



KAJIAN PERILAKU BALOK KASTELA SEGI DELAPAN DENGAN VARIASI PANJANG BENTANG DAN JARAK ANTAR LUBANG

RIZA ARYANTI^{1*}, MASRILAYANTI¹, REDHO ALFARO ZAMEL¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*Corresponding author: ✉ riza@eng.unand.ac.id

Naskah diterima : 20 November 2022. Disetujui: 30 Desember 2022

ABSTRAK

Pada saat ini dalam pembangunan struktur, konstruksi baja adalah konstruksi yang sering digunakan. Hal ini disebabkan material baja yang memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan jenis konstruksi lainnya. Salah satu kelebihan sifat baja adalah memiliki kuat tarik yang tinggi. Dengan berkembangnya teknologi ditemukan balok kastela (*castellated beam*) yang merupakan salah satu inovasi dalam konstruksi baja. Penggunaan balok kastela dapat meningkatkan kekuatan dari balok baja dengan berat profil yang sama. Penelitian ini mengkaji teknologi modifikasi balok profil IWF menjadi balok kastela dengan variasi panjang bentang dan jarak antar lubang pada bagian badan profil. Profil baja yang digunakan adalah IWF 150.75.5.7 yang dimodifikasi menjadi balok kastela. Properties material baja pada penelitian ini menggunakan poisson ratio (ν) 0,3, modulus elastisitas (E) 200.000 MPa, tegangan leleh (f_y) 300 MPa dan tegangan ultimit (f_u) 450 MPa. Untuk melihat perilaku dari balok kastela yang divariasikan diberikan pembebanan secara statik monotonik di tengah bentang pada balok sederhana dengan perletakan jepit-jepit pada ujung bentang balok, sampai beban ultimit terlewati. Beban ultimit yang lebih besar pada penelitian ini diperoleh pada balok kastela dibanding balok profil IWF. Jumlah lubang yang didapatkan pada panjang bentang yang sama dipengaruhi oleh variasi jarak antar lubang. Nilai beban ultimit dan kekakuan terbesar diperoleh pada balok kastela dengan variasi jarak antar lubang 78 mm dan nilai daktilitas terbesar diperoleh pada balok kastela dengan variasi jarak antar lubang 39 mm. Balok kastela dengan bentang terpanjang menghasilkan nilai kekakuan yang semakin kecil dan nilai daktilitas yang semakin besar.

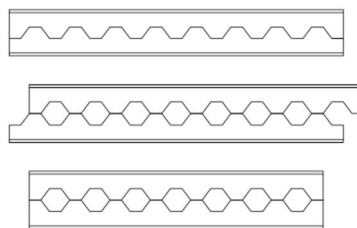
Kata kunci : *castellated beam*; balok kastela; statik; monotonik; kekakuan; daktilitas

1. PENDAHULUAN

jembatan (Hadi Y. CE, 2000). Hal ini disebabkan material baja yang memiliki banyak kelebihan dibandingkan jenis konstruksi lainnya (Badan Standarisasi Nasional, 2002b). Salah satu kelebihan dari sifat baja adalah memiliki kuat tarik yang tinggi (Oentoeng Oentoeng, 2000). Konstruksi baja juga aman terhadap gempa karena sifat daktilitasnya yang tinggi (Aryanti & Masrilayanti, 2021). Dengan berkembangnya teknologi ditemukan balok kastela yang membuat penggunaan profil baja lebih bervariasi. Balok kastela merupakan teknologi dalam konstruksi

baja yang menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dengan berat profil IWF yang sama (Kerdal, 1984).

Balok Castella adalah balok yang dibentuk dari profil balok WF atau H dengan cara memodifikasi profil baja pada bagian badannya sehingga mempunyai ketinggian 1/2 kali lebih tinggi dibandingkan ukuran normalnya (Wiramas.com, 2021). Balok Kastella mempunyai pola teratur berbentuk segi enam (*hexagonal*).



Gambar 1. Konstruksi Baja Kastela (sumber : (Wiramas.com, 2021))

Lubang pada bagian badan balok baja menghasilkan penambahan tinggi sehingga inersia penampang menjadi lebih besar dari balok profil IWF. Hal ini menghasilkan nilai kekakuan semakin besar dengan berat balok profil yang sama.

Partono dkk (Partono et al., 2018) telah melakukan penelitian untuk mendapatkan pola distribusi jarak antar lubang terbaik untuk menghasilkan kapasitas beban yang lebih besar. Pengaruh posisi lubang dari tumpuan harus diperhatikan untuk digunakan secara optimum, mengingat semakin jauh jarak lubang dari tumpuan maka berat sendiri dari balok baja tersebut semakin besar disampaikan pada penelitian (Ahad Ghifar Ente et al., 2017). Berdasarkan pada studi literatur tersebut maka dilakukan lah penelitian ini.

