

Perilaku Histeresis Sambungan *Circular Hollow Section* (CHS) Tipe N Akibat Beban Siklik

Gandhi Wisnu Hari Murti^{1,*}, Budi Suswanto¹, Triwulan¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: gandhiwisnu42@gmail.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	17 Juni 2024	<i>Failure in steel construction using circular hollow section (CHS) profile often occurs at the joint. The test results show that there is high stress in the joint section, making failures occur in that area, because plastic hinge will form first at the joint section. Dynamic loads work continuously can also increase the chance of joint failure. Therefore, it is necessary to analyze the capacity of circular hollow section (CHS) steel connections through hysteretic curves due to dynamic loads acting on the structure. In this research, numerical analysis using ABAQUS auxiliary program has been conducted to validate the experimental test. The ultimate capacity, ductility ratio, and failure modes of the joints have also been evaluated and compared between the numerical analysis and the experimental test results.</i>
Diperbaiki	29 Juli 2024	
Disetujui	29 Juli 2024	

Keywords: circular hollow section, joint, jacket, hysteretic.

Abstrak
Kegagalan pada konstruksi baja tipe *circular hollow section* (CHS) ini sering kali terjadi pada bagian sambungan. Hasil pengujian menunjukkan adanya tegangan yang tinggi pada bagian sambungan sehingga membuat kegagalan sering terjadi pada area tersebut, dikarenakan sendi plastis akan terbentuk terlebih dahulu pada bagian sambungan. Beban dinamis yang bekerja secara terus menerus juga dapat memperbesar peluang terjadinya kegagalan sambungan. Oleh karena itu, harus dilakukan analisis mengenai kapasitas sambungan baja tipe *circular hollow section* (CHS) melalui kurva histeresis akibat dari adanya beban dinamis yang bekerja pada struktur. Dalam penelitian ini, telah dilakukan analisis numerik menggunakan program bantu ABAQUS untuk memvalidasi hasil uji eksperimental. Kapasitas *ultimate* sambungan, rasio daktilitas, dan mode kegagalan juga telah dievaluasi dan dibandingkan antara hasil analisis numerik dan hasil uji eksperimental.

Kata kunci: circular hollow section, sambungan, jacket, histeresis.

1. Pendahuluan

Produksi migas merupakan aktivitas yang sangat penting di seluruh dunia yang dilakukan dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan energi dunia yang berdampak pada perputaran ekonomi dunia [1]. Sampai saat ini migas masih menjadi energi utama untuk dunia transportasi baik transportasi darat, laut, maupun udara. Sehingga, harus dipastikan bahwa di sektor hulu migas produksi tetap berjalan lancar tanpa ada penurunan produksi. Salah satu faktor penunjang produksi migas adalah konstruksi *jacket platform* (**Gambar 1**).

Konstruksi *jacket platform* banyak digunakan sebagai penunjang produksi minyak dan gas di lepas pantai [2]. Lebih dari 95% anjungan lepas pantai di dunia menggunakan *jacket platform* [3]. Struktur *jacket platform* ini biasanya digunakan untuk kondisi laut dengan kedalaman tidak lebih dari 500 m karena pertimbangan faktor ekonomi. Dalam konstruksinya, *jacket platform* dibuat menggunakan baja tubular (*Circular-Hollow Section*) yang merupakan salah satu material dengan berbagai kelebihan, yaitu ekonomis, keindahan, dan instalasi yang mudah membuat material ini banyak digemari oleh para

ahli dibidang konstruksi [4]. Selain itu, banyak struktur baja tubular bentang panjang yang berhasil di daerah dengan kategori risiko gempa tinggi karena dianggap keuletannya (*ductility*) mampu untuk menyerap energi melalui perilaku histeresisnya [5]. Faktor durabilitas dan kemudahan pemeliharaan di lingkungan yang ekstrem merupakan faktor utama digunakannya baja tubular jenis *circular hollow section* pada *jacket platform* [6].

Namun, selain kelebihan yang dimiliki struktur baja juga mempunyai kelemahan. Seperti yang terjadi pada gempa Mexico 1985, dan gempa Northridge 1994 menunjukkan bahwa ada kelemahan pada struktur baja [7]. Kelemahan itu banyak diakibatkan karena terjadinya kegagalan di bagian sambungan dari *tubular member*. Kegagalan itu dapat terjadi dibagian sambungan dikarenakan adanya konsentrasi tegangan yang mengakibatkan sambungan menjadi rentan terjadi kegagalan *fatigue* dalam struktur baja tubular [8]. Berdasarkan kondisi lingkungannya, *Jacket platform* beroperasi dalam lingkungan ekstrem yang menjadi salah satu penyebab keagalannya [9].

Beban gelombang yang terjadi secara terus-menerus dan akan memperbesar risiko terjadinya kegagalan *fatigue* [10]. Korosi juga merupakan aspek jangka panjang yang tidak dapat dihindari yang dapat mengakibatkan terkikisnya material baja sehingga terjadi penurunan kekuatan struktur [11]. Posisi Indonesia yang berada pada pertemuan empat lempeng tektonik mengakibatkan Indonesia menjadi wilayah yang paling sering terjadi gempa sehingga berdampak pada bertambahnya beban dinamis yang diterima oleh struktur *jacket platform* [12].



Gambar 1. Jacket Platform [17]

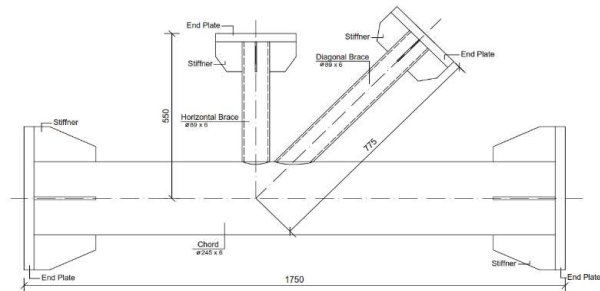
Oleh karena itu, mengingat konstruksi *jacket platform* beroperasi pada lingkungan yang ekstrem maka sangatlah penting untuk dilakukan studi dan analisis terkait bagian yang rawan terjadi kegagalan yang dalam hal ini adalah bagian sambungan. Pada tahun 2009, telah dilakukan penelitian eksperimental [13] yang membahas mengenai perilaku histeresis dari sambungan tubular tipe N (**Gambar 2**) dengan beberapa variasi, yaitu N *joint* tanpa perkuatan, N *joint* diperkuat dengan *doubler plate*, N *joint* diisi beton, dan N *joint* diperkuat dengan *doubler plate* dan diisi beton. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada empat spesimen, kegagalan terjadi pada dinding *chord* atau *doubler plate* di perpotongan antara *horizontal brace* dan *chord*. Kurva histeresis yang dihasilkan dari keempat spesimen hampir sama yaitu cenderung gemuk dan stabil. Deformasi plastis yang besar pada dinding *chord* terlihat pada spesimen tanpa perkuatan, dengan perkuatan *doubler plate*, dan perkuatan *doubler plate* dengan diisi beton. Untuk spesimen dengan isian beton mengalami lokal *buckling* dan deformasi plastis pada bagian *brace* yang tidak berbahaya bagi struktur secara keseluruhan karena *brace* bukan merupakan member utama penyusun struktur.

Pada penelitian ini, disajikan analisis menggunakan metode elemen hingga untuk memvalidasi hasil penelitian eksperimental model spesimen A yang telah dilakukan pada tahun 2009 [13]. Selanjutnya, beberapa variasi juga disajikan

untuk mengetahui pengaruh rasio geometri β terhadap perilaku histeresis dengan *Circular Hollow Section* akibat beban siklik.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan basis metode elemen hingga menggunakan program bantu ABAQUS. Dalam simulasi numerik ini digunakan model spesimen tipe A yang akan divalidasi dengan parameter geometri dan beberapa input *material properties* Q345B sesuai dengan hasil pengujian secara eksperimental. dalam penelitian ini juga disajikan beberapa variasi untuk mengetahui pengaruh variasi rasio geometri terhadap kapasitas sambungan baja *circular hollow section*. Spesifikasi geometri dan material dapat dilihat pada **Tabel 1**. Rasio geometri yang digunakan dalam penelitian ini dipilih sesuai dengan batas *validity range* yang tertera dalam *codes API RP 2A WSD* [14].



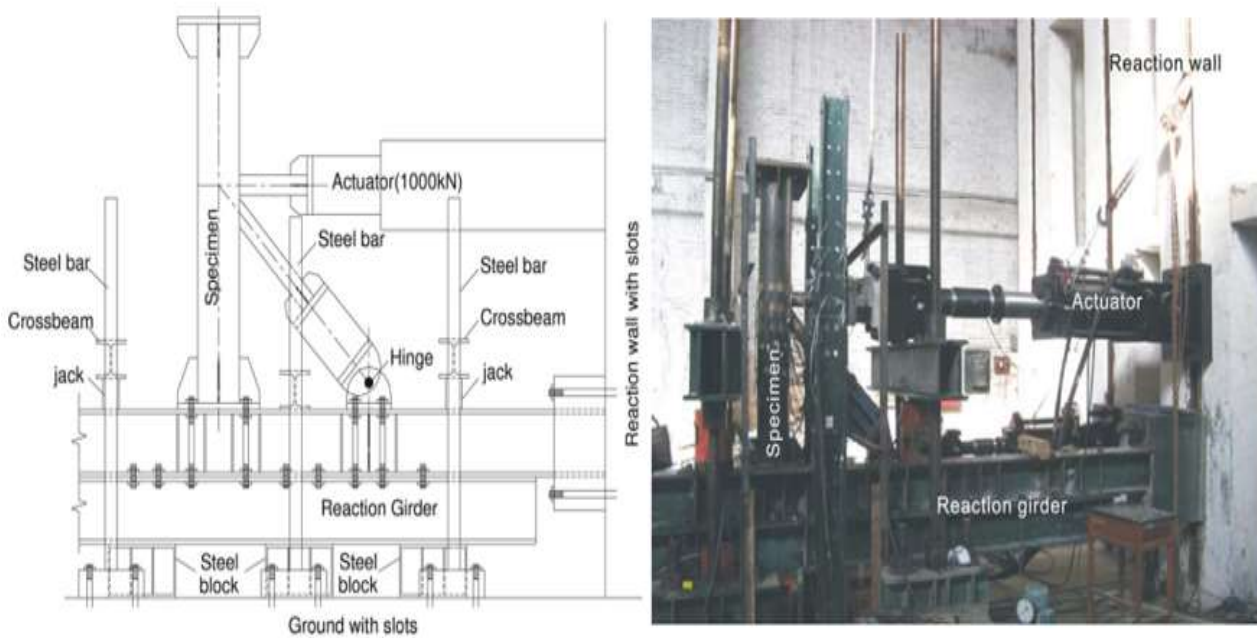
Gambar 2. Konfigurasi Model [13]

Skema pengujian dilakukan dengan memberikan *input* pembebanan siklik melalui *actuator* dengan kapasitas 1000 kN pada tarik dan tekan yang dikenakan secara langsung pada *horizontal bracing* (**Gambar 3**). Ketika *actuator* memberikan dorongan seperti pada **Gambar 4** (a), maka *horizontal bracing* (N_1) akan mengalami tekanan dan *diagonal bracing* (N_2) akan memberikan tarikan sebagai reaksi. Namun sebaliknya pada **Gambar 4** (b) ketika *actuator* memberikan tarikan maka *horizontal bracing* (N_1) akan mengalami tarikan dan *diagonal bracing* (N_2) akan mengalami tekanan sebagai reaksi. Ketika *actuator* bergerak memberikan dorongan maupun tarikan secara berulang, beban siklik seperti pada **Gambar 5** diaplikasikan pada spesimen.

Tanda positif menunjukkan *actuator* memberikan gaya tarikan, namun sebaliknya tanda negatif menunjukkan *actuator* memberikan gaya dorong. Pada pemodelan validasi digunakan siklus pembebanan sebanyak delapan siklus sesuai dengan siklus pembebanan pada uji eksperimental (**Gambar 5a**), namun pada pemodelan lanjutan siklus pembebanan ditambahkan sebanyak 15 siklus (**Gambar 5b**) hingga terjadi penurunan kekuatan (*strength degradation*).

Tabel 1. Spesifikasi Geometri dan *Material Properties*

Spesimen	Chord	Brace	β (d/D)	τ (t/T)	γ (D/2T)	θ (Sudut Bracing)	Mutu Baja (MPa)	
							F_y	F_u
A	Ø 245 x 6	Ø 89 x 6	0.36	1.0	20.4	45°	345	572
A1	Ø 245 x 6	Ø 49 x 6	0.2	1.0	20.4	45°	345	572
A2	Ø 245 x 6	Ø 122.5 x 6	0.5	1.0	20.4	45°	345	572
A3	Ø 245 x 6	Ø 183.75 x 6	0.75	1.0	20.4	45°	345	572

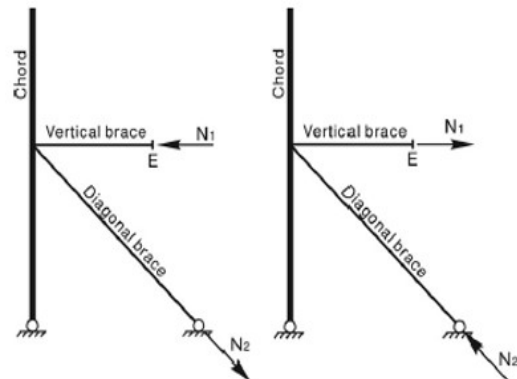


Gambar 3. Skema Pengujian [13]

Tabel 2. *Increment* Beban dan Perpindahan [13]

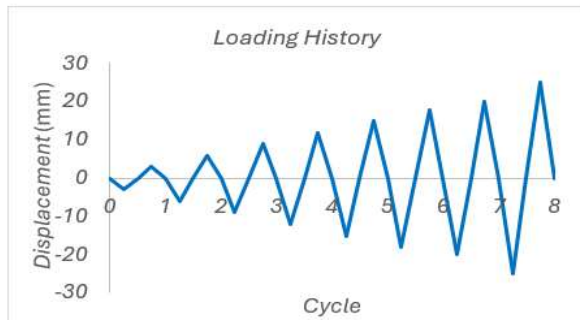
Parameter	Nilai
Load Increment ΔN_1 (kN)	50
Displacement increment ΔU_E (mm)	3

Pada pemodelan ABAQUS dilakukan dalam beberapa tahapan seperti *input geometri*, *material properties*, *assembly parts*, *boundary conditions*, *meshing parts*, *input loading history* dan *output*. *Input geometri* dilakukan menggunakan model *3D Deformable* dengan tipe *extrusion* yang kemudian diaplikasikan material berupa kurva *stress-strain* seperti pada Gambar 6.

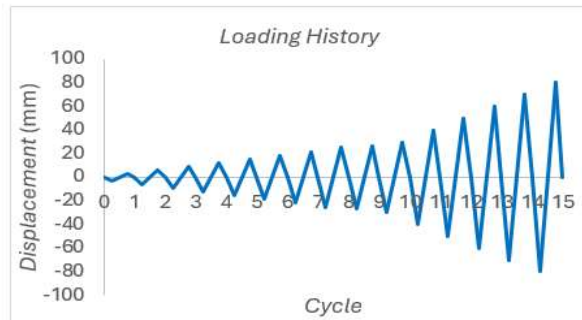


(a) *actuator* memberi dorongan (b) *actuator* memberi tarikan

Gambar 4. Kondisi Pembebanan [13]



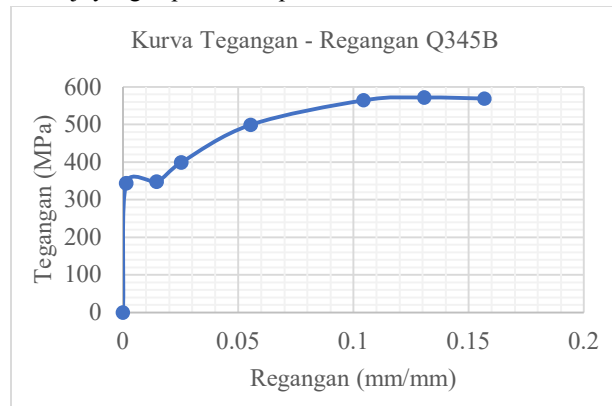
(a) Siklus Pembebanan Model Validasi



(b) Siklus Pembebanan Model Lanjutan

Gambar 5. Siklus Pembebanan

Setelah pendefinisian material selesai dilakukan, maka selanjutnya dilakukan *assembly part* untuk menggabungkan *part* yang telah dibuat menjadi satu kesatuan seperti spesimen uji yang dapat dilihat pada **Gambar 7**.



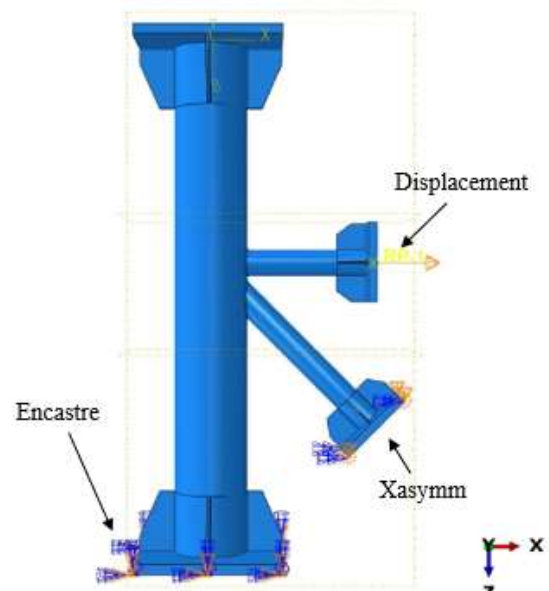
Gambar 6. Kurva *Stress-Strain* [15]



Gambar 7. *Assembly Parts*

Selanjutnya dilakukan pendefinisian *boundary conditions* untuk memberikan tumpuan pada spesimen uji. *Boundary conditions* yang digunakan dalam model penelitian ini ada 3 jenis seperti pada **Gambar 8**. Pertama adalah tipe ENCASTRE untuk merepresentasikan tumpuan jepit pada bagian bawah *chord*.

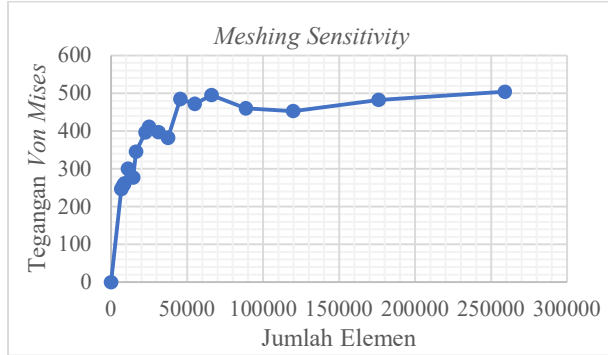
Yang kedua adalah tipe XASYMM yang digunakan untuk merepresentasikan tumpuan *hinge* dikarenakan ujung dari *diagonal brace* memiliki jarak tertentu dari titik *hinge* maka ketika terjadi rotasi di titik *hinge*, ujung dari *diagonal brace* akan bertranslasi karena terjadi perpindahan koordinat. Yang ketiga adalah *displacement* yang diberikan pada *horizontal brace*.



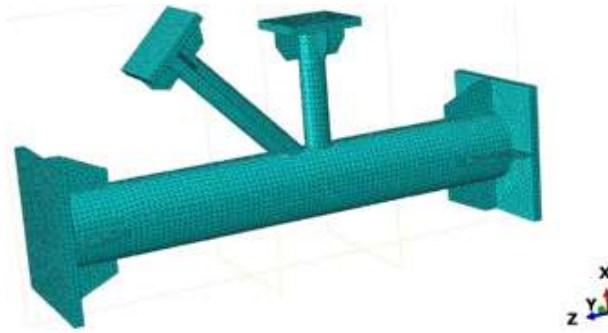
Gambar 8. *Boundary Conditions*

Pada penelitian ini, *meshing* dilakukan uji coba dengan berbagai variasi ukuran untuk mendapatkan hasil tegangan yang konvergen. Uji coba *meshing* dilakukan dengan memberikan *input* beban statis berupa gaya pada *horizontal bracing* dengan besar yang sama di setiap ukuran *mesh*. *Output* tegangan diambil pada salah satu titik yang dianggap merupakan area yang penting untuk dilakukan observasi karena memiliki *output* tegangan yang tinggi. Berikut ini adalah hasil uji coba variasi ukuran *meshing* (**Gambar 9**). Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa hasil *meshing* memiliki nilai yang konvergen pada jumlah elemen 66151 dengan ukuran

mesh 18 mm. oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan ukuran mesh sebesar 18 mm yang juga digunakan untuk meshing pada semua jenis model spesimen seperti pada Gambar 10.



Gambar 9. Meshing Sensitivity



Gambar 10. Hasil Mesh Part

Perhitungan secara analitis juga dilakukan dalam proses validasi pada penelitian ini dengan mengacu pada persamaan kapasitas sambungan baja jenis *circular hollow section* pada CIDECT (2008) [16]. Dalam CIDECT *Guidelines*, disajikan persamaan perhitungan kapasitas sambungan *circular hollow section* dengan bergantung pada 2 kriteria, yaitu *chord plastification* dan *punching shear* yang dapat dilihat seperti pada persamaan (1) dan (2)

a. *Chord Plastification*

$$N_{i,1}: Q_u \times Q_f \times \frac{f_{y0} \times t_0^2}{\sin \theta_i} \quad (1)$$

b. *Punching Shear*

$$N_{i,2}: 0.58 \times f_{y0} \times \pi \times d_i \times t_0 \times \frac{k_a}{\sin \theta_i} \quad (2)$$

Dimana,

$$k_a : \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin \theta_i}$$

$$Q_u : 1.65 (1 + 8\beta^{1.6}) \gamma^{0.3} \left[1 + \frac{1}{1.2 + \left(\frac{g}{t_0}\right)^{0.8}} \right]$$

$$Q_f : (1 - |n|)^{C_1}$$

$$n : \frac{N_0}{N_{pl,0}} + \frac{M_0}{M_{pl,0}} \text{ (stress ratio pada chord)}$$

$$C_1 : \text{Koefisien tegangan chord}$$

$$N_{i,1} : \text{Joint Resistance for Chord Plastification (kN)}$$

$$N_{i,2} : \text{Joint Resistance for Punching Shear (kN)}$$

$$Q_u : \text{Design Strength efek parameter geometri (kN)}$$

$$Q_f : \text{Chord Stress (MPa)}$$

$$g : \text{gap antara member brace (mm)}$$

$$t_0 : \text{Tebal dinding chord (mm)}$$

Nilai n dianggap 0 karena tidak ada gaya aksial yang bekerja pada *chord* sehingga berdampak pada nilai Q_f menjadi 1.

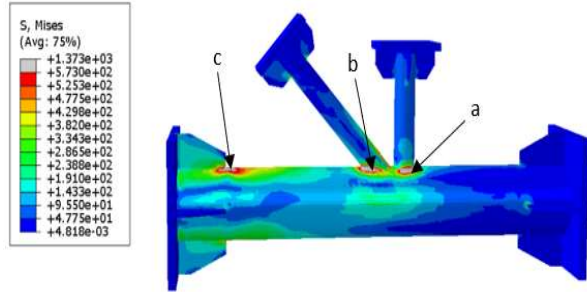
3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian numerik ini, didapatkan beberapa *output* diantaranya distribusi tegangan pada model dan kurva histeresis. Dari kurva histeresis yang dihasilkan, dilakukan analisis untuk mendapatkan parameter lain yaitu kapasitas *ultimate* dan nilai daktilitas dari model sambungan.

Pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2009 [13] menunjukkan bahwa terjadi robekan pada area *saddle* dari *horizontal bracing* yang diakibatkan karena adanya konsentrasi tegangan yang tinggi pada area tersebut. Pada pemodelan validasi, terdapat 3 titik tegangan yang bernilai melebihi tegangan *yield* dari material (Gambar 11). Tegangan tersebut pada area *saddle horizontal bracing* yang ditunjukkan oleh *point a*, area *saddle diagonal bracing* yang ditunjukkan oleh *point b*, dan area *chord* dekat *stiffener* yang ditunjukkan oleh *point c*. tegangan maksimum pada area *saddle* dapat terjadi karena adanya pembebanan secara aksial pada *horizontal bracing* yang mengakibatkan area *saddle* mengalami tegangan yang tinggi karena adanya diskontinuitas geometri yang berakibat pada pelelehan pada dinding *chord* sesuai dengan teori *stress concentration factor*, tetapi tegangan tinggi pada titik *b* terjadi karena adanya rekasi atas pembebanan aksial tarik pada *horizontal bracing* yang mengakibatkan *diagonal brace* mengalami tekanan, adanya translasi pada tumpuan *diagonal bracing* mengakibatkan tegangan tinggi terjadi pada *point b*. Tegangan tinggi pada *point c* terjadi karena adanya *stiffener* yang mengakibatkan area tersebut menjadi kaku sehingga terjadi tegangan yang tinggi pada area pertemuan elemen kaku dan elemen lemah

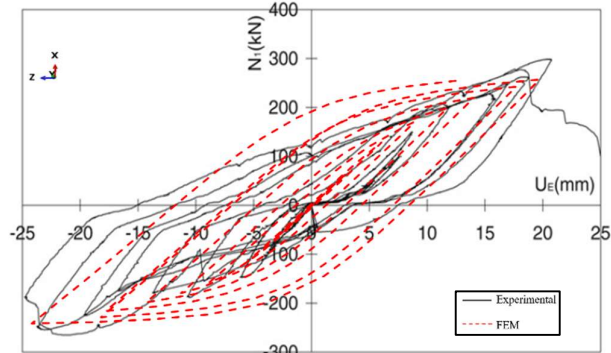
Tabel 3 Validasi Kapasitas *Ultimate*

Spesimen	N _u Eksperimental (kN)	N ₁ CIDECT (kN)	N _u FEM Model (kN)	Error (%)	
				N ₁ CIDECT/N _u Eksperimental	N _u FEM Model/N _u Eksperimental
A	250	241.35	256.662	3.46%	2.66%



Gambar 11. Distribusi Tegangan Pemodelan Validasi

Hasil kurva Histeresis (**Gambar 12**) menunjukkan bahwa secara garis besar pemodelan yang dilakukan telah mendekati eksperimental yang ditunjukkan dengan nilai perbedaan kapasitas *ultimate* sebesar 2.66% seperti ditunjukkan pada



Gambar 12. Validasi Kurva Histeresis

Berdasarkan hasil kurva histeresis tersebut, dapat diambil beberapa parameter penting diantaranya δ_y^+ , P_y^+ , δ_y^- , P_y^- , δ_{maks}^+ , δ_{maks}^- yang dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 4. δ_y merupakan *displacement* saat terjadi pelelehan pertama, P_y merupakan beban pada saat terjadi pelelehan pertama, δ_{maks} merupakan *displacement* maksimum yang terjadi berdasarkan setengah kurva histeresis. Tanda positif dan negatif menunjukkan tarik dan tekan pada pembebanan spesimen. Rasio daktilitas didefinisikan sebagai μ^+ yang merupakan $\delta_{maks}^+ / \delta_y^+$ pada siklus pembebanan tarik, dan μ^- yang merupakan $\delta_{maks}^- / \delta_y^-$ pada siklus pembebanan tekan dengan δ_y^+ dan δ_y^- merupakan *displacement* saat terjadi pelelehan pertama pada siklus tarik dan tekan, δ_{maks}^+ dan δ_{maks}^- merupakan *displacement* maksimum yang terjadi pada siklus pembebanan tarik dan tekan. Perbandingan rasio daktilitas dapat dilihat seperti pada **Tabel 5**.

Tabel 4. Beban dan *Displacement* saat pelelehan pertama

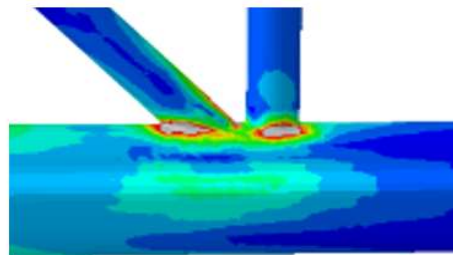
Spesimen	δ_y^+ (mm)	P_y^+ (kN)	δ_y^- (mm)	P_y^- (kN)	δ_{maks}^+ (mm)	δ_{maks}^- (mm)
A	7.94	160.47	-6.55	-139.82	19.54	-24.30

Tabel 5 Perbandingan Nilai Daktilitas

Spesimen	Maksimum Rasio Daktilitas	FEM Model	Eksperimental	Error (%)
A	μ^+	2.46	2.59	4.97%
	μ^-	3.71	3.63	2.20%



(a) Eksperimental [13]

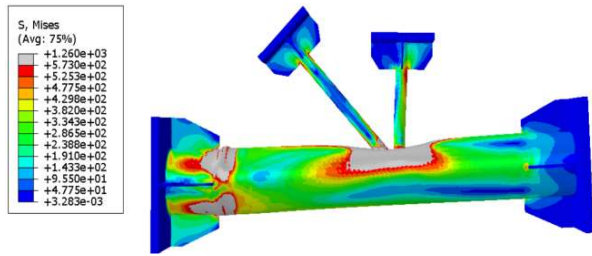


(b) Pemodelan FEM

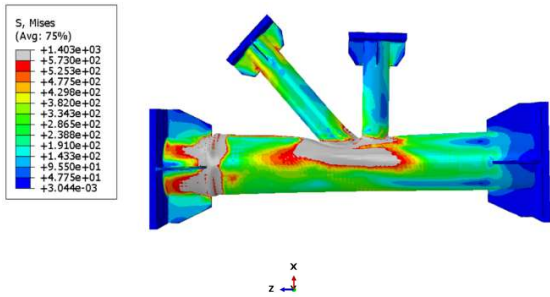
Gambar 13 Visualisasi Mode Kegagalan

Visualisasi mode kegagalan yang dihasilkan juga telah merepresentasikan hasil eksperimental dimana terjadi robekan pada bagian *saddle* dari *horizontal bracing*. Di dalam pemodelan terdapat indikasi adanya tegangan tinggi yang telah jauh melampaui tegangan *ultimate* dari material yang ditandai dengan adanya kontur tegangan berwarna abu-abu pada bagian *saddle* dari *horizontal bracing* seperti pada **Gambar 13**.

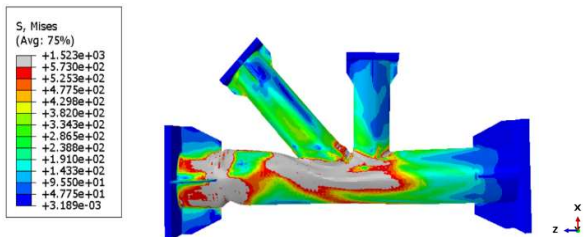
Pemodelan lanjutan juga disajikan dalam penelitian ini dengan mengubah parameter geometri β seperti pada **Tabel 1** untuk mengetahui dampak perubahan parameter tersebut terhadap perilaku histeresis dari sambungan *Circular Hollow Section* yang digunakan sebagai spesimen uji dalam penelitian ini.



(a) Distribusi Tegangan Model A1



(b) Distribusi Tegangan Model A2

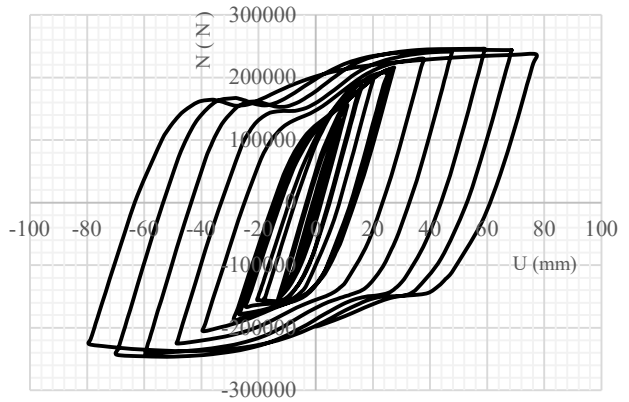


(c) Distribusi Tegangan Model A3

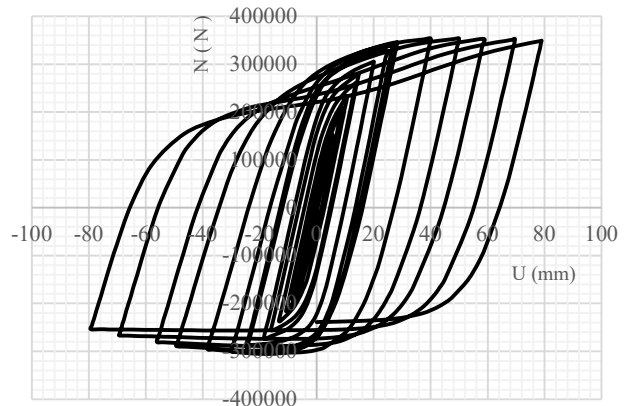
Gambar 14 Distribusi Tegangan Model Lanjutan

Model A1 terdapat 2 area yang memiliki tegangan melebihi tegangan *yield* dari material yaitu pada area sambungan antara *chord* dan *brace*, dan area *chord* dan *stiffener* dengan tegangan maksimum sebesar 1260 MPa. Untuk model A2, distribusi tegangan tinggi juga terjadi pada area sambungan *chord* dan *brace* dan pertemuan *chord* dan *stiffener* namun pada model ini distribusi tegangan tinggi pada *chord* memiliki pola yang lebih luas dibandingkan A1 dengan tegangan maksimum sebesar 1403 MPa. Untuk model A3, distribusi tegangan tinggi pada *chord* semakin meluas hingga tegangan tinggi pada area sambungan *chord* dan *brace* sudah hampir mencapai tegangan tinggi pada area pertemuan *chord* dan *stiffener* dengan nilai tegangan maksimum sebesar 1523 MPa.

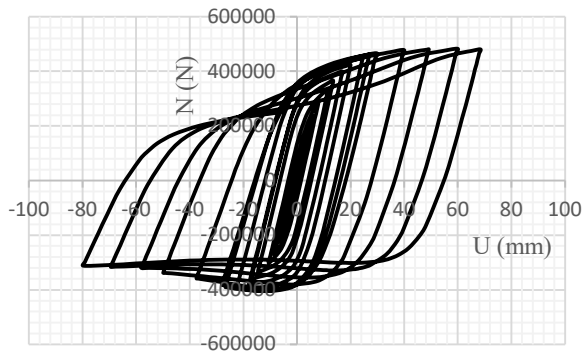
Tegangan maksimum yang terjadi ditunjukkan dengan kontur tegangan berwarna abu (Gambar 14). Dari ketiga model tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar rasio β menunjukkan diameter *bracing* yang semakin mendekati diameter *chord* yang mengakibatkan *chord* mengalami pelelehan terlebih dahulu ketika beban aksial diaplikasikan pada *horizontal brace*.



(a) Kurva Histeresis Model A1



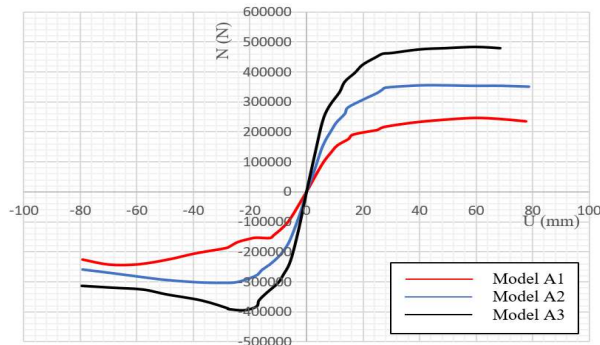
(b) Kurva Histeresis Model A2



(c) Kurva Histeresis Model A3

Gambar 15 Kurva Histeresis Model Lanjutan

Berdasarkan kurva histeresis yang dihasilkan dari setiap model seperti pada **Gambar 15**, dapat dilihat bahwa untuk model A1 memiliki kapasitas *ultimate* sebesar 245,632 kN pada saat terjadi *displacement* sebesar 59,18 mm. Bentuk kurva yang terlihat adanya *pinch* merupakan indikasi bahwa telah terjadi pelelehan pada material sambungan. Untuk model A2 memiliki kapasitas *ultimate* sebesar 353,651 kN pada saat terjadi *displacement* sebesar 49,94 mm, *pinching* pada kurva sedikit mengalami penurunan pada model ini. Untuk model A3 memiliki kapasitas *ultimate* sebesar 483,050 kN dengan *displacement* sebesar 59,78 mm. Perbandingan karakteristik perilaku histeresis dari ketiga model juga disajikan dalam bentuk *backbone curve* yang didapatkan dengan menghubungkan puncak dari setiap siklus pada kurva histeresis (**Gambar 16**).



Gambar 16 Backbone Curve

Tabel 6 Nilai Daktilitas Model Lanjutan

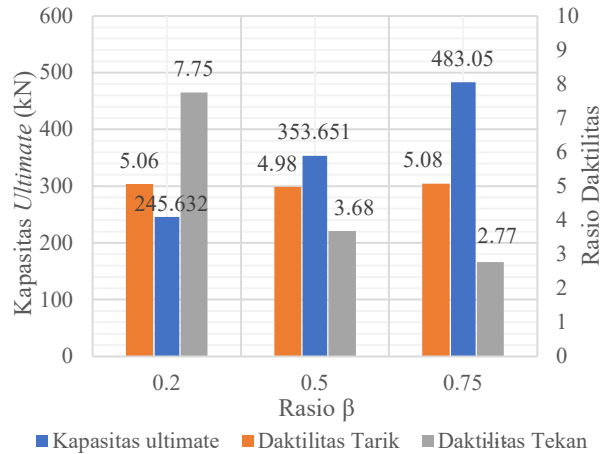
Spesimen	δ_y^+ (mm)	P_y^+ (kN)	δ_y^- (mm)	P_y^- (kN)	δ_{maks}^+ (mm)	δ_{maks}^- (mm)	Maksimum Rasio Daktilitas	
							μ^+	μ^-
A1	13.53	202.97	-9.02	-150.56	68.50	-69.93	5.06	7.75
A2	11.85	330.28	-8.13	-206.79	59.00	-29.90	4.98	3.68
A3	13.45	462.16	-10.10	-364.24	68.35	-28.00	5.08	2.77

Daktilitas pada pemodelan lanjutan juga disajikan pada penelitian ini dengan mendefinisikan beberapa parameter seperti pada **Tabel 6** yang didapatkan dari kurva histeresis yang telah dihasilkan. Perhitungan rasio daktilitas dilakukan dengan membandingkan nilai δ_{maks} dan δ_y dimana tanda + menunjukkan siklus pembebanan tarik sedangkan tanda - menunjukkan siklus pembebanan tekan.

Berdasarkan hasil rasio daktilitas maksimum pada **Tabel 6** dapat dilihat bahwa pengaruh perubahan rasio β tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap nilai daktilitas pada siklus pembebanan tarik. Namun, berdampak pada daktilitas pada siklus pembebanan tekan bahwa semakin besar rasio β maka rasio daktilitas semakin mengalami penurunan.

Untuk mempermudah dalam melakukan pembacaan data mengenai pengaruh variasi rasio geometri β terhadap kapasitas *ultimate* dan rasio daktilitas sambungan dapat dilihat pada **Gambar 17**.

Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa untuk setiap kenaikan rasio β selalu diimbangi dengan kenaikan kapasitas *ultimate* secara signifikan, sementara tidak ada perubahan signifikan terhadap rasio daktilitas tarik namun mengalami penurunan daktilitas tekan seiring meningkatnya kapasitas *ultimate*.



Gambar 17 Kapasitas *Ultimate* dan Rasio Daktilitas

4. Simpulan

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan pada bagian pembahasan, dapat disimpulkan bahwa pemodelan FEM yang dilakukan dengan menggunakan program bantu ABAQUS CAE telah mendekati hasil eksperimental dengan nilai perbedaan kapasitas *ultimate* sebesar 2,66%, perbedaan nilai daktilitas yang menunjukkan angka 4,97%, serta pola kegagalan yang menyerupai pola kegagalan eksperimental.

Perubahan rasio β memiliki pengaruh terhadap kapasitas *ultimate* dari sambungan baja tubular jenis *Circular Hollow Section* bahwa semakin tinggi rasio β (mendekati 1), maka semakin tinggi pula kapasitas *ultimate* dari sambungan. Namun, di sisi lain perubahan rasio β juga memberikan dampak pada semakin menurunnya nilai rasio daktilitas tekan jika rasio β ditingkatkan dan tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap rasio daktilitas tarik.

Daftar Pustaka

- [1] S. Ngene, K. Tota-Maharaj, P. Eke, and C. Hills, "Environmental and Economic Impacts of Crude Oil and Natural Gas Production in Developing Countries," *International Journal of Economy, Energy and Environment*, vol. 1, no. 3, pp. 64–73, 2016, doi: 10.11648/j.ijeee.20160103.13.
- [2] A. Mojtahedi, M. A. Lotfollahi Yaghin, Y. Hassanzadeh, M. M. Etefagh, M. H. Aminfar, and A. B. Aghdam, "Developing a robust SHM method for offshore jacket platform using model updating and fuzzy logic system," *Applied Ocean Research*, vol. 33, no. 4, pp. 398–411, Oct. 2011, doi: 10.1016/j.apor.2011.05.001.
- [3] F. Fu, "Design of Offshore Structures," in *Design and Analysis of Tall and Complex Structures*, Elsevier, 2018, pp. 251–293. doi: 10.1016/b978-0-08-101018-1.00008-3.
- [4] P. Deng, S. Zhao, Z. Zhu, Y. Liu, and X. Liu, "Study on dynamic behavior of tubular T-joints subjected to out-of-plane impact loading," *J Constr Steel Res*, vol. 198, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jcsr.2022.107556.
- [5] W. Wang and Y. Y. Chen, "Hysteretic behaviour of tubular joints under cyclic loading," *J Constr Steel Res*, vol. 63, no. 10, pp. 1384–1395, Oct. 2007, doi: 10.1016/j.jcsr.2006.12.002.
- [6] J. Wardenier, J. A. Packer, and N. F. Yeomans, "Hollow Sections in Structural Applications," 2001.
- [7] AISC, "Earthquakes and Seismic Design," 2009.
- [8] F. Gao, Z. Tang, X. Guan, H. Zhu, and Z. Chen, "Ultimate strength of tubular T-joints reinforced with doubler plates after fire exposure," *Thin-Walled Structures*, vol. 132, pp. 616–628, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.tws.2018.09.021.
- [9] A. Sundoro and S. Taufik, "Optimasi Struktur Jacket Lepas Pantai Dengan Analisis Permodelan Komputasi 3D Nonlinier Pushover," *Sainstech*, vol. 31, pp. 58–67, 2021.
- [10] R. Prastianto, Y. Hadiwidodo, S. Widhestomo, and R. Yazhahir, "Stress Distribution along the Weld Toes of Tubular KT and KDT Joints under Balance Axial Loads and In-Plane-Bending Moments," *Scitepress*, Aug. 2020, pp. 170–175. doi: 10.5220/0008650101700175.
- [11] Y. Yang, Q. Wu, Z. He, Z. Jia, and X. Zhang, "Seismic Collapse Performance of Jacket Offshore Platforms with Time-Variant Zonal Corrosion Model," *Applied Ocean Research*, vol. 84, pp. 268–278, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.apor.2018.11.015.
- [12] Pusat Studi Gempa Nasional (Indonesia) and Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman (Indonesia), *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. 2017.
- [13] API RP 2A WSD, "Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design," 2014.
- [14] Y. Yin, Q. H. Han, L. J. Bai, H. D. Yang, and S. P. Wang, "Experimental Study on hysteretic behaviour of tubular N-joints," *J Constr Steel Res*, vol. 65, no. 2, pp. 326–334, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.jcsr.2008.07.006.
- [15] X. Liu, A. Zhang, J. Ma, Y. Tan, and Y. Bai, "Design and Model Test of a Modularized Prefabricated Steel Frame Structure with Inclined Braces," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/291481.
- [16] J. Wardenier, Y. Kurobane, J. A. Packer, G. J. Van Der Vegte, and X.-L. Zhao, *Design Guide For Circular Hollow Section (CHS) Joints Under Predominantly Static Loading*, 2nd ed. CIDECT, 2008.
- [17] F. M. B. Miranda, "Finite Element Analysis of Tubular Offshore X-Joint Under Static Loading," 2017.

Halaman ini sengaja dikosongkan