

## ANALISIS PERILAKU PELAT KANTILEVER BETON BERTULANG DENGAN BUKAAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Daniel Evan Christopher<sup>1</sup> dan Leo S. Tedianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1, Jakarta, Indonesia  
*daniel.325180126@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1, Jakarta, Indonesia  
*leotedi@ft.untar.ac.id*

Masuk: 29-01-2022, revisi: 22-03-2022 diterima untuk diterbitkan: 26-04-2022

### ABSTRACT

*Openings in the slab can weaken the strength of the slab due to the cut-out of steel reinforcement and concrete. The calculation method used in this study is finite element method with MIDAS FEA software to determine the stress and deflection of the tested cantilever slabs. This study aims to determine the effect of openings on the behaviour of reinforced concrete cantilever slabs. Seven cantilever slabs consisting of slabs with and without openings with different conditions were used as the object of numerical study. Based on the research, it was found that the closer and larger the size of the opening to the support, the smaller the stiffness and maximum load capacity of the cantilever slab. With the opening, the stress on the cantilever slabs will experience an average stress increase of two times compared to the cantilever slab without opening. In addition, with the opening in the cantilever slabs, the stress will be concentrated around the opening. The results between the numerical studies and the experimental studies gave quite concordant results even though they were quite different in the first crack value of 38.8%.*

*Keywords: cantilever slab; reinforced concrete; opening; finite element method; MIDAS FEA*

### ABSTRAK

Bukaan pada pelat dapat memperlemah kekuatan pelat dikarenakan terputusnya tulangan baja dan beton pada area bukaan. Metode perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode elemen hingga dengan program MIDAS FEA yang untuk mengetahui tegangan dan lendutan dari pelat kantilever yang diuji. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh bukaan terhadap perilaku pelat kantilever beton bertulang. Tujuh pelat yang terdiri dari pelat tanpa bukaan dan pelat dengan bukaan dengan kondisi berbeda dijadikan sebagai objek studi numerik pada penelitian ini. Berdasarkan penelitian diperoleh bahwa semakin dekat dan besar ukuran bukaan dengan tumpuan, semakin kecil kekakuan dan kapasitas beban maksimum dari pelat kantilever tersebut. Dengan adanya bukaan, tegangan pada pelat kantilever akan mengalami kenaikan tegangan sebesar rata-rata dua kali dibanding pelat kantilever tanpa bukaan. Selain itu dengan adanya bukaan pada pelat kantilever, tegangan akan terkonsentrasi pada daerah bukaan tersebut. Hasil antara studi numerik dengan studi eksperimental memberikan hasil dengan tren yang sama meskipun memiliki perbedaan yang cukup besar di nilai *crack* pertama sebesar 38,8%.

Kata kunci: pelat kantilever; beton bertulang; bukaan; metode elemen hingga; MIDAS FEA

### 1. PENDAHULUAN

Setiap bangunan pada umumnya memiliki jalur pipa, kabel internet, kabel telepon ataupun sistem pendingin yang dipasang di luar dinding sehingga harus melewati pelat lantai. Akibatnya pelat lantai tersebut haruslah dibuat bukaan agar dapat dilewati. Bukaan yang dibuat dapat bervariasi bentuknya seperti lingkaran ataupun persegi. Adanya bukaan pada struktur pelat beton bertulang dapat menimbulkan berbagai masalah seperti berkurangnya kekakuan pelat, defleksi yang berlebihan ataupun berkurangnya kekuatan kapasitas pelat. Selain itu, dengan adanya bukaan pada pelat beton bertulang dapat mengakibatkan retakan yang berpusat pada bukaan tersebut.

Pembuatan pelat beton bertulang dengan bukaan pada umumnya hampir sama seperti pembuatan beton bertulang pada umumnya. Pada awalnya dilakukan pemasangan tulangan-tulangan dengan syarat ketika tulangan akan melewati daerah bukaan, tulangan akan ditebuk sehingga daerah bukaan kosong. Selain itu biasanya di daerah sekeliling bukaan akan memiliki tulangan-tulangan dengan jarak yang lebih sempit. Setelah itu dilakukan pemasangan cetakan dan pengecoran beton.

Meskipun studi eksperimental sering digunakan dalam penelitian, studi eksperimental juga memiliki kekurangan. Studi eksperimental cenderung memakan biaya dan waktu lebih. Karena itu studi eksperimental harus dilakukan dengan teliti dan benar dari awal hingga akhir. Hal ini agar tidak dilakukan eksperimen berulang sehingga memakan waktu lebih. Selain itu studi eksperimental juga beresiko mengalami ketidaktepatan pada objek eksperimen karena faktor kesalahan manusia.

Untuk mengatasi kekurangan dari studi eksperimental, dapat digunakan studi numerik dengan metode elemen hingga. Metode elemen hingga atau *Finite Element Method (FEM)* sering kali digunakan sebagai metode terakhir dalam menghitung suatu objek dengan bentuk yang tidak biasa. Dalam buku "*A First Course in Finite Elements*" (Fish, 2008), metode elemen hingga digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana solusi eksak tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisis, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*. Saat ini sudah banyak *software* yang digunakan dalam melakukan perhitungan metode elemen hingga. Dengan adanya *software* metode elemen hingga, diharapkan studi eksperimental yang dilakukan dapat dimodelkan dengan menggunakan *software*. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan *software* metode elemen hingga, peneliti dapat menghemat biaya dan meminimalkan resiko faktor kesalahan manusia dalam studi eksperimental yang dilakukan.

