}^2$ dengan angka Poisson, $\nu = 0,3$. Kemudian pelat menerima beban merata (*uniform*) untuk beban mati sebesar $4,71 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup sebesar $11,97 \text{ kN/m}^2$. Pelat ditumpu dengan 2 jenis tumpuan yang berbeda yaitu menggunakan tumpuan sederhana dan tumpuan jepit. Hasil lendutan dapat dilihat pada Gambar 13 dan Tabel 10 serta Tabel 11 dan momen hasil pembebanan pada pelat beton berlubang seperti pada Tabel 12.



a. $\Delta = 0,8018 \text{ mm}$ Nodal no 5 b. $\Delta = 0,264 \text{ mm}$ Nodal no 5
Gambar 13 Kontur Lendutan Pelat Bentuk Persegi Dengan (a) Tumpuan Sendi dan (b)Tumpuan Jepit

Tabel 10 Hasil *Displacement* Pelat Persegi Berlubang Tumpuan Sendi

TABLE: Joint Displacements					
----------------------------	--	--	--	--	--

Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	m	m	m	Radians	Radians	adians
5	0	0	-0,000802	0,00028	0	0
8	0	0	-0,000728	0,00030	-0,00011	0
13	0	0	-0,000635	0,00043	-9,2E-05	0
16	0	0	-0,000511	0,00054	-7,6E-05	0
21	0	0	-0,00036	0,00064	-5,5E-05	0
24	0	0	-0,000188	0,00071	-3,3E-05	0
29	0	0	0	0,00075	-7,5E-06	0

Tabel 11 Hasil *Displacement* Pelat Persegi Berlubang Tumpuan Jepit

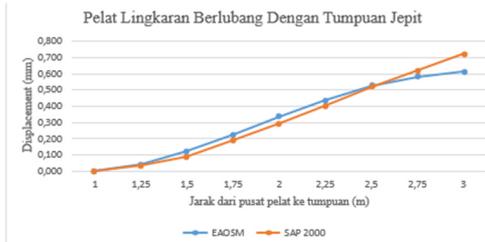
TABLE: Joint Displacements						
Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	m	m	m	Radians	Radians	adians
5	0	0	-0,000264	0,00014	0	0
8	0	0	-0,000225	0,00016	-4,4E-05	0
13	0	0	-0,000179	0,00020	-4,1E-05	0
16	0	0	-0,000124	0,00022	-2,8E-05	0
21	0	0	-6,8E-05	0,00021	-1,1E-05	0
24	0	0	-2,1E-05	0,00014	-2,07E-07	0
29	0	0	0	0	0	0

Tabel 9 Hasil Analisa Momen Lentur Pelat Persegi Berlubang

Tabel Momen Pelat Beton Persegi Berlubang					
SAP 2000 Tumpuan Jepit			SAP 2000 Tumpuan Sendi		
No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah x(kN.m)
25	2.5	11,47	2	1	7,41
No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)
29	2.5	5,574	4	1	6,41

(Sumber: Hasil perhitungan menggunakan aplikasi SAP 2000)

4.3 Komparasi Hasil Analisis Pelat Beton Berlubang Menggunakan Program Elemen Hingga EAoSM Dengan Elemen Shell SAP 2000



Gambar 14 Perbandingan Hasil Analisa Lendutan Pada Pelat Lingkaran Berlubang Dengan Tumpuan Jepit Menggunakan Program EAoSM dan SAP 2000



Gambar 15 Perbandingan Hasil Analisa Lendutan Pada Pelat Lingkaran Berlubang Dengan Tumpuan Sendi Menggunakan Program EAoSM dan SAP 2000



Gambar 16 Perbandingan Hasil Analisa Lendutan Pada Pelat Persegi Berlubang Dengan Tumpuan Jepit Menggunakan Program EAoSM dan SAP 2000



Gambar 17 Perbandingan Hasil Analisa Lendutan Pada Pelat Persegi Berlubang Dengan Tumpuan Sendi Menggunakan Program EAoSM dan SAP 2000