Penelitian ini mengkaji perilaku balok kastela yang diberikan beban terpusat pada tengah bentang balok dengan variasi jarak antar lubang pada bagian badan balok kastela dan panjang bentang (Agrawal & Bhatt, 2017). Kapasitas balok kastela dihitung dengan menggunakan *software MSC Patran Nastran*.

Hasil penelitian ini dapat menjadi pedoman dalam pemilihan variasi jarak antar lubang dan panjang bentang dari *Castellated Beam*. Serta memberikan pemikiran terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil berkenaan dengan perencanaan struktur konstruksi baja kastela.

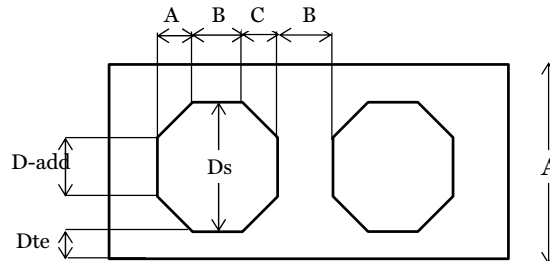
2. METODA PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan metode analisis dengan bantuan aplikasi *software MSC Patran* dan *MSC Nastran* dengan melakukan pemodelan balok kastela dengan bentuk lubang segi delapan (*octagonal*) (Frans et al., 2017) pembebanan secara statik monotonik di tengah bentang pada balok sederhana dengan perletakan jepit-jepit pada ujung bentang balok, sampai beban ultimit terlewati dengan mekanisme displacement control dan digunakan kriteria dari leleh Von Misen.

Pada penelitian ini variabel yang akan dibandingkan adalah perpindahan (*displacement*) yang ditimbulkan dari pemberian beban yang sama dengan variasi panjang bentang dan jarak antar lubang.

Pada penelitian ini, pemodelan balok kastela diperoleh dari profil IWF 150.75.5.7 yang dimodifikasi. Pemodelan dilakukan dengan 5 variasi bentang yaitu 4,5 m, 5 m, 5,5 m, 6 m, dan 6,5 m. Setiap bentang dimodelkan dengan 3 variasi jarak antar lubang dengan ketinggian (hc) yang sama.

Berikut gambar parameter dimensi lubang segi delapan (Shakir Mahmood, 2019):



Gambar 2. Parameter Dimensi Lubang Segi Delapan.

Berikut variasi jarak antar lubang pada pemodelan balok kastela tipe lubang segi delapan :

Tabel 1. Variasi Jarak Antar Lubang dengan Bentang 4,5 meter

No Variasi	H (mm)	Ds (mm)	D-add (mm)	Dtee (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	B (mm)
1					46.8	39	46.8	39
2	300	231	75	34.5	46.8	78	46.8	78
3					46.8	117	46.8	117

Tabel 2. Variasi Jarak Antar Lubang dengan Bentang 5 meter

No Variasi	H (mm)	Ds (mm)	D-add (mm)	Dtee (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	B (mm)
1					46.8	39	46.8	39
2	300	231	75	34.5	46.8	78	46.8	78
3					46.8	117	46.8	117

Tabel 3. Variasi Jarak Antar Lubang dengan Bentang 5,5 meter

No Variasi	H (mm)	Ds (mm)	D-add (mm)	Dtee (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	B (mm)
1					46.8	39	46.8	39
2	300	231	75	34.5	46.8	78	46.8	78
3					46.8	117	46.8	117

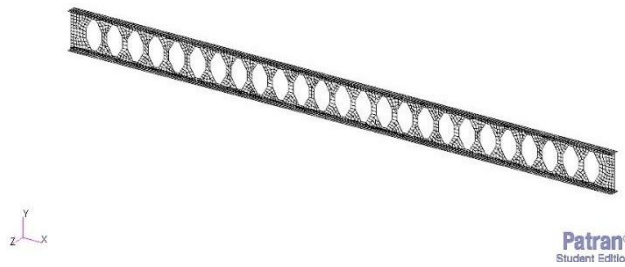
Tabel 4. Variasi Jarak Antar Lubang dengan Bentang 6 meter

No Variasi	H (mm)	Ds (mm)	D-add (mm)	Dtee (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	B (mm)
1					46.8	39	46.8	39
2	300	231	75	34.5	46.8	78	46.8	78
3					46.8	117	46.8	117