Pada tahun 2019 Universitas Tanta di Mesir (Khalil et al., 2019) melakukan studi eksperimental untuk mengetahui perilaku pelat kantilever beton bertulang dengan bukaan. Bisa dilihat pada Gambar 1 merupakan studi eksperimental yang dilakukan di Universitas Tanta di Mesir. Studi eksperimental dilakukan dengan 6 buah pelat kantilever beton bertulang dengan material yang sama persis tetapi memiliki ukuran dan letak bukaan yang berbeda. Bukaan pada studi eksperimental tersebut berbentuk segi empat untuk ke 6 buah pelat kantilever agar hasil studi eksperimental tiap kantilever dapat dibandingkan. Setiap pelat yang dites akan diberi beban garis merata di ujung bebas kantilever. Dari hasil eksperimen diperoleh beban maksimum yang dapat di tahan pelat kantilever sebelum terjadi kegagalan, tingkat kekakuan dan lendutan dari tiap pelat kantilever yang dites.



Gambar 1. Studi eksperimental pelat kantilever dengan bukaan (Sumber: Khalil et al., 2019).

Berdasarkan studi eksperimental yang dilakukan oleh Universitas Tanta (Khalil et al., 2019) di Mesir tersebut, penulis ingin meneliti pengaruh bukaan dengan ukuran dan letak yang berbeda pada pelat kantilever dari studi eksperimental tersebut dengan batasan-batasan dan material serupa dengan menggunakan metode elemen hingga atau *finite element method*. Diharapkan hasilnya dapat memberikan gambaran yang mirip dengan hasil studi eksperimental tersebut.

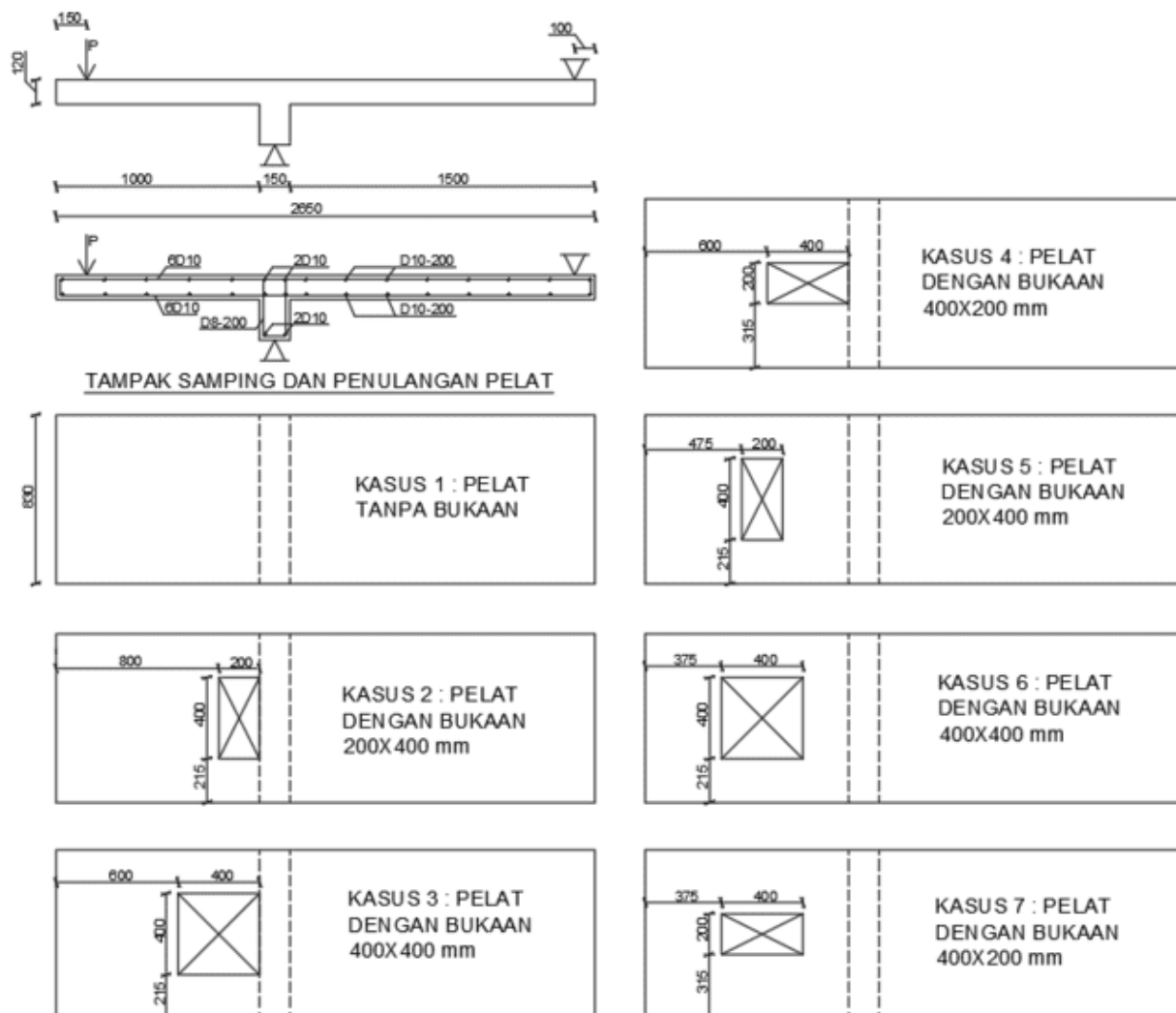
Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka masalah-masalah yang harus diteliti adalah bagaimanakah nilai tegangan dan lendutan pelat kantilever beton bertulang dengan bukaan dengan metode elemen hingga jika dibandingkan dengan hasil studi eksperimental di Universitas Tanta dan pengaruh letak dan ukuran bukaan pada pelat kantilever beton bertulang jika dihitung dengan metode elemen hingga.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai tegangan dan lendutan pelat kantilever beton bertulang dengan bukaan dengan metode elemen hingga jika dibandingkan dengan studi eksperimental di Universitas Tanta dan mengetahui pengaruh letak dan ukuran bukaan pada pelat kantilever beton bertulang jika dihitung dengan metode elemen hingga.