Tabel Momen Pelat Beton Lingkaran Berlubang						
EAoSM			SAP 2000			Selisih Nilai
Tumpuan Jepit			Tumpuan Jepit			Momen Lentur
No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	Momen arah x (kN.m)
34	3	18,867	34	3	16,04	2,827
No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	Momen arah y (kN.m)
36	3	18,538	36	3	6,61	11,928
EAoSM			SAP 2000			Selisih Nilai
Tumpuan Sendi			Tumpuan Sendi			Momen Lentur
No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	Momen arah x (kN.m)
2	1	12,21	2	1	5,59	6,62
No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	Momen arah y (kN.m)
4	1	14,33	4	1	8,43	5,9

Tabel 10 Hasil Analisa Momen Lentur Pelat Persegi Berlubang

Tabel Momen Pelat Beton Persegi Berlubang						
EAoSM			SAP 2000			Selisih Nilai
Tumpuan Jepit			Tumpuan Jepit			Momen Lentur
No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	Momen arah x (kN.m)
25	2,5	6,132	25	2,5	11,47	5,338
No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	Momen arah y (kN.m)
29	2,5	5,638	29	2,5	5,574	0,064
EAoSM			SAP 2000			Selisih Nilai
Tumpuan Sendi			Tumpuan Sendi			Momen Lentur
No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah x (kN.m)	Momen arah x (kN.m)
2	1	3,789	2	1	7,41	3,621
No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	No Node	Jarak (m)	Momen arah y (kN.m)	Momen arah y (kN.m)
4	1	5,069	4	1	6,41	1,341

4.4 Pengecekan Lendutan Pada Pelat Berlubang

Kriteria daya layan pelat lantai dapat ditentukan dengan membandingkan lendutan yang terjadi terhadap lendutan izin maksimum yang diperbolehkan. Beban yang digunakan untuk perhitungan lendutan berupa kombinasi beban hidup dan beban mati namun tidak dikalikan dengan faktor beban.

1. Pelat Lingkaran Berlubang :

$$\begin{aligned} \Delta_{maks} &= \frac{\text{Panjang Bentang Bersih}(l)}{480} \\ &= \frac{(6000 - 2000)}{480} \\ &= 8,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Pelat Persegi Berlubang :

$$\Delta_{maks} = \frac{\text{Panjang Bentang Bersih}(l)}{480}$$

$$= \frac{(5000 - 2000)}{480}$$

$$= 6,25 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, lendutan yang terjadi pada pelat lingkaran dan pelat persegi berlubang dengan tumpuan jepit dan sendi, lendutan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan lendutan izinnya, dengan demikian pelat beton memenuhi syarat ditinjau dari segi kontrol defleksi.

4.5 Pengecekan Momen Lentur pada Pelat

Kekuatan pelat dapat diperiksa dengan menghitung kapasitas momen lentur nominal atau momen lentur ultimat yang diizinkan pada pelat dan dibandingkan dengan momen lentur yang terjadi pada pelat beton bertulang dengan terdapat bukaan/lubang, dari hasil analisis menggunakan program EAoSM dan SAP 2000. Diketahui :

- f_c' = 30 Mpa
- f_y' = 390 Mpa
- Diameter Tulangan (D) = 16 mm
- Jarak antar tulangan = 300 mm
- Lebar per 1 meter(b) = 1000 m
- Tebal efektif (d) = (200 - (30 - (16/2))) mm = 162 mm