Tabel 5. Variasi Jarak Antar Lubang dengan Bentang 6,5 meter

No Variasi	H (mm)	Ds (mm)	D-add (mm)	Dtee (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	B (mm)
1					46.8	39	46.8	39
2	300	231	75	34.5	46.8	78	46.8	78
3					46.8	117	46.8	117

Elemen struktur dimodelkan dengan *software MSC Patran* sebagai elemen hingga pelat QUAD4 (Mscsoftware, 2016) dengan meshing elemen (Tjerita, 2018) seperti gambar 3 berikut:



Gambar 3. Pemodelan Struktur Balok Kastela

Pada pemodelan (Al-Thababwee, 2017) diberikan jenis perletakan jepit-jepit di kedua ujung bentang. Sehingga balok bisa menahan moment dan perpindahan (translasi).

Data propertis yang dimasukkan pada pemodelan balok kastela segi delapan adalah nilai elastisitas (E), poisson ratio (ν) dan tegangan regangan baja.

Beban yang diberikan adalah statik monotonik di tengah bentang. Beban didistribusikan ke semua titik (node) yang berada di tengah bentang dengan peningkatan perpindahan yang dikontrol sedemikian rupa. Sehingga dapat diketahui titik leleh dan ultimit dari balok kastela segi delapan.

Setelah melakukan pemodelan (Pranata & Aji, 2019) dan menginput data pada program, maka dilakukan *running* program dengan menggunakan *software MSC Nastran*, sehingga didapatkan output beban dan deformasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perbandingan Nilai Kekakuan dan Daktilitas pada Variasi Jarak Antar Lubang dengan Bentang yang Sama

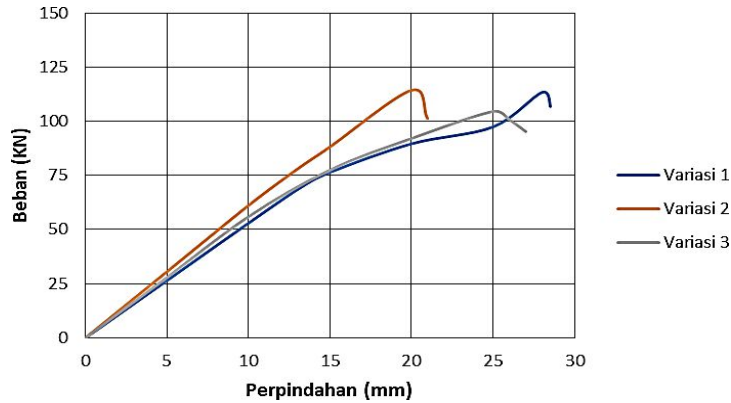
Daktilitas yang ditinjau pada penelitian ini adalah daktilitas perpindahan dimana daktilitas perpindahan diperoleh dari perbandingan perpindahan pada saat ultimit dengan saat leleh pertama.

Bentang 4,5 Meter

Hasil analisis pemodelan numeris dari balok kastela tipe *octagonal* menggunakan metode elemen hingga dan *software MSC Patran Nastran* dengan variasi jarak antar lubang dengan bentang 4,5 m dapat dilihat pada tabel 6 dan gambar 4.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Analisis Variasi Jarak Antar Lubang Balok Kastela tipe Octagonal Bentang 4,5 meter

No Variasi	Tinggi Lubang (mm)	Jarak Tepi Lubang (mm)	Jumlah Antar Lubang	Perpindahan (mm)	Beban Ultimit (KN)	Kekakuan (KN/mm)	Daktilitas
1	231	39	25	28	107.13	5.3	2.15
2		78	17	20	114.33	6.1	1.54
3		117	13	26	100.75	5.6	1.73



Gambar 4. Grafik Beban Vs Perpindahan Profil IWF 300.75.5.7 CB dengan Variasi Jarak Antar Lubang Bentang 4,5 m