## 2. METODE PENELITIAN

### Sumber data

Sumber data berasal jurnal studi eksperimental yang telah dilakukan di Universitas Tanta di Mesir (Khalil et al., 2019). Pada jurnal studi eksperimental terdapat 6 kasus model pelat kantilever yang menjadi objek penelitian ini. Data yang diperoleh dari jurnal studi eksperimental berupa data-data pemodelan tiap kasus pelat kantilever, nilai kapasitas beban maksimum, *crack* pertama dan lendutan dari masing-masing kasus pelat kantilever, Pada Gambar 2, ditunjukkan model-model pelat kantilever yang menjadi objek penelitian yang dilakukan.



Gambar 2. Pemodelan tiap pelat kantilever.

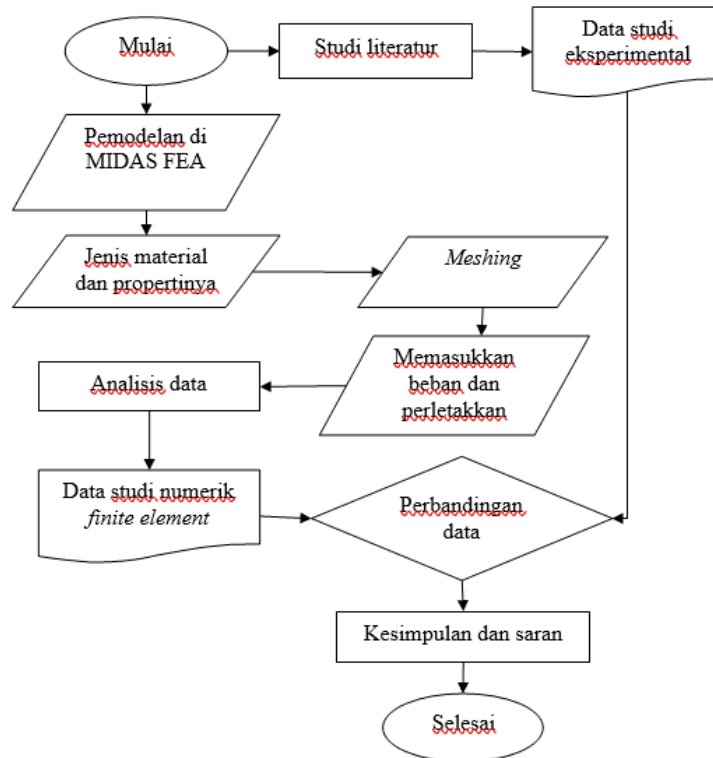
Beton dimodelkan dengan model *total strain crack* dengan perilaku tarik *brittle* dan perilaku tekan Thorenfeldt. Mutu beton yang digunakan yaitu 25 MPa. Untuk tulangan baja dimodelkan dengan model Von Misses dengan mutu tulangan 480 MPa untuk tulangan 10 mm dan 250 MPa untuk tulangan 8 mm.

### Metode analisis data

Analisis yang dilakukan berupa analisis dengan program elemen hingga MIDAS FEA dengan memodelkan 6 kasus pelat kantilever dari jurnal studi eksperimental (Khalil et al., 2019) ditambah 1 kasus baru sebagai pembandingan untuk nilai tegangan. Tiap kasus memiliki perbedaan pada letak dan ukuran bukaan. Setelah diperoleh hasil analisis tiap kasus dari program MIDAS FEA, hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan data dari jurnal studi eksperimental.

### Diagram alir

Pada Gambar 3, ditunjukkan diagram alir penelitian yang digunakan.