1. Pelat Lingkaran Berlubang

- Momen maksimum pelat beton berlubang dengan tumpuan jepit

$$\text{Program EAoSM } (M_{u1}) = 18,867 \text{ kN.m}$$

$$\text{Program SAP 2000 } (M_{u2}) = 16,04 \text{ kN.m}$$

- Momen maksimum pelat beton berlubang dengan tumpuan sendi

$$\text{Program EAoSM } (M_{u1}) = 14,33 \text{ kN.m}$$

$$\text{Program SAP 2000 } (M_{u2}) = 8,43 \text{ kN.m}$$

2. Pelat Persegi Berlubang

- Momen maksimum pelat beton berlubang dengan tumpuan jepit

$$\text{Program EAoSM } (M_{u1}) = 6,132 \text{ kN.m}$$

$$\text{Program SAP 2000 } (M_{u2}) = 11,47 \text{ kN.m}$$

- Momen maksimum pelat beton berlubang dengan tumpuan sendi

$$\text{Program EAoSM } (M_{u1}) = 5,069 \text{ kN.m}$$

$$\text{Program SAP 2000 } (M_{u2}) = 7,41 \text{ kN.m}$$

Hitung kapasitas momen lentur nominal :

$$T = C$$

$$A_s f_y = 0,85 f_c' a b$$

$$A_s = \frac{\frac{1}{4} x \pi x D^2 x b}{s}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} x \pi x 16^2 x 1000}{300}$$

$$= 670,20 \text{ mm}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{670 x 390}{0,85 x 30 x 1000}$$

$$= 10,25 \text{ mm}$$

$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2} \right) = C \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= (670,2)(390) \left(162 - \frac{10,25}{2} \right)$$

$$= 217.025.274 \text{ N.mm}$$

$$= 217,02 \text{ kN.m}$$

Hasil dari pemeriksaan kapasitas momen lentur nominal atau momen lentur ultimat yang diizinkan pada pelat beton didapatkan sebesar 217,02 kN.m, lebih besar dibandingkan dengan momen lentur yang terjadi, dari hasil analisis menggunakan program EAoSM dan SAP 2000 pada pelat persegi dan lingkaran yang terdapat bukaan/lubang pada tengah bentangnya. Dengan demikian pelat beton memenuhi syarat ditinjau dari kapasitas momen lentur nominal.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan, lendutan yang terjadi pada pelat lingkaran dan pelat persegi berlubang dengan tumpuan jepit dan sendi, lendutan yang terjadi hasil dari program, EAoSM dan SAP 2000 lebih kecil dibandingkan dengan lendutan izinnya, dengan demikian pelat beton memenuhi syarat ditinjau dari segi kontrol defleksi.
2. Semua momen lentur yang dihasilkan menggunakan aplikasi EAoSM dan SAP 2000 lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas momen lentur nominal sebesar 217,02 kN.m.
3. Nilai lendutan pada pelat lingkaran berlubang menggunakan program EAoSM dan SAP 2000 memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, pada tumpuan jepit sebesar 17,16 % dan sendi sebesar 15,87 %. Sedangkan pada pelat persegi, lendutan menggunakan tumpuan jepit terjadi perbedaan sebesar 10,98 % dan sendi sebesar 43,18 %.

4. Hasil analisis momen lentur pada pelat persegi dengan tumpuan jepit dan sendi menggunakan EAOsM dan SAP 2000 pada titik yang sama didapatkan pada tumpuan jepit, terdapat selisih nilai momen lentur sebesar 5,338 kN.m dalam arah x dan 0,064 kN.m dalam arah y antara kedua program. Sementara itu, pada tumpuan sendi, perbedaan nilai momen lentur adalah sebesar 3,621 kN.m dalam arah x dan 1,341 kN.m dalam arah y. Sedangkan pada pelat lingkaran dengan tumpuan jepit selisih nilai momen lentur sebesar 2,827 kN.m dalam arah x dan 11,928 kN.m dalam arah y antara kedua program. Sementara itu, pada tumpuan sendi, perbedaan nilai momen lentur adalah sebesar 6,62 kN.m dalam arah x dan 5,9 kN.m dalam arah y.
 5. Kelebihan program EAOsM (Elastics Analysis of Slab Multilayered) yaitu prosedur model elemen hingga multilapis memperhitungkan kontribusi baja tulangan pada analisis struktur pelat beton bertulang yang dapat mempresentasikan perilaku respon struktur pelat beton yang lebih realistis. Selain itu kekurangan dari program EAOsM yaitu saat proses input data memerlukan file tambahan (file txt) untuk dimasukkan kedalam program, membutuhkan waktu lama dalam membuat koordinat titik nodal dikarenakan harus menggambarkan terlebih dahulu bentuk elemennya. Sedangkan pada SAP 2000 kelebihannya yaitu data input dan output terintegrasi langsung dengan software SAP 2000. Untuk kekurangan program SAP 2000 dalam menganalisa pelat beton berlubang yaitu pada proses membentuk pelat menjadi elemen mesh, di mana membutuhkan waktu yang relatif lama dikarenakan harus membuat titik nodal secara manual.
- ### 5.2 Saran
1. Dalam membandingkan hasil lendutan dan momen lentur pelat berlubang bisa ditambahkan variasi software elemen hingga seperti menggunakan Tekla Struktur, Etabs, ABAQUS
 2. Untuk kedepannya bentuk bukaan lubang dapat lebih bervariasi seperti bentuk persegi, persegi panjang.
- ### Daftar Pustaka
1. Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha
 2. Abdi, Fachriza Noor. 2001. *Komputasi Analisis Linear Elastis Struktur Pelat Beton Bertulang Dengan Model Elemen Hingga Multilapis*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
 3. Casita C.B & Komara.I .2021. *Program Analisis Struktur SAP2000*. Klaten: Lakeisha
 4. Hadipratomo.W & Raharjo P.P. 1985. *Pengenalan Metode Elemen Hingga Pada Teknik Sipil*. Bandung: Nova
 5. Fikri, Muhammad. 2018. *Analisa Kekuatan Dan Kekakuan Pelat Beton Bertulang Dengan Variasi Bukaan Lubang*. Skripsi. Padang: Universitas Andalas
 6. Feirusa, S.H., Abdullah, M.A. 2019. *Theoretical Investigation of Stresses and Displacement in RC Annular Slabs*. International Journal of Engineering Research and Technology. ISSN 0974-3154, Volume 12, Number 6 (2019), pp. 891-898. International Research Publication House. Erbil
 7. Nasution, Amrinsyah. 2010. *Metode Elemen Hingga*. Bandung:Penerbit ITB
 8. Risan, K.H., Farhan, O.S., Abbas, H.M. 2017. *Numerical Modal Analysis of Reinforced Concrete Slab With Opening*. Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences (NJES). Vol.20 No.2, 2017, pp.368-377. Proceedings of the 4th Eng. Baghdad
 9. Pinem M.D. 2010. *Analisis Struktur Dengan Metode Elemen Hingga*. Bandung: Penerbit Rekayasa Sains
 10. Priyosulistyo. H. 2020. *Struktur Beton Bertulang I*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
 11. Sholeh, M.N. 2021. *Analisa Struktur SAP 2000 v22*. Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pranal
 12. Singh. P & Tediato. L.S. 2022. *Analisis Pengaruh Bentuk Bukaan Pada Pelat Lentur Dengan Metode Elemen Hingga*. JMST: Jurnal Mitra Teknik Sipil. vol. 5, no.2, 587-596.
 13. SNI 1727:2013 tentang Beban minimum perancangan bangunan gedung dan struktur lain
 14. Szilard Rudolph. 1974. *Teori Dan Analisa Pelat Metode Klasik Dan Numerik*. Jakarta: Penerbit Erlangga
 15. Tyas, D.C. 2017. *Perencanaan Desain Alternatif pada Struktur Pelat Beton Berlubang (Studi Kasus Proyek Pembangunan Apartemen Podomoro Golf View Cimanggis)*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
 16. Tjong, Wong Foek. 2021. *Pengantar Metode Elemen Hingga Untuk Analisa Struktur*. Depok: Rajawali Printing
 17. W.H. Mosley & J.H. Bungey. 1984. *Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga. alih bahasa, Elly Madyayanti, Ir.