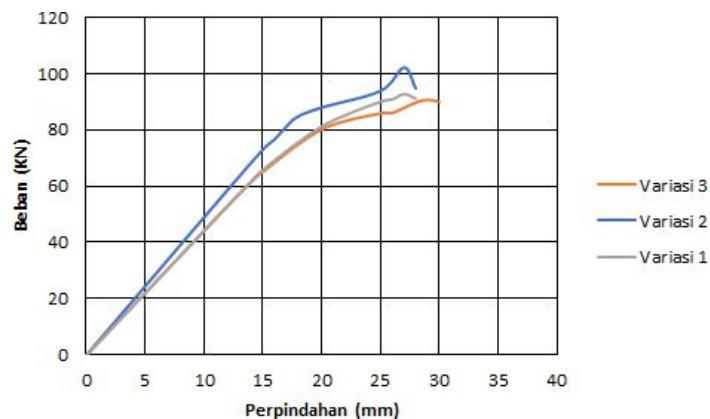
Dari grafik yang telah diplot dapat dilihat bahwa setiap variasi jarak antar lubang pada balok kastela tipe *octagonal* memberikan hasil analisa yang berbeda pada pola beban, perpindahan kekakuan dan daktilitas (Badan Standarisasi Nasional, 2002a). Beban ultimit dan nilai kekakuan terbesar dihasilkan oleh balok kastela dengan jarak antar tepi lubang 78 mm yaitu 114,33 KN dengan perpindahan yang terjadi sebesar 20 mm dan nilai kekakuan 6,1 KN/mm. Sedangkan nilai daktilitas terbesar dihasilkan oleh balok kastela dengan jarak antar tepi lubang 39 mm yaitu sebesar 2,15.

Bentang 5 Meter

Hasil analisis pemodelan numeris dari balok kastela tipe *octagonal* menggunakan metode elemen hingga dan *software MSC Patran Nastran* dengan variasi jarak antar lubang dengan bentang 5 m dapat dilihat pada tabel 7 dan gambar 5.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Analisis Variasi Jarak Antar Lubang Balok Kastela tipe Octagonal Bentang 5 meter

No Variasi	Tinggi Lubang (mm)	Jarak Antar Tepi Lubang (mm)	Jumlah Lubang	Perpindahan (mm)	Beban Ultimit (KN)	Kekakuan (KN/mm)	Daktilitas
1	231	39	27	27	92.95	4.42	1.80
2		78	19	27	102.31	4.90	1.69
3		117	15	29	90.54	4.41	1.93



Gambar 5. Grafik Beban Vs Perpindahan Profil IWF 300.75.5.7 CB dengan Variasi Jarak Antar Lubang Bentang 5 m

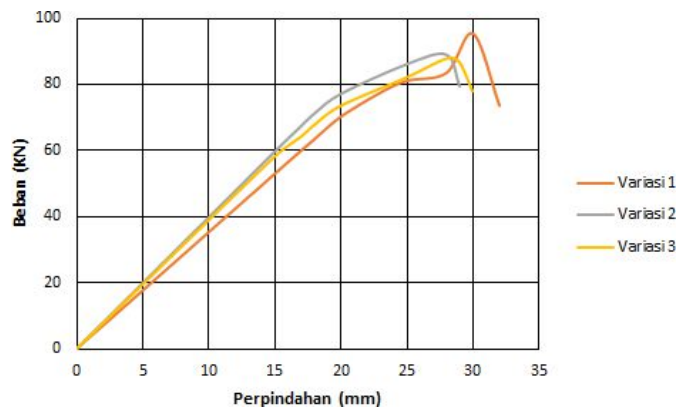
Dari grafik yang telah diplot dapat dilihat bahwa setiap variasi jarak antar lubang pada balok kastela tipe *octagonal* memberikan hasil analisa yang berbeda pada pola beban, perpindahan kekakuan dan daktilitas (Haris et al., 2023). Beban ultimit dan nilai kekakuan terbesar dihasilkan oleh balok kastela dengan jarak antar tepi lubang 78 mm yaitu 102,31 KN dengan perpindahan yang terjadi sebesar 27 mm dan nilai kekakuan 4,9 KN/mm. Dan nilai daktilitas terbesar dihasilkan oleh balok kastela dengan jarak antar tepi lubang 117 mm yaitu sebesar 1,93.

Bentang 5,5 Meter

Hasil analisis pemodelan numeris dari balok kastela tipe *octagonal* menggunakan metode elemen hingga dan *software MSC Patran Nastran* dengan variasi jarak antar lubang dengan bentang 5 m dapat dilihat pada tabel 8 dan gambar 6.

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Analisis Variasi Jarak Antar

No Variasi	Tinggi Lubang (mm)	Jarak Antar Tepi Lubang (mm)	Jumlah Lubang	Perpindahan (mm)	Beban Ultimit (KN)	Kekakuan (KN/mm)	Daktilitas
1	231	39	31	30	95.29	3.53	1.76
2		78	21	28	89.02	3.98	1.65
3		117	15	28	87.75	3.83	1.40



Gambar 6. Grafik Beban Vs Perpindahan Profil IWF 300.75.5.7 CB dengan Variasi Jarak Antar Lubang Bentang 5,5 m

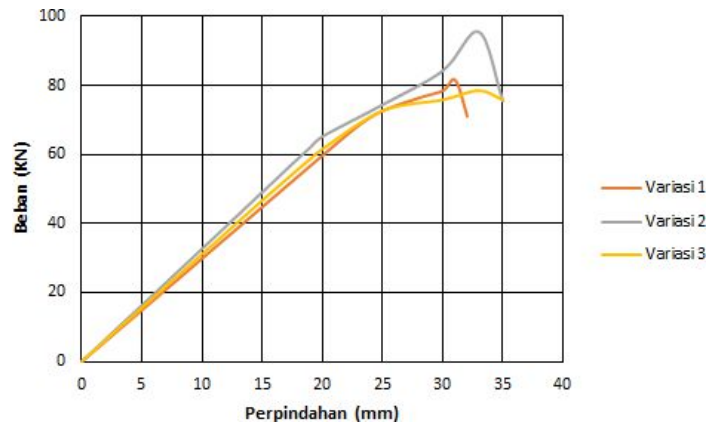
Dari grafik yang telah diplot dapat dilihat bahwa setiap variasi jarak antar lubang pada balok kastela tipe *octagonal* memberikan hasil analisa yang berbeda pada pola beban, perpindahan kekakuan dan daktilitas. Beban ultimit dan nilai daktilitas terbesar dihasilkan oleh balok kastela dengan jarak antar tepi lubang mm yaitu 95,29 KN dengan perpindahan yang terjadi sebesar 30 mm dan nilai kekakuan terbesar dihasilkan oleh balok kastela dengan jarak antar tepi lubang 78 mm yaitu sebesar 3,98 KN/mm.

Bentang 6 Meter

Hasil analisis pemodelan numeris dari balok kastela tipe *octagonal* menggunakan metode elemen hingga dan *software MSC Patran Nastran* dengan variasi jarak antar lubang dengan bentang 5 m dapat dilihat pada tabel 9 dan gambar 7.

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Analisis Variasi Jarak Antar Lubang Balok Kastela tipe Octagonal Bentang 6 meter

No Variasi	Tinggi Lubang (mm)	Jarak Antar Tepi Lubang (mm)	Jumlah Lubang	Perpindahan (mm)	Beban Ultimit (KN)	Kekakuan (KN/mm)	Daktilitas
1	231	39	33	31	81.55	2.99	1.35
2		78	23	33	95.50	3.27	1.74
3		117	17	33	78.55	3.11	1.74



Gambar 7. Grafik Beban Vs Perpindahan Profil IWF 300.75.5.7 CB dengan Variasi Jarak Antar Lubang Bentang 6 m

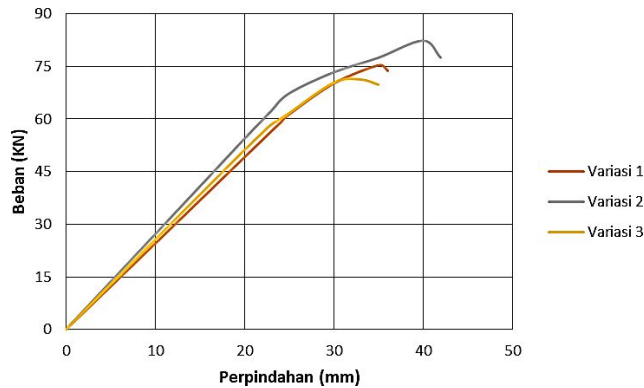
Dari grafik yang telah diplot dapat dilihat bahwa setiap variasi jarak antar lubang pada balok kastela tipe *octagonal* memberikan hasil analisa yang berbeda pada pola beban, perpindahan kekakuan dan daktilitas. Beban ultimit dan nilai kekakuan terbesar dihasilkan oleh balok kastela dengan jarak antar tepi lubang 78 mm yaitu 95,50 kn dengan perpindahan yang terjadi sebesar 33 mm dan nilai kekakuan 3,27 kn/mm. Serta nilai daktilitas terbesar dihasilkan oleh balok kastela dengan jarak antar tepi lubang 117 mm dan 78 mm yaitu sebesar 1,74.

Bentang 6,5 Meter

Hasil analisis pemodelan numeris dari balok kastela tipe *octagonal* menggunakan metode elemen hingga dan *software MSC Patran Nastran* dengan variasi jarak antar lubang dengan bentang 5 m dapat dilihat pada tabel 10 dan gambar 8.

Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Analisis Variasi Jarak Antar Lubang Balok Kastela tipe Octagonal Bentang 6,5 meter

No Variasi	Tinggi Lubang (mm)	Jarak Antar Tepi Lubang (mm)	Jumlah Lubang	Perpindahan (mm)	Beban Ultimit (KN)	Kekakuan (KN/m)	Daktilitas
1	231	39	37	35	75.27	2.5	1.46
2		78	25	40	82.23	2.7	1.82
3		117	19	33	71.17	2.6	1.50



Gambar 8. Grafik Beban Vs Perpindahan Profil IWF 300.75.5.7 CB dengan Variasi Jarak Antar Lubang Bentang 6,5 m

Dari grafik yang telah diplot dapat dilihat bahwa setiap variasi jarak antar lubang pada balok kastela tipe *octagonal* memberikan hasil analisa yang berbeda pada pola beban, perpindahan kekakuan dan daktilitas. Beban ultimit, nilai kekakuan dan daktilitas terbesar dihasilkan oleh balok kastela dengan jarak antar tepi lubang 78 mm yaitu 82,23 KN dengan perpindahan yang terjadi sebesar 20 mm dan nilai kekakuan 2,7 KN/mm serta nilai daktilitas 1,82.

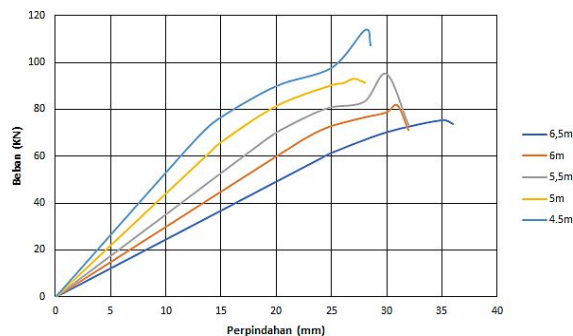
3.2. Perbandingan Nilai Kekakuan dan Daktilitas pada Variasi Panjang Bentang dengan Jarak Antar Lubang yang Sama

Variasi 1

Pada variasi 1 dengan jarak antar tepi lubang 39 mm dimodelkan dengan 5 variasi bentang yaitu 4,5 m, 5 m, 5,5 m, 6 m dan 6,5 m. Dalam analisis yang dilakukan didapatkan perbandingan beban dan perpindahan dari masing-masing bentang, seperti pada tabel 11 dan gambar 9.

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Analisis Variasi Bentang dengan Jarak Antar Tepi Lubang 39 mm

Panjang Bentang (m)	Tinggi Lubang (mm)	Jarak Antar Tepi Lubang (mm)	Jumlah Lubang	Perpindahan (mm)	Beban Ultimit (KN)	Kekakuan (KN/mm)	Daktilitas
4,5	231	39	25	28	107.1272	5.3	2.15
5			27	27	92.95273	4.4	1.80
5,5			31	30	95.28768	3.5	1.76
6			33	31	81.55458	3.0	1.35
6,5			37	35	75.26631	2.5	1.46



Gambar 9. Grafik Beban Vs Perpindahan Profil IWF 300.75.5.7 CB dengan Variasi Jarak Antar Lubang 39 mm

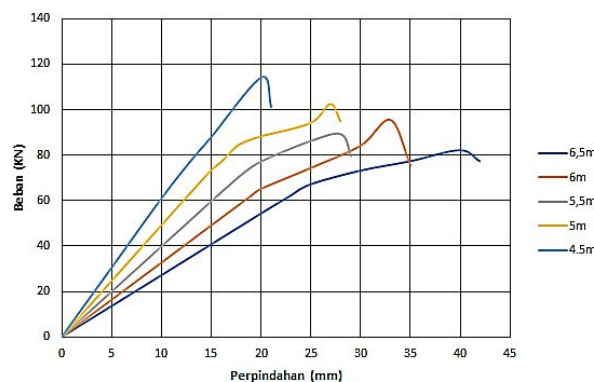
Dari grafik yang diplot dapat dilihat bahwa masing-masing bentang memberikan keterangan yang berbeda terkait dengan beban dan perpindahan. Secara umum penambahan panjang bentang pada variasi 1 menghasilkan beban ultimit yang lebih kecil dan perpindahan yang lebih besar. Serta penambahan bentang menghasilkan nilai kekakuan dan daktilitas yang lebih kecil.

Variasi 2

Pada variasi 2 dengan jarak antar tepi lubang 78 mm dimodelkan dengan 5 variasi bentang yaitu 4,5 m, 5 m, 5,5 m, 6 m dan 6,5 m. Dalam analisis yang dilakukan didapatkan perbandingan beban dan perpindahan dari masing-masing bentang, seperti pada tabel 12 dan gambar 10.

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Analisis Variasi Bentang dengan Jarak Antar Tepi Lubang 78 mm

Panjang Bentang (m)	Tinggi Lubang (mm)	Jarak Antar Tepi Lubang (mm)	Jumlah Lubang	Perpindahan (mm)	Beban Ultimit (KN)	Kekakuan (KN/m)	Daktilitas (m)
4,5	231	78	17	20	114.33	6.1	1.54
5			19	27	102.3084	4.9	1.7
5,5			21	28	85.01992	4.0	1.6
6			23	33	95.50403	3.3	1.7
6,5			25	40	82.23242	2.7	1.8



Gambar 10. Grafik Beban Vs Perpindahan Profil IWF 300.75.5.7 CB dengan Variasi Jarak Antar Lubang 78 mm

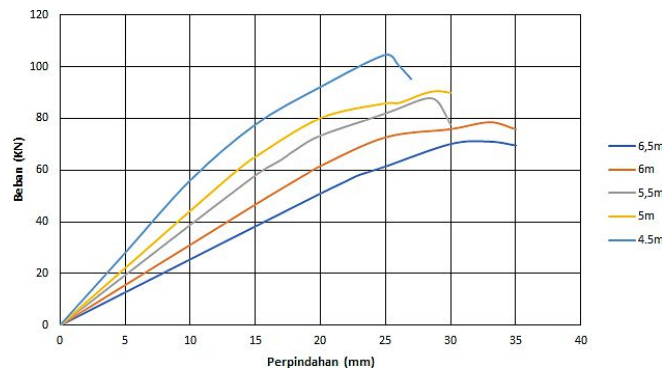
Dari grafik yang diplot dapat dilihat bahwa masing-masing bentang memberikan keterangan yang berbeda terkait dengan beban dan perpindahan. Secara umum penambahan panjang bentang pada variasi 2 menghasilkan beban ultimit yang lebih kecil dan perpindahan yang lebih besar. Serta penambahan bentang menghasilkan nilai kekakuan lebih kecil dan daktilitas yang lebih besar.

Variasi 3

Pada variasi 3 dengan jarak antar tepi lubang 117 mm dimodelkan dengan 5 variasi bentang yaitu 4,5 m, 5 m, 5,5 m, 6 m dan 6,5 m. Dalam analisis yang dilakukan didapatkan perbandingan beban dan perpindahan dari masing-masing bentang, seperti pada tabel 13 dan gambar 11.

Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Analisis Variasi Bentang dengan Jarak Antar Tepi Lubang 117 mm

Panjang Bentang (m)	Tinggi Lubang (mm)	Jarak Antar Tepi Lubang (mm)	Jumlah Perpindahan Lubang (mm)	Beban Ultimit (KN)	Kekakuan (KN/m)	Daktilitas	
4,5	231	117	13	26	100.75	5.6	1.73
5			15	29	90.5418	4.4	1.93
5,5			15	28	87.75345	3.8	1.40
6			17	33	78.55166	3.1	1.74
6,5			19	33	71.17361	2.6	1.50

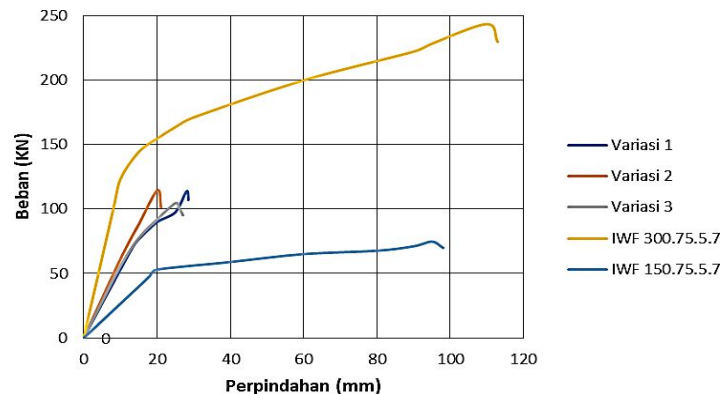


Gambar 11. Grafik Beban Vs Perpindahan Profil IWF 300.75.5.7 CB dengan Variasi Jarak Antar Lubang 117 mm

Dari grafik yang diplot dapat dilihat bahwa masing-masing bentang memberikan keterangan yang berbeda terkait dengan beban dan perpindahan. Secara umum penambahan panjang bentang pada variasi 3 menghasilkan beban ultimit yang lebih kecil dan perpindahan yang lebih besar. Serta penambahan bentang menghasilkan nilai kekakuan dan daktilitas yang lebih kecil.

3.3. Perbandingan Balok Kastela dengan Balok Profil IWF

Penampang Standar adalah profil baja IWF 150.75.5.7 yang diubah menjadi baja kastela dengan dimensi 300.75.5.7 dengan 3 variasi jarak antar lubang dan 5 variasi bentang. Sedangkan penampang non kastela merupakan penampang IWF 300.75.5.7 yang pada bagian badan tidak dilubangi. Gambar 11 memperlihatkan grafik perbandingan beban dan perpindahan antara balok kastela terhadap penampang standard dan non kastela



Gambar 12. Grafik Beban Vs Perpindahan Profil IWF 300.75.5.7 CB, IWF 300.75.5.7 Non Kastela dan IWF 150.75.5.7 bentang 4,5 m

lebih kecil dibandingkan dengan profil penampang standar dan non kastela. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pelubangan pada bagian badan penampang balok menghasilkan perpindahan yang kecil. Dan dari grafik diatas juga terlihat secara umum penambahan tinggi penampang balok menghasilkan beban ultimit yang lebih besar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan penambahan tinggi penampang yang diakibatkan perubahan profil standar menjadi balok kastela menghasilkan beban ultimit yang lebih besar.

Variasi jarak antar lubang mempengaruhi jumlah lubang yang didapatkan dalam satu bentang yang sama. Penampang yang memiliki nilai beban ultimit dan kekakuan terbesar adalah IWF 300.75.5.7 CB dengan variasi jarak antar lubang 78 mm dan penampang yang memiliki daktilitas terbesar adalah IWF 300.75.5.7 CB dengan variasi jarak antar lubang 39 mm.

Penambahan bentang menghasilkan nilai kekakuan semakin kecil dan daktilitas semakin besar.

Pengaruh jarak antar lubang tidak bisa disimpulkan secara umum karena perilaku balok kastela ini menunjukkan kondisi optimum pada jarak antar lubang tertentu, tetapi untuk jarak antar lubang 39 mm dan 78 mm, menghasilkan beban ultimit yang semakin besar, kekakuan semakin kecil dan daktilitas semakin besar. Untuk jarak antar lubang 78 mm dan 117 mm hasilnya malah sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, V. V., & Bhatt, D. R. (2017). A Design Comparison of Castellated Beam for Different Parameters. *Kalpa Publications in Civil Engineering*, 1, 403–409.
- Ahad Ghifar Ente, A., Ahad Ghifar Ente, B., & J. D., P. (2017). Studi Numerik Perilaku Balok Kastela Terhadap Variasi Posisi Lubang dari Tumpuan. *Jurnal Sipil Statik*, 5(7), 425–434.
- Al-Thabthabee, D. H. W. (2017). Experimental Study of Effect of Hexagonal Holes Dimensions On Ultimate Strength of Castellated Steel Beam. *Kufa Journal of Engineering*, 8 No. 1, 97–107.
- Aryanti, R., & Masrilayanti. (2021). State of The Art of Seismic Risk and Loss Assessment in Structures. *E3S Web of Conferences* 331, 07013.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002a). *SNI-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002b). *SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Frans, R., Parung, H., Sandy, D., & Tonapa, S. (2017). Numerical Modelling of Hexagonal Castellated Beam under Monotonic Loading. *Procedia Engineering*.
- Hadi Y. CE. (2000). *Konstruksi Baja Lengkap*. Yustadi.
- Haris, S., Sari, P. K., & Masrilayanti. (2023). The Effects of Different Opening Spacing for Cantilever Castellated Beam. *AIP Conference Proceedings*.
- Kerdal, D. and D. A. N. (1984). *Failure Modes for Castellated beam*. 4:298.
- Mscsoftware. (2016). *Online Training Finite Element Method*. NAS120.
- Oentoeng Oentoeng. (2000). *Konstruksi Baja*. Lembaga Penelitian dan Kepada Masyarakat Universitas Kristen PETRA.
- Partono, W., Sukamta, Hardiyati, S., & Budi, L. (2018). Optimasi Distribusi Lubang Pada Balok Baja Kastela. *Jurnal Teknik Undip*, 39(1), 1–8. <https://doi.org/doi: 10.14710/teknik.v39n1.12234>
- Pranata, & Aji, Y. (2019). *Metode Elemen Hingga I*. Universitas Kristen Maranata.
- Shakir Mahmood, A. J. H. A. H. (2019). Comparative Study of Structural Behaviour for Rolled and Castellated Steel Beams with Different Strengthening Techniques. *Civil Engineering Journal*, 5.
- Tjerita, K. N. (2018). *Metoda Elemen Hingga*. Universitas Udayana.
- Wiramas.com. (2021). *Apa Itu Balok Kastella? Cari Tahu Di Sini*. PT. Wiramas Indobangun.