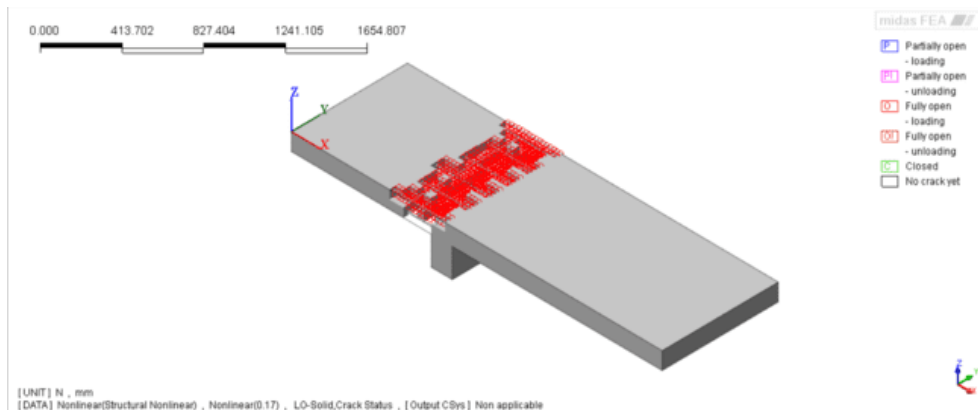


Gambar 3. Diagram alir penelitian.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

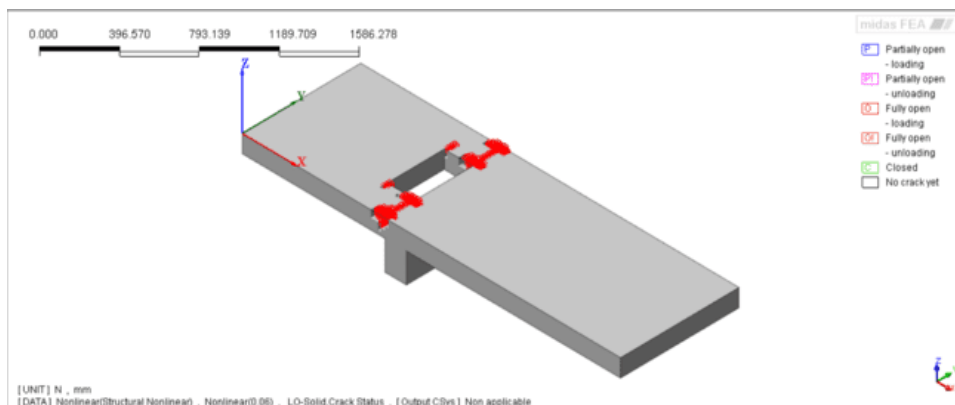
#### Crack pertama

Gambar 4 sampai Gambar 9 memperlihatkan letak terjadinya *crack* pertama pada setiap kasus.

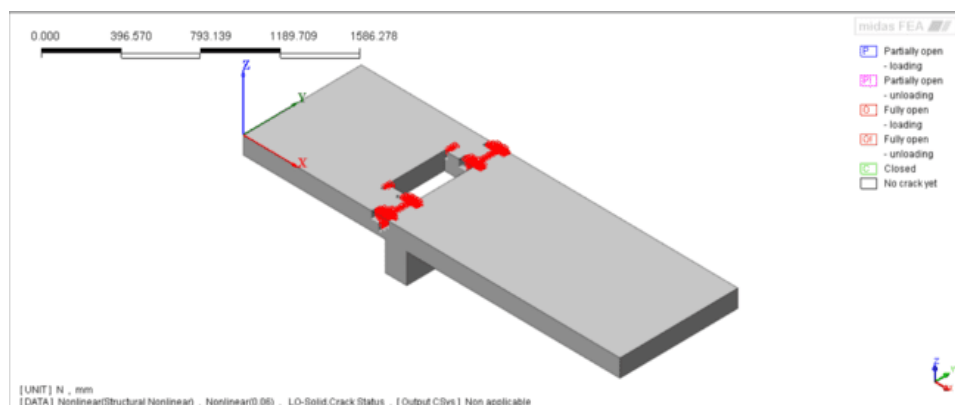


Gambar 4. *Crack* pertama pada kasus 1 di MIDAS FEA.

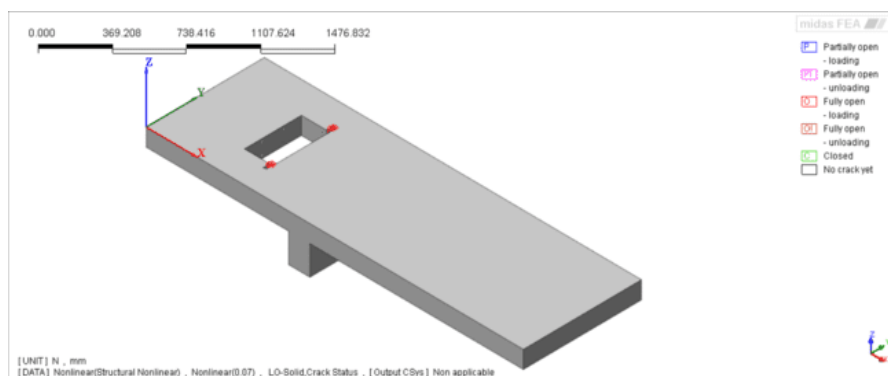
Dari Gambar 4 sampai Gambar 9 dapat dilihat bahwa letak terjadinya *crack* pertama pada model di MIDAS FEA sama dengan model di studi eksperimental. Untuk kasus 1 dapat dilihat bahwa *crack* pertama terjadi di sekitar balok penumpu, sedangkan pada kasus 2, 4, 5, 6 dan 7 *crack* pertama terjadi pada daerah bukaan yang dekat dengan balok penumpu.



Gambar 5. *Crack* pertama pada kasus 2 di MIDAS FEA.



Gambar 6. *Crack* pertama pada kasus 4 di MIDAS FEA.

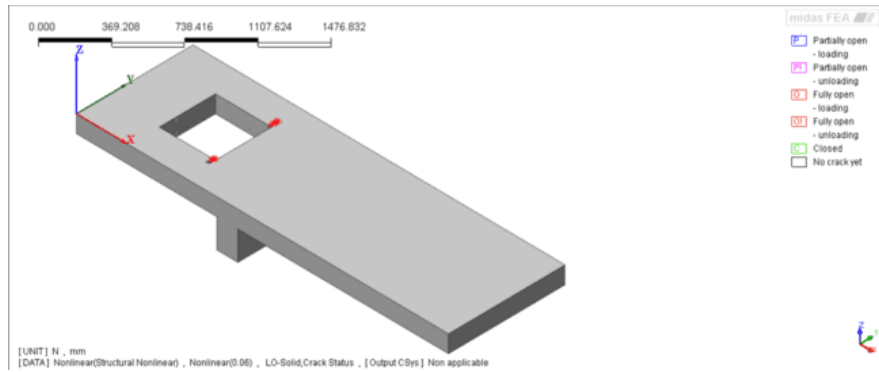


Gambar 7. *Crack* pertama pada kasus 5 di MIDAS FEA.

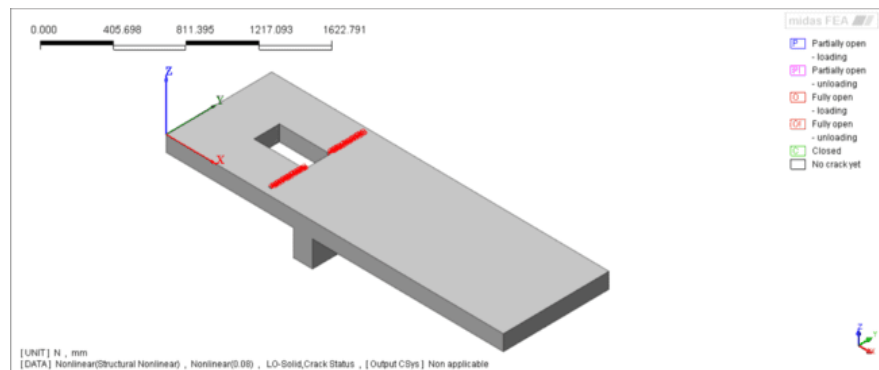
## Lendutan

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa hasil lendutan yang diperoleh pada pemodelan di MIDAS FEA sudah cukup mendekati dengan hasil studi eksperimental dengan nilai perbedaan terbesar pada kasus 7 sebesar 16,740%. Perbedaan lendutan antar kasus juga sudah mendekati dengan studi eksperimental dengan kasus 4 memiliki lendutan terbesar yaitu sebesar 94,92 mm pada MIDAS FEA dan 85 mm pada studi eksperimental. Kasus 1 memiliki nilai lendutan terkecil sebesar 51,26 mm pada MIDAS FEA dan 58 mm pada studi eksperimental.

Pada kasus 2 dan 4 dimana bukaan terletak tepat di samping balok tumpuan memiliki nilai lendutan terbesar dibandingkan kasus yang lain. Kasus 4 memiliki nilai lendutan yang lebih besar dibandingkan kasus 2 dikarenakan perbedaan bentuk bukaan.



Gambar 8. Crack pertama pada kasus 6 di MIDAS FEA.



Gambar 9. Crack pertama pada kasus 7 di MIDAS FEA.

Tabel 1. Perbedaan Hasil Lendutan

Kasus	Lendutan		
	MIDAS (mm)	Lab (mm)	Perbedaan (%)
1	51,26	58	11,621
2	77,06	74	4,135
3	55,81	-	-
4	94,92	85	11,671
5	67,97	60	13,283
6	55,21	62	10,952
7	64,11	77	16,740

Pada kasus 5, 6 dan 7, nilai lendutan tidak sebesar pada kasus 2 dan 4 namun tidak lebih kecil dibandingkan kasus 1. Meskipun memiliki nilai perbedaan yang cukup kecil, perbedaan lendutan antar kasus 5, 6 dan 7 memiliki hasil yang berbeda antara pemodelan di MIDAS FEA dan studi eksperimental. Pada studi eksperimental, kasus 5 memiliki lendutan lebih kecil dibanding kasus 6 dan 7. Kasus 7 memiliki lendutan yang lebih besar dibanding kasus 5 dan 6. Sedangkan pada MIDAS FEA, kasus 6 memiliki lendutan yang lebih kecil dibanding 5 dan 7. Kasus 5 memiliki lendutan yang lebih besar dibanding kasus 6 dan 7.

Walaupun hasil lendutan pada kasus 5, 6 dan 7 memiliki perbedaan nilai lendutan yang berbeda di MIDAS FEA dibandingkan dengan studi eksperimental, jika dibandingkan dengan kasus 2 dan 4 perbedaan yang dimiliki tetap sama antara MIDAS FEA dan studi eksperimental. Hal ini dibuktikan dimana kasus 5, 6 dan 7 yang memiliki letak bukaan di tengah kantilever memiliki nilai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan kasus 2 dan 4 yang memiliki letak bukaan tepat disamping balok penumpu. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin jauh letak bukaan dari balok penumpu atau tumpuan, semakin kecil lendutan yang diperoleh oleh pelat kantilever.

## Beban maksimum

Beban maksimum diperoleh saat pelat mengalami kegagalan, yaitu ketika beton sudah hancur dan tegangan pada tulangan baja melebihi tegangan lelehnya. Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa hasil beban maksimum yang diperoleh pada pemodelan di MIDAS FEA sudah cukup mendekati dengan hasil studi eksperimental dengan nilai perbedaan terbesar pada kasus 7 sebesar 16,912%. Perbedaan beban maksimum antar kasus juga sudah mendekati dengan studi eksperimental dengan kasus 1 memiliki kapasitas beban maksimum terbesar yaitu sebesar 36,72 KN pada MIDAS FEA dan 37 KN pada studi eksperimental.

Tabel 2. Perbedaan Hasil Beban Maksimum dan Tegangan

Kasus	Beban Maksimum			Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )		
	MIDAS (KN)	Lab (KN)	Perbedaan (%)	Tanpa Buka	Bukaan	Perbedaan
1	36,72	37	0,757	-	-	-
2	19,89	18,36	8,333	0,6867	1,8700	2,724 kali
3	19,38	-	-	0,8584	1,8600	2,167 kali
4	22,44	19,72	13,793	1,1940	1,8610	1,559 kali
5	31,11	27,2	14,375	0,7136	1,7570	2,463 kali
6	27,03	23,12	16,912	0,7092	1,7630	2,486 kali
7	31,62	30,6	3,333	0,9619	1,7939	1,865 kali

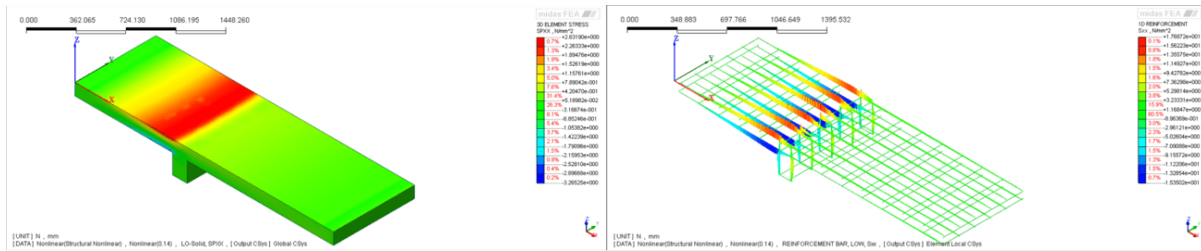
Untuk kasus 2 dan 4 dimana letak bukaan terdapat tepat di sisi balok penumpu memiliki kapasitas beban maksimum yang terkecil dibanding kasus-kasus lainnya. Perbedaan antara kasus 2 dan 4 adalah ukuran bukaan yang berbeda. Pada kasus 2 ukuran bukaan memanjang searah dengan balok penumpu sedangkan pada kasus 4 ukuran bukaan memanjang tegak lurus dengan balok penumpu. Pada hasil pemodelan di MIDAS FEA dan studi eksperimental, diperoleh bahwa kapasitas beban maksimum kasus 4 lebih besar dari kasus 2. Hal ini dapat diartikan bahwa ukuran bukaan berpengaruh pada kapasitas beban maksimum yang diperoleh. Pelat kantilever dengan bukaan memanjang tegak lurus dengan tumpuan memiliki kapasitas beban maksimum yang lebih kecil dibandingkan dengan pelat kantilever dengan bukaan memanjang searah dengan tumpuan walaupun memiliki ukuran bukaan yang sama.

Untuk kasus 5, 6 dan 7 dimana letak bukaan terdapat di tengah kantilever memiliki kapasitas beban maksimum yang lebih besar dibanding kasus 2 dan 4, namun masih memiliki kapasitas beban maksimum yang lebih kecil dibanding kasus 1 yang tidak memiliki bukaan sama sekali. Dari hal tersebut dapat diartikan bahwa semakin jauh letak bukaan dari balok penumpu atau tumpuan, semakin besar kapasitas beban maksimum yang diperoleh. Perbedaan antara kasus 5, 6 dan 7 adalah ukuran bukaan yang dimiliki. Pada hasil pemodelan di MIDAS FEA dan studi eksperimental diperoleh bahwa kasus 6 memiliki kapasitas beban maksimum yang dimiliki lebih kecil jika dibandingkan dengan kasus 5 dan 7. Dari hal ini dapat diartikan bahwa semakin besar ukuran bukaan maka semakin kecil kapasitas beban maksimum yang dimiliki.

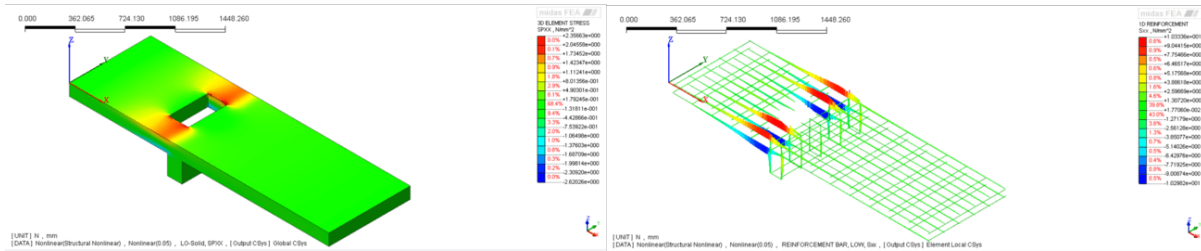
Pada Tabel 2 juga dapat dilihat perbandingan nilai tegangan antara model pelat kantilever dengan bukaan (kasus 2, 3, 4, 5, 6 dan 7) dengan model pelat kantilever tanpa bukaan (kasus 1). Nilai tegangan diambil pada titik di sudut bukaan untuk pelat kantilever dengan bukaan dan pada titik yang sama di pelat kantilever tanpa bukaan pada saat pelat kantilever mencapai tegangan maksimum sebagai perbandingan.

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan tegangan di sekitar bukaan dibanding tanpa bukaan. Nilai tegangan terbesar terjadi pada bukaan di kasus 2, 3 dan 4 dimana letak bukaan tepat di samping balok penumpu. Dari hal ini dapat diartikan bahwa nilai konsentrasi tegangan yang terjadi pada daerah bukaan semakin besar apabila letak bukaan semakin dekat dengan balok penumpu atau tumpuan.

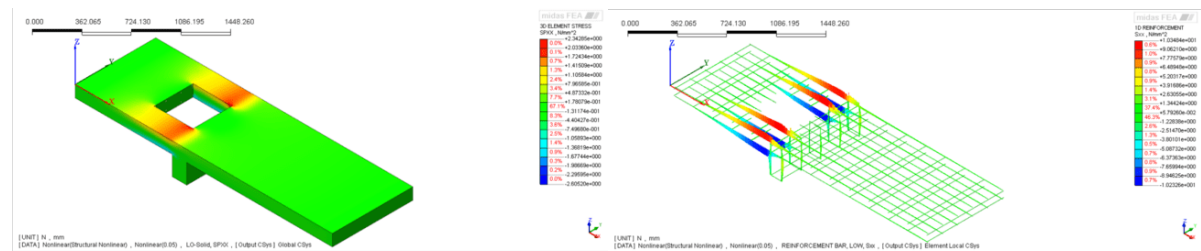
Berdasarkan Gambar 10 sampai Gambar 16 dapat dilihat bahwa pada kasus pelat kantilever tanpa bukaan terjadi konsentrasi tegangan pada daerah sepanjang balok tumpuan, Sedangkan pada kasus pelat kantilever dengan bukaan terjadi konsentrasi tegangan pada daerah sekitar bukaan. Berdasarkan hal tersebut dapat diartikan bahwa adanya bukaan akan mengakibatkan tegangan terkonsentrasi pada daerah bukaan tersebut.



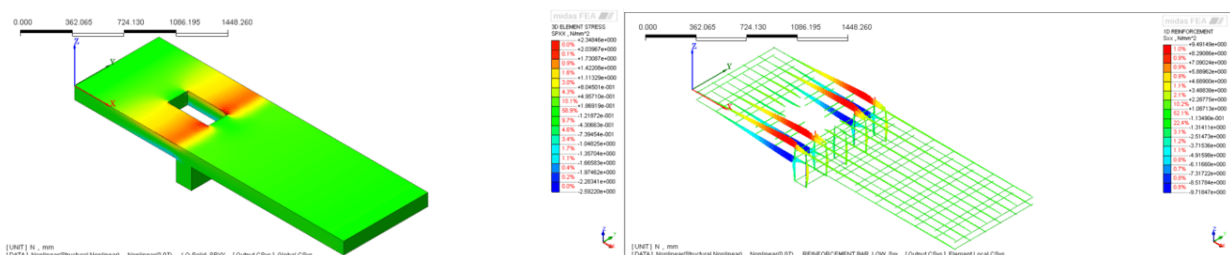
Gambar 10. Tegangan pada kasus 1 di MIDAS FEA.



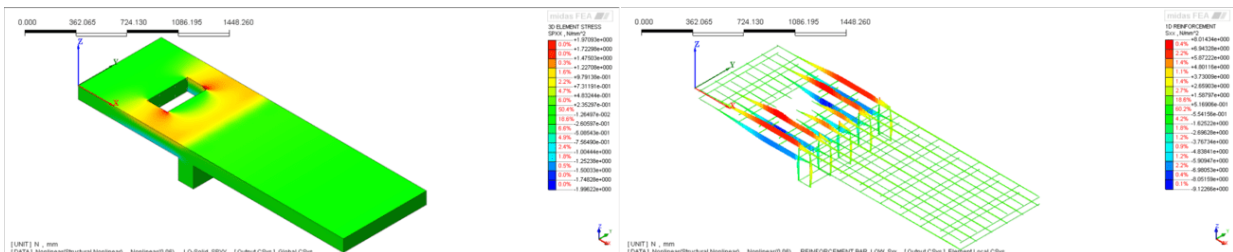
Gambar 11. Konsentrasi tegangan pada kasus 2 di MIDAS FEA.



Gambar 12. Konsentrasi tegangan pada kasus 3 di MIDAS FEA.

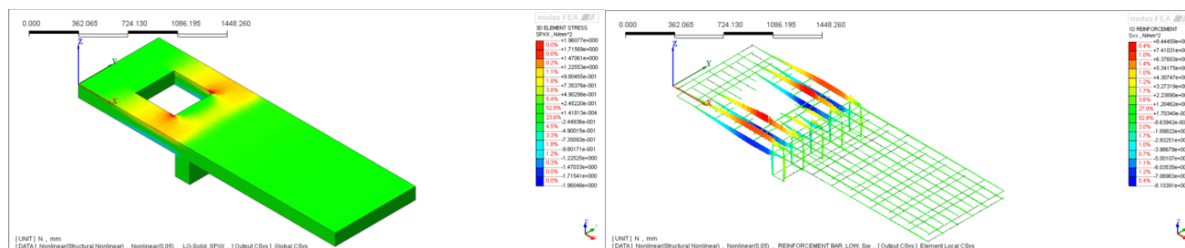


Gambar 13. Konsentrasi tegangan pada kasus 4 di MIDAS FEA.

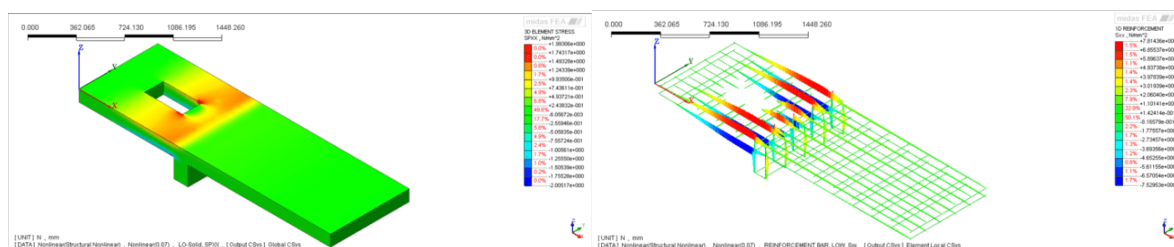


Gambar 14. Konsentrasi tegangan pada kasus 5 di MIDAS FEA.





Gambar 15. Konsentrasi tegangan pada kasus 6 di MIDAS FEA.



Gambar 16. Konsentrasi tegangan pada kasus 7 di MIDAS FEA.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Letak terjadinya *crack* pertama pada kasus pelat kantilever tanpa bukaan terjadi pada daerah tumpuan dan pada kasus pelat kantilever dengan bukaan terjadi pada daerah bukaan. Letak terjadinya *crack* pertama ada MIDAS FEA telah sesuai dengan studi eksperimental (Khalil et al., 2019) yang pernah dilakukan.
2. Adanya bukaan pada pelat kantilever mengakibatkan penurunan kekakuan. Pelat kantilever dengan bukaan memiliki kapasitas beban maksimum yang lebih kecil dibanding pelat kantilever tanpa bukaan. Hasil yang diperoleh dari MIDAS FEA sudah memberikan hasil yang mendekati studi eksperimental (Khalil et al., 2019) yang pernah dilakukan.
3. Letak dan ukuran bukaan pada pelat kantilever mempengaruhi kekakuan dan kapasitas beban maksimum dari pelat kantilever. Semakin dekat dan besar ukuran bukaan pada tumpuan, maka semakin kecil nilai kekakuan dan kapasitas beban maksimum dari pelat kantilever
4. Adanya bukaan pada pelat kantilever mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah bukaan tersebut sebesar rata-rata 2 kali dibandingkan pelat kantilever tanpa bukaan.
5. Semakin dekat bukaan dengan tumpuan semakin besar nilai konsentrasi tegangan pada daerah sekitar bukaan.

##### Saran

Pada penelitian berikutnya, dapat dilakukan penelitian terhadap nilai regangan pada tulangan baja antara studi eksperimental dengan program metode elemen hingga yang dimana pada penelitian ini tidak diteliti.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Fish, J. (2008). A first course in finite elements. *Choice Reviews Online*, 45(6), 3218. <http://choicereviews.org/review/10.5860/CHOICE.45-3218>
- Khalil, A-E. A., Atta, A. M., Baraghith, A. T., & Kandil, D. O. (2019). Behaviour of Reinforced Concrete Cantilever Slabs with Opening. *Proceedings of the International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering, Egypt*, 1–11

