



## ANALISIS POTENSI KEGAGALAN YANG MUNGKIN TERJADI PADA SAMBUNGAN HAUNCHED YANG BIASA DITERAPKAN DI INDONESIA DENGAN METODE NUMERIK

Ahmad Syarifudin<sup>1\*</sup>, Luqmannul Hakim<sup>2</sup>, Prima Sukma Yuana<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia

Jl. Terusan Jend. Sudirman, Cimahi, Cimahi, Jawa Barat, Kode Pos 40525

\*Email: ahmadsyarifudinn29@gmail.com

Diajukan: 19/06/2024 Direvisi: 22/07/2024 Diterima: 22/07/2024

### Abstrak

*Sambungan tipe haunch merupakan jenis sambungan pemikul momen, dan sambungan ini sangat populer di Indonesia. Namun sambungan haunch tidak termasuk yang direkomendasikan dalam AISC 358 maupun SNI 7972, sehingga masih dipertanyakan kinerjanya terhadap gempa. Makalah ini mengkaji kinerja sambungan haunch secara numerik sesuai dengan kriteria penerimaan dalam AISC 341. Perilaku sambungan tipe haunch yang menggunakan penampang umum di pasaran Indonesia akan dianalisis terhadap pembebanan monotonic dan cyclic. Analisis dilakukan menggunakan program berbasis elemen hingga ABAQUS. Hasil analisis sebetulnya menunjukkan bahwa sambungan haunch memenuhi kriteria penerimaan menurut AISC 341. Namun kurva momen-rotasi menunjukkan perilaku yang kurang baik, terjadi penurunan kekakuan akibat lelehnya baut dan tekuk lokal khususnya pada pelat ujung, yang mana itu tidak diizinkan. Sebagai pembanding, sambungan haunch yang menggunakan penampang duktilitas tinggi (High Ductility Member) berperilaku lebih baik dibandingkan dengan sambungan haunch pada penampang yang umum di pasaran. Tidak terjadi lokal buckling pada pelat ujung dan memastikan disipasi energi didominasi oleh balok. Untuk itu, sangat direkomendasikan menggunakan penampang dengan duktilitas tinggi ketika memilih sambungan tipe haunch. Selain itu wajib untuk menyesuaikan formulasi tebal pelat ujung dan diameter baut, sehingga kinerja sambungan dan pola kerusakan akan sesuai yang diharapkan.*

**Kata kunci:** Haunch, Indonesia, Sambungan, Sambungan Balok-Kolom Baja, Sambungan Momen

### Abstract

*The haunch connection is a type of moment-resisting connection which is very popular in Indonesia. However, it is not recommended in AISC 358 or SNI 7972, so its performance against earthquakes needs to be improved. This paper uses numerical analysis to investigate haunch connection performance in compliance with AISC 341's approval criteria. Using standard cross-sections from the Indonesian market, the behavior of haunch-type connectors will be examined against both cyclic and monotonic stress. The finite element-based software ABAQUS was used to do the analysis. The findings indicate that the haunch connection satisfies AISC 341's acceptance requirements. However, the moment-rotation curve exhibits unsatisfactory behavior; there is a loss in stiffness because of local buckling, particularly at the end plate, and bolt yielding, which is not allowed. Comparatively, haunch joints with typical cross-sections on the market perform worse than those with high ductility members (HDM) in haunch connections. The beam dominates energy dissipation and there is no local buckling at the end plate. For this reason, when choosing haunch-type connectors, it is strongly advised to employ sections with high ductility (HDM). End plate thickness and bolt diameter formulation need to be adjusted to guarantee the desired damage pattern and connection performance.*

**Keywords:** Haunch, Indonesia, Joint, Steel Beam-Column Joint, Moment Connection

## 1. PENDAHULUAN

Sambungan *haunch* dianggap sebagai sambungan balok-kolom pemikul momen pada bangunan struktur baja bertingkat rendah di Indonesia seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, khususnya untuk menyambung balok dengan kolom. Sambungan *haunch* dikenal di Indonesia sebagai sambungan yang murah dengan kesederhanaannya dalam pemasangan di lapangan, bahkan tidak memerlukan tenaga kerja yang terampil untuk pemasangan sambungan ini.



Gambar 1. Sambungan *haunch* yang populer di Indonesia

Hal-hal tersebut menyebabkan meluasnya penggunaan sambungan tipe *haunch* pada struktur bangunan baja, bahkan jenis sambungan ini merupakan jenis sambungan yang paling populer digunakan di Indonesia (Yuana *dkk.*, 2023). Namun hal yang menarik adalah tipe sambungan *haunch* tidak tercantum dalam AISC 358 dan terjemahannya yaitu SNI 7972 sebagai sambungan yang diizinkan untuk bangunan tahan gempa. Sehingga, sambungan ini dipertanyakan kinerjanya terhadap beban gempa.

Sambungan tipe *haunch* pada dasarnya menggunakan pelat ujung dimana sistem sambungan yang menggunakan pelat ujung telah terbukti berkinerja cukup baik terhadap beban gempa (Shi, Shi and Wang, 2007). Pada sambungan ini, ujung balok dilas ke pelat ujung, sedangkan pelat ujung dibaut ke kolom.

Sambungan *haunch* didesain dengan mengasumsikan sambungan momen yang kaku antara balok dan kolom, maka dari itu ukuran dari sambungan *haunch* akan disesuaikan agar mampu mentransfer momen dari balok ke kolom. Tinggi bagian *haunch* biasanya sama

dengan tinggi dari balok. Filosofi desain sambungan *haunch* mengutamakan pada kekuatan dan kekakuan, bukan pada daktilitas (Heong, 2004).

Klasifikasi sambungan ini seringkali didasarkan pada kekuatan, kekakuan, dan kapasitas rotasinya. Hal tersebut didasarkan pada salah satu saran terpenting dari SCI P207 dan Eurocode 3 bahwa untuk rangka baja pemikul momen mengharuskan memperkuat area sambungan dan memastikan bahwa sendi plastis terjadi pada balok dan bukan pada area sambungan (Sadid, 2022).

Salah satu metode yang relevan untuk menyediakan kondisi tersebut adalah dengan memperkuat area sambungan dengan menambahkan *haunch* pada flens bawah balok. Dimana sambungan dengan metode *haunch* terbukti menjadi solusi yang cukup baik pada aplikasi seismik dengan tuntutan deformasi plastis yang cukup besar (Jakab, Stratan and Dubina, 2021; Saberi *dkk.*, 2019; Feng *dkk.*, 2020; Rahnemoun, Tabrizi and Ashtari, 2022).

Dengan menambahkan *haunch* pada area sambungan juga dapat menyebabkan peningkatan kekuatan pada balok, serta memperkuat sambungan dengan *haunch* juga dapat memastikan bahwa sendi plastis terbentuk pada jarak yang jauh dari kolom atau area sambungan (Stratan *dkk.*, 2017).

Metode lain yang memungkinkan terjadinya sendi plastis pada balok adalah dengan menggunakan sambungan terprakualifikasi seperti yang direkomendasikan dalam AISC 358. Namun, di Indonesia penggunaan sambungan terprakualifikasi menurut AISC 358 belum banyak diterapkan. Hal ini mungkin disebabkan oleh biaya pembuatannya yang lebih mahal jika dibandingkan dengan sambungan *haunch* seperti yang umum digunakan di Indonesia (Haghollahi and Jannesar, 2018). Sementara itu, dari sisi pemasangan di lapangan, baik sambungan *haunch* maupun sambungan terprakualifikasi memiliki kemudahan dalam hal fabrikasi dan pemasangan.

Menurut pedoman desain seismik, penggunaan sambungan yang belum terprakualifikasi diizinkan dengan syarat dibuktikan kinerjanya dan memenuhi kriteria penerimaan di dalam AISC 341-22. Dalam makalah ini, perilaku sambungan momen tipe *haunch* yang diterapkan pada penampang yang

umum di pasaran akan diselidiki di bawah beban *monotonic* dan *cyclic* dengan menggunakan program berbasis elemen hingga ABAQUS. Selain itu akan dibandingkan juga ketika sambungan tipe *haunch* digunakan pada penampang *built-up* HDM (*High Ductility Member*) sesuai dengan pedoman AISC 341 bagaimana perilaku dan pola kegagalannya.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan ke dalam beberapa tahapan yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang dituju. Diawali dengan studi literatur dan dilanjutkan dengan analisis secara numerik untuk mendapatkan gambaran mengenai bagaimana perilaku sambungan dari respon *linear* hingga *nonlinear* sampai mengalami kegagalan. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode yang dijelaskan AISC 341, sementara analisis numerik dilakukan dengan program berbasis elemen hingga.

### 2.1. Desain Struktur Penentuan Dimensi Balok dan Kolom

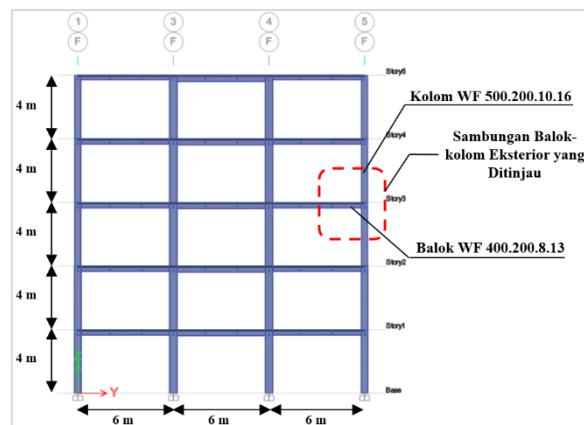
Elemen sambungan yang akan dianalisis perilikunya harus melewati tahapan desain terlebih dahulu. Dimana pada tahapan desain akan ditentukan letak portal penahan gaya gempa serta dimensinya. Pada tahapan desain, semua elemen struktur harus memenuhi rasio kapasitasnya agar mencegah kegagalan struktur. Gambar 2 menampilkan konfigurasi struktur yang telah melewati tahapan desain dan letak sambungan eksterior yang akan dianalisis.

### 2.2. Prosedur Desain Sambungan *Haunch*

Sambungan tipe *haunch* yang umum digunakan di Indonesia secara konsep mengacu pada Standar Eropa yaitu BS:5950 yang dijelaskan lebih rinci di dalam SCI P60 untuk skema desain serta SCI P207 untuk desain kapasitas. Model desain yang diterapkan didasarkan pada distribusi kekuatan plastis baut.

Dalam skema desain SCI P60 sambungan *haunch* diharapkan mempunyai ketebalan pelat ujung 20% lebih tebal daripada flens balok, sedangkan ketebalan flens kolom SCI P60 menjelaskan bahwa ketebalannya tidak boleh kurang dari 80% dari ketebalan pelat ujung. Panjang *haunch* harus diambil minimal 6%-

10% dari bentang balok dengan tinggi *haunch* terbaik adalah setinggi balok yang digunakan.

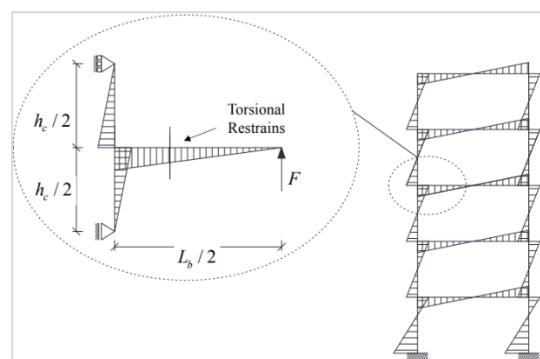


Gambar 2. Konfigurasi Struktur dan letak sambungan eksterior

Kemiringan atau sudut dari sambungan *haunch* akan menyesuaikan tergantung dari panjang dan tinggi dari *haunch*. Diameter baut pada sambungan *haunch* harus diambil minimal sama dengan ketebalan pelat ujung, namun D24-D30 merupakan diameter baut yang disarankan digunakan. Ketentuan ini biasa digunakan sebagai acuan awal saat mendesain sambungan tipe *haunch*.

### 2.3. Konfigurasi Sambungan

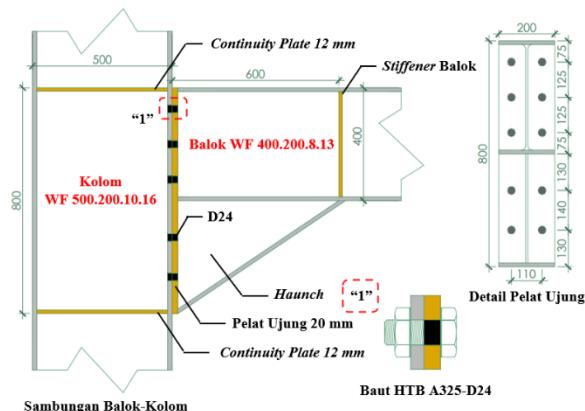
Sambungan dimodelkan sebagai sambungan balok-kolom eksterior, sehingga balok dimodelkan sebagai balok kantilever yang menumpu pada sumbu kuat dari kolom. Gambar 3 menjadikan dasar penentuan tinggi kolom, dan panjang balok sebagai *boundary condition* yang harus dipenuhi dalam analisis elemen hingga.



Gambar 3. *Boundary condition* untuk Finite Element Analysis (Landolfo, 2017)

Tinggi kolom, tinggi balok, diameter baut, dan dimensi sambungan *haunch* dapat

dilihat pada Gambar 4, yang merupakan hasil desain sesuai dengan AISC 360-16, dimana penampang tersebut memenuhi kriteria kekompakan dan batasan kelangsingan penampang. Rekapitulasi dimensi penampang yang digunakan ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2, sementara properti material yang digunakan disajikan pada Tabel 3. Mutu material baja seluruhnya menggunakan ASTM A36, sedangkan baut mutu tinggi menggunakan HTB A325.



Gambar 4. Detail geometri spesimen sambungan

Tabel 1. Rekapitulasi penampang sesuai pasar Indonesia

Elemen	$d$ (mm)	$b$ (mm)	$t_w$ (mm)	$t_f$ (mm)
<b>Kolom</b>	500	200	10	16
<b>Balok</b>	400	200	8	13

Tabel 2. Rekapitulasi penampang HDM sesuai AISC 341

Elemen	$d$ (mm)	$b$ (mm)	$t_w$ (mm)	$t_f$ (mm)
<b>Kolom</b>	500	300	16	22
<b>Balok</b>	400	200	12	15

#### 2.4. Pemodelan 3D Elemen Hingga

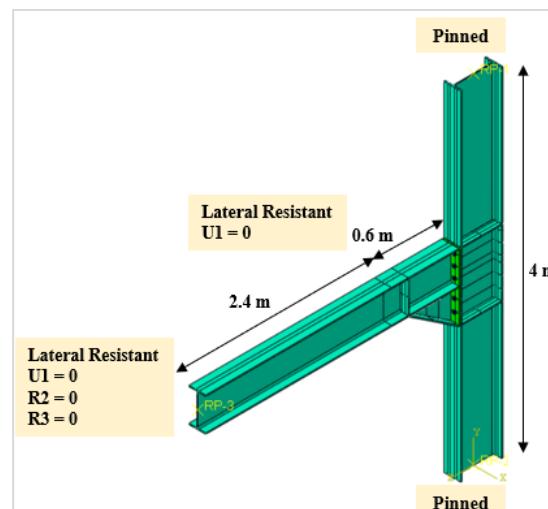
Kinerja sambungan balok-kolom tipe *haunch* disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak ABAQUS. Seperti yang disarankan oleh Ruffley (2011), elemen solid 3D digunakan untuk mensimulasikan model elemen hingga. Dalam model yang disajikan pada Gambar 5, semua komponen yang terlibat dalam sambungan dimodelkan dengan mempunyai 8-node elemen dengan tiga derajat kebebasan translasi pada setiap node C3D8R (*first order reduced integration continuous*

element) dengan *enhanced hourglass control* digunakan untuk memodelkan seluruh elemen baja.

Tabel 3. Properti material

Material	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	E (GPa)	$\nu$
A36	330	466	200	0,3
A325	600	840	200	0,3

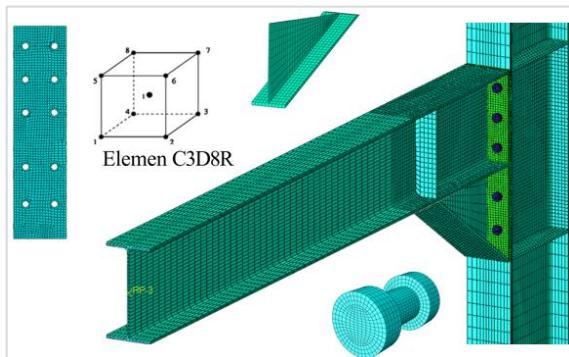
Keakuratan analisis elemen hingga sangatlah bergantung pada *meshing* elemen yang tepat, karena kualitas hasil secara langsung dipengaruhi olehnya. Bagian elemen utama balok dan kolom menggunakan *meshing* 50 mm dan 20 mm pada area yang dekat dengan sambungan. *Meshing* terkecil terdapat pada elemen baut dengan ukuran 3 mm. Sementara pada pelat ujung, *haunch*, *continuity plate*, dan *stiffener* menggunakan ukuran 15 mm dengan bentuk elemen heksagonal menggunakan teknik *deep sweep* yang bertujuan agar mendapatkan hasil yang handal sekaligus meminimalkan waktu komputasi. Secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Pemodelan spesimen sambungan pada ABAQUS

Tabel 3 menunjukkan properti material yang diinputkan pada ABAQUS, model material yang digunakan adalah *Bi-Linear with hardening* untuk seluruh elemen. Kontak antar elemen permukaan baja yang bergesekan diperhitungkan dengan nilai koefisien friksi sebesar 0,3 (AISC 341-22). Sementara untuk kontak antar elemen yang saling menekan didefinisikan sebagai “*Hard Contact*” pada

ABAQUS, dengan mengijinkan terjadinya pemisahan akibat kontak antar permukaan.



Gambar 6. Meshing elemen pada program ABAQUS

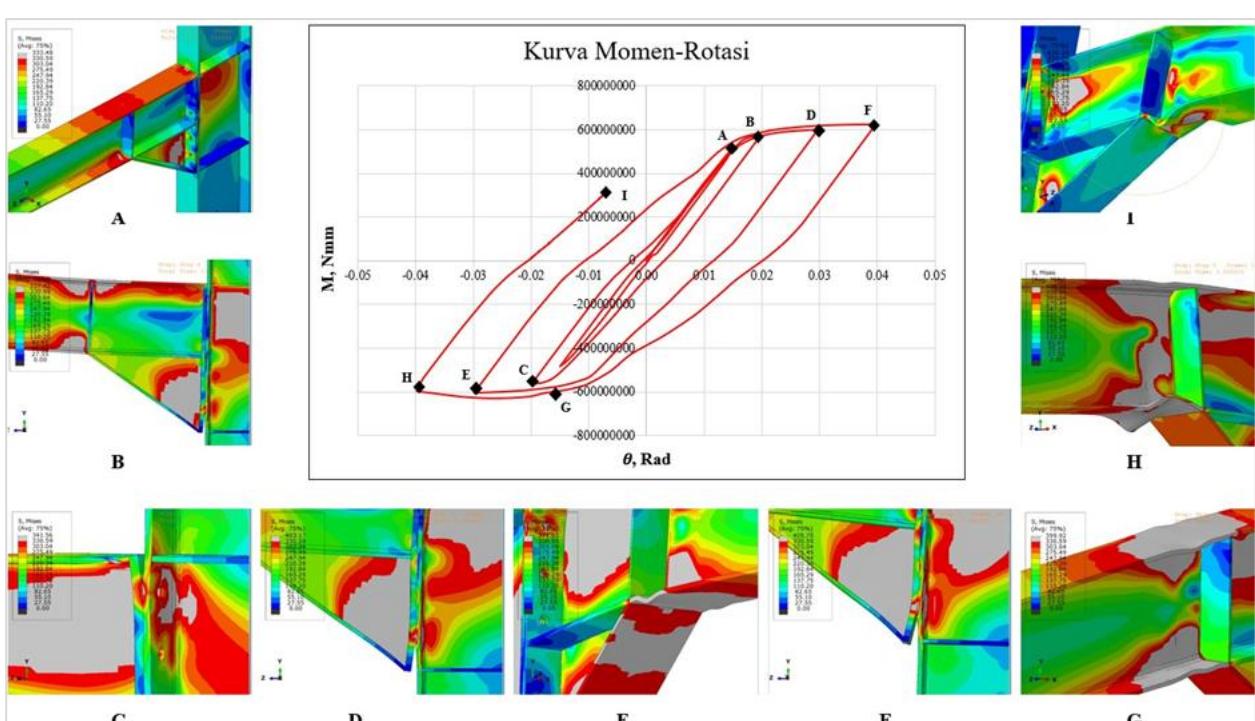
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis numerik dilakukan bertujuan agar mendapatkan gambaran mengenai perilaku dari sambungan tipe *haunch*. Langkah awal yang harus dipastikan adalah mekanisme kegagalan yang terjadi pada sambungan harus

sesuai dengan mekanisme kegagalan yang direncanakan. Selanjutnya perilaku dari sambungan akan ditinjau terhadap persyaratan sambungan tahan gempa menurut AIS 341. Baru kemudian sambungan *haunch* yang diterapkan pada penampang yang umum di pasaran akan dibandingkan dengan sambungan *haunch* yang diterapkan pada penampang *built-up* HDM sesuai dengan AIS 341.

#### 3.1. Pola Kegagalan dan Perilaku Momen Rotasi

Hasil analisis numerik pada sambungan *haunch* yang diterapkan pada penampang yang umum di pasaran mengkonfirmasi bahwa deformasi plastis terjadi pada balok, sambungan, pelat ujung, dan bahkan *panel zone* kolom. Kriteria kelelahan *von mises* digunakan dalam simulasi ini, warna abu-abu dari *nephrogram* tegangan mengindikasikan area yang sudah memasuki rentang inelastik.

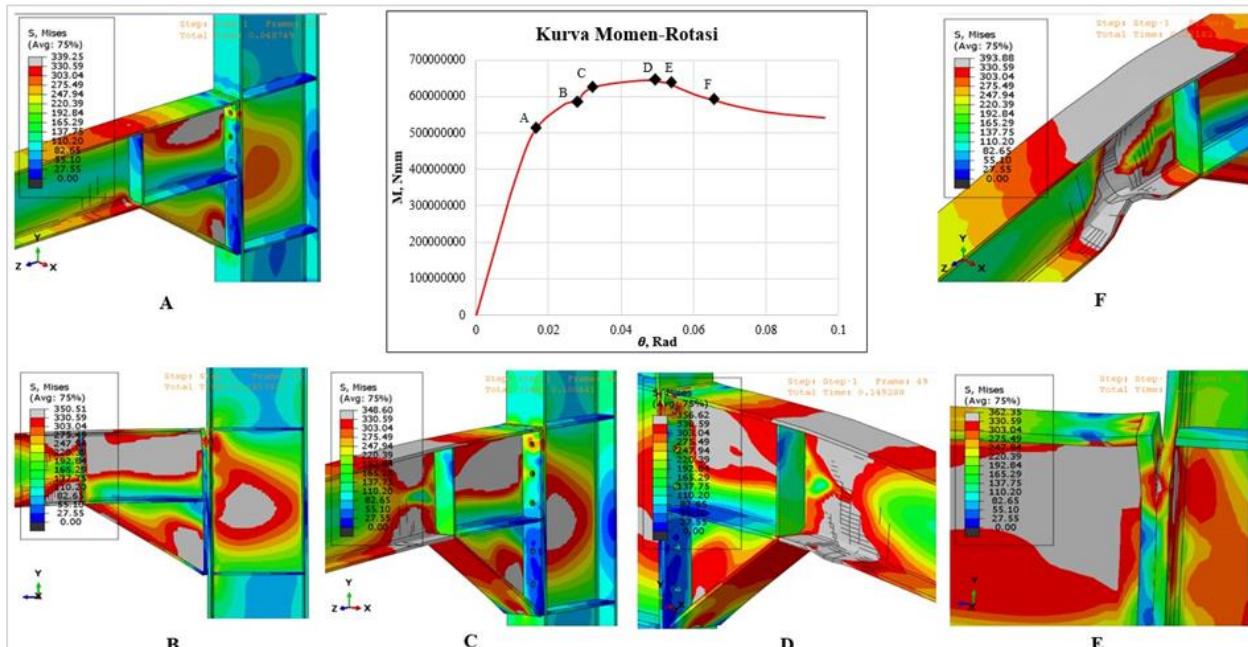
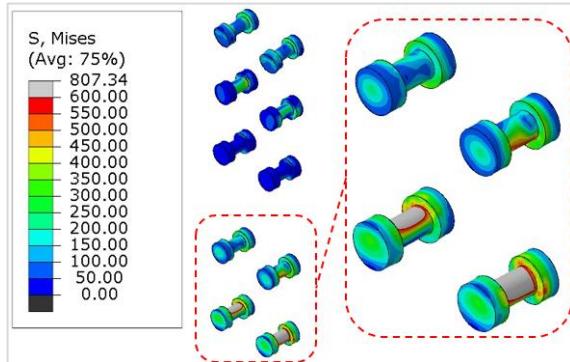


Gambar 7. Ukuran kerusakan sambungan dari respon pembebahan *cyclic*

Gambar 7 menggambarkan detail kurva respon dari analisis numerik (kurva momen-rotasi) dibawah pembebahan *cyclic*. Performa dari sambungan ini dinilai stabil tanpa degradasi yang berarti hingga rotasi 0,04 rad. Oleh karena itu, sambungan ini memenuhi kriteria AIS 341. Namun pada sambungan ini kekakuan

menurun mulai dari rotasi 0,02 rad yang disebabkan oleh kolom mengalami kelelahan (Gambar 7B), pada rotasi 0,03 rad kekakuan semakin menurun yang disebabkan oleh *panel zone* dan sambungan *haunch* yang mengalami kelelahan, dengan diikuti oleh *prying action* pada pelat ujung bagian bawah (Gambar 7D).

Pada rotasi 0,04 rad kekakuan menurun drastis yang disebabkan oleh sambungan *haunch*, *panel zone*, dan baut di area *tension* mengalami kelelahan (Gambar 7F). *Prying action* pada pelat ujung terjadi lebih dominan pada rotasi 0,04 rad bahkan flens kolom mengalami kelelahan. Gambar 8 menampilkan baut area *tension* yang mengalami lelah yang diakibatkan oleh pelat ujung yang mengalami *prying action*.



Gambar 9. Ukuran kerusakan sambungan dari respon pembebangan *monotonic*

Respon *monotonic* sambungan terjadi penurunan kekakuan yang diamati di bawah pembebangan *monotonic* seperti yang disajikan pada Gambar 9, sementara hasil elemen hingga dibawah pembebangan *monotonic* ditampilkan pada Tabel 4. Kelelahan awal terjadi pada rotasi 0,016 rad dengan momen sebesar 506,90 kNm yaitu terjadi pada balok di area tumpuan dan sambungan *haunch* yang diikuti oleh awal penurunan kekakuan (Gambar 9A).

Gambar 8. Kelelahan pada baut di bawah pembebangan *cyclic*

Pola kegagalan yang terjadi pada sambungan adalah terjadi *prying action* pada pelat ujung mulai dari rotasi -0,02 rad (Gambar 7C), sementara tekuk lokal terjadi pada flens balok bagian bawah yang terjadi pada rotasi -0,03 rad (Gambar 7E). Sementara Gambar 7H menunjukkan tekuk lokal yang dominan terjadi pada kedua flens balok yaitu pada rotasi -0,04 rad.

Mode kegagalan yang terjadi tidak mencerminkan hierarki mode kegagalan yang diinginkan, yaitu kelelahan hanya terjadi pada area sendi plastis. Tipe sambungan *haunch* yang diterapkan pada penampang yang umum dipasarkan kelelahan terjadi pada *panel zone*, area sambungan, pelat ujung, baut, dan balok yang dimulai dari tumpuan balok hingga area sendi plastis.

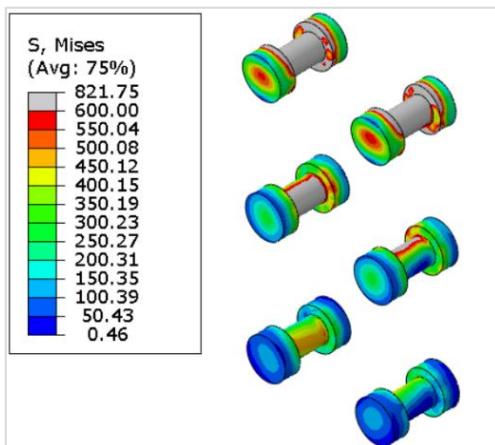
Penurunan kekakuan yang signifikan terjadi yaitu pada rotasi 0,028 rad dengan momen sebesar 587,58 kNm (Gambar 9B) yang diakibatkan oleh terjadinya kelelahan pada *panel zone*, balok di area tumpuan, dan sambungan *haunch*. Pada rotasi 0,032 rad dengan momen yang terjadi (Zhang, dkk) sebesar 622,84 kNm kelelahan yang terjadi pada area tumpuan balok berkurang dan mulai terpusat pada area ujung sambungan *haunch*.

(Gambar 9C). Sementara itu, momen ultimit yang terjadi sebesar 643,87 kNm yaitu pada rotasi 0,049 rad dengan diikuti terjadinya tekuk lokal pada flens bawah balok (Gambar 9D).

Tabel 4. Hasil elemen hingga pembebanan *monotonic*

Titik	$F_u$ (kN)	$\Delta_u$ (mm)	$M_u$ (kNm)	$\theta$ (rad)
A	168	48,75	506,90	0,016
B	195	85,66	587,58	0,028
C	206	95,81	622,84	0,032
D	213	147,09	643,87	0,049
E	209	163,57	630,51	0,054
F	196	195,72	591,45	0,065

*Prying action* terjadi pada pelat ujung yaitu pada rotasi 0,054 rad dengan momen yang terjadi sebesar 630,51 kNm yang diikuti dengan lelehnya baut di area *tension* (**Gambar 9E**). **Gambar 10** menampilkan kelelahan baut akibat pembebanan *monotonic*. Tekuk lokal signifikan terjadi pada rotasi 0,065 rad dengan momen sebesar 591,45 kNm yaitu pada web dan flens balok (**Gambar 9F**). Rotasi maksimum dari analisis numerik yang dilakukan adalah pada rotasi 0,0960 rad.

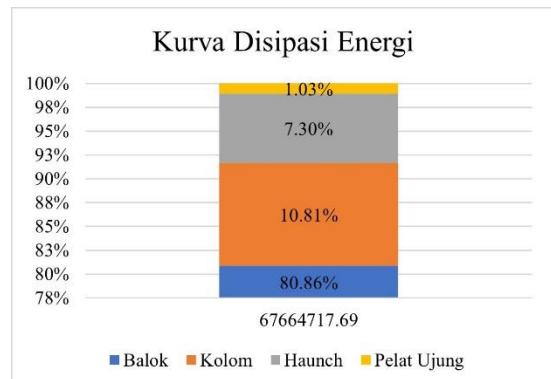


Gambar 10. Kelelahan pada baut area *tension* akibat pembebanan *monotonic*

Pola kegagalan yang terjadi pada sambungan tipe *haunch* dibawah pembebanan *monotonic* menggambarkan bahwa tipe sambungan mengalami penurunan kekakuan yang signifikan yang disebabkan oleh mekanisme plastifikasi yang kurang baik yaitu dengan lelehnya area-area seperti *panel zone*, *haunch*, baut, dan area tumpuan balok.

### 3.2. Disipasi Energi

Pada struktur dengan kontrol perpindahan, energi gempa diserap oleh elemen tertentu, dalam hal ini balok yang diharuskan dapat menyerap energi gempa. Nilai energi serapan dihasilkan dari deformasi plastis setiap elemen. Gambar 11 menampilkan pembagian besaran energi serapan dari sistem sambungan *haunch* yang diterapkan pada penampang yang umum di pasaran, dapat dilihat bahwa elemen balok menyerap energi sebesar 80,86%, elemen kolom sebesar 10,81%, sambungan *haunch* sebesar 7,30%, dan elemen pelat ujung sebesar 1,03%.



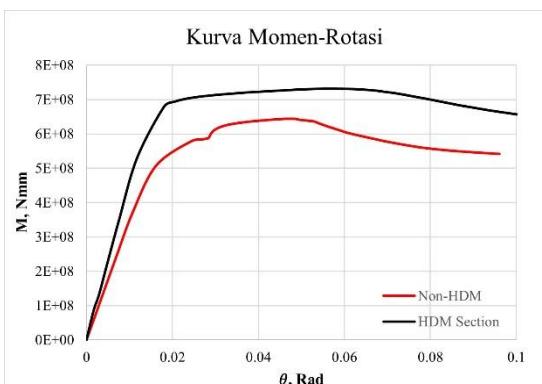
Gambar 11. Disipasi energi penampang yang umum di pasaran

Hasil tersebut mengindikasikan bahwa penyerapan energi tidak terpusat pada balok yang didesain sebagai elemen penyerap energi gempa. Persentase besar penyerapan energi tersebut memastikan bahwa deformasi plastis (kerusakan) tidak hanya terjadi pada balok, melainkan terjadi juga pada kolom, *haunch*, dan pelat ujung

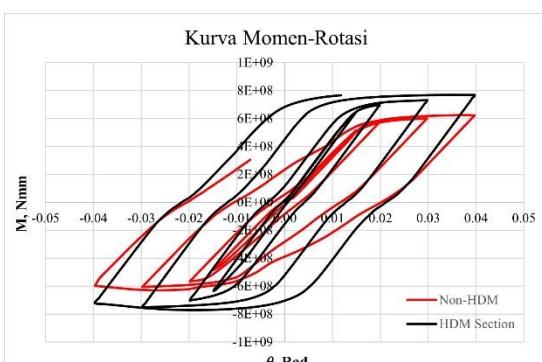
### 3.3. Sambungan *Haunch* pada Penampang HDM Sesuai AISC 341

Dari hasil analisis numerik, sambungan tipe *haunch* yang diterapkan pada penampang HDM sesuai dengan AISC 341 mampu menerima momen ultimit sebesar 731,88 kNm pada rotasi 0,06 rad, sementara sambungan *haunch* yang diterapkan pada penampang yang umum di pasaran hanya mampu menahan momen ultimit sebesar 643,87 kNm pada rotasi 0,05 rad, nilai daktilitas dari sambungan juga jauh meningkat ketika menggunakan penampang HDM. Gambar 12 menampilkan hasil analisis di bawah pembebanan *monotonic*.

Pada analisis numerik dibawah pembebanan *cyclic* sambungan tipe *haunch* yang diterapkan pada penampang HDM mampu menahan momen ultimit sebesar 767,22 kNm pada rotasi 0,04 rad, sedangkan sambungan *haunch* yang diterapkan pada penampang yang umum dipasaran hanya mampu menahan momen sebesar 620,88 kNm pada rotasi 0,04 rad. Penggunaan penampang HDM menghasilkan kekakuan yang lebih kaku dan stabil dibandingkan dengan penampang yang umum di pasaran. Gambar 13 menampilkan hasil analisis dibawah pembebanan *cyclic*.



Gambar 12. Kurva momen-rotasi pembebaan *monotonic*

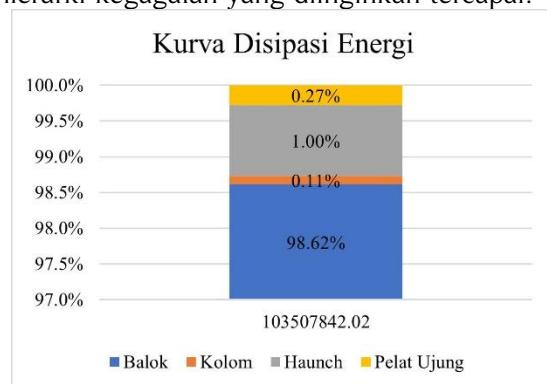


Gambar 13. Kurva momen-rotasi pembebaan *cyclic*

Besaran energi serapan yang dihasilkan oleh sambungan tipe *haunch* ketika diterapkan pada penampang HDM dapat dilihat pada Gambar 14. Dapat dilihat bahwa elemen balok menyerap energi sebesar 98,62%, elemen kolom sebesar 0,11%, elemen *haunch* sebesar 1,00%, dan elemen pelat ujung sebesar 0,27%.

Hasil tersebut menandakan bahwa penyerapan energi terpusat pada elemen balok yang didesain sebagai elemen penyerap energi gempa. Sehingga, hal tersebut memastikan bahwa deformasi plastis (kerusakan) hanya

akan terjadi pada elemen balok saja. Maka hierarki kegagalan yang diinginkan tercapai.



Gambar 14. Disipasi energi penampang HDM sesuai AISC 341

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji bagaimana fenomena kegagalan yang mungkin terjadi pada tipe sambungan *haunch* yang umum digunakan di Indonesia yang diterapkan pada penampang yang umum di pasaran. Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Analisis dilakukan menggunakan program berbasis elemen hingga ABAQUS untuk mendapatkan gambaran fenomena dan perilaku sistem sambungan.
- Penggunaan penampang *High Ductile Member* (HDM) sesuai dengan AISC 341 pada sambungan *haunch* dijadikan acuan performanya dengan kekuatan, kekakuan, duktilitas, dan disipasi energi sebagai parameter yang dibandingkan.
- Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem sambungan tipe *haunch* memenuhi kriteria penerimaan menurut AISC 341 karena sambungan mampu bertahan tanpa kehilangan kekuatan melebihi 20% pada rotasi 0,04 rad. Namun kurva momen-rotasi menunjukkan perilaku yang kurang baik, yaitu terjadi penurunan kekakuan akibat lelehnya baut dan kolom serta terjadi tekuk lokal khususnya pada pelat ujung, dimana itu tidak diizinkan terjadi.
- Mode kegagalan yang terjadi ketika menggunakan sambungan *haunch* pada penampang yang umum di pasaran (non-HDM) yaitu mengalami kelelahan pada *panel zone*, area sambungan *haunch*, pelat ujung, baut, dan balok yang dimulai dari tumpuan balok hingga area sendi plastis. Hasil tersebut mengindikasikan hierarki mode kegagalan yang tidak diinginkan.

5. Sementara itu, penggunaan penampang HDM pada sambungan *haunch* menghasilkan kekuatan, kekakuan, daktilitas, dan disipasi energi yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan penampang yang umum dipasaran.
6. Untuk antisipasi masalah kekakuan dalam menggunakan sambungan tipe *haunch*, maka direkomendasikan menggunakan penampang HDM sesuai AISC 341. Selain itu wajib untuk menyesuaikan formulasi tebal pelat ujung dan diameter baut, sehingga kinerja sambungan dan pola kerusakan akan sesuai yang diharapkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- AISC 341-22. 2022. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. Chicago.
- AISC 358. 2022. Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications. Chicago.
- AISC 360-16. 2016. Specification for Structural Steel Buildings. Chicago.
- BS:5950. 2000. Structural Use of Steelwork in Building Part1 1: Code of Practice for Design Rolled and Welded Sections. Part 1. BSI.
- Eurocode 3 1993 EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of Steel Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings.
- Feng, S. dkk. 2020. Seismic Performance of Curved Haunched Connections in Modularized Prefabricated Steel Structures. Journal of Constructional Steel Research, 172. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106188>.
- Haghollahi, A. and Jannesar, R. 2018. Cyclic Behavior of Bolted Extended End-Plate Moment Connections with Different Sizes of End Plate and Bolt Stiffened by a Rib Plate. Civil Engineering Journal, 4(1), p. 200. Available at: <https://doi.org/10.28991/cej-030979>.
- Heong, N.Y. 2004. Design of Composite Haunch Beams and Connections for Long Span Applications. National University of Singapore.
- Jakab, D., Stratan, A. and Dubina, D. 2021. Numerical testing of steel beam-to-column bolted extended end-plate connection with haunches. ITM Web of Conferences, 29, p. 02008. Available at: <https://doi.org/10.1051/itmconf/20192902008>.
- Landolfo, R. 2017. European pre-QUALified steel JOINTS (EQUALJOINTS). Naples.
- Rahnemoun, M., Tabrizi, S.K. and Ashtari, P. 2022. Experimental and numerical study on innovated steel Shear Resisting Frame with Haunched Beams (SRFHBs)', Journal of Constructional Steel Research, 197, p. 107495. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107495>.
- Ruffley, D.J. 2011. A Finite Element Approach for Modeling Bolted Top-and-Seat Angle Components and Moment Connections.
- Saberi, H. dkk. 2019. Seismic Behavior of Frames with Bolted End Plate Connections Rehabilitated by Welded Haunches Under Near- and Far-Fault Earthquakes. International Journal of Steel Structures, 19(2), pp. 672–691. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13296-019-00203-9>.
- Sadid, M.S. 2022. Effect of The Haunch Angle and Stiffener Types on Column-Beam Connection Behaviour Under Static Loading. Civil Engineering Beyond Limits, 3(4), pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.36937/cebel.2022.1777>.
- SCI P60. 1989. SCI P60 Design of haunched composite beams in buildings. Steel Construction Institute.
- SCI P207. 1995. SCI\_P207 Joints in Steel Construction Momen Connection.
- Shi, Y., Shi, G. and Wang, Y. 2007. Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections. Journal of Constructional Steel Research, 63(9), pp. 1279–1293. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.11.008>.
- SNI 7972. 2016. Standar Nasional Indonesia Sambungan terprakualifikasi untuk rangka momen khusus dan menengah

- baja pada aplikasi seismik. Available at: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id).
- Stratan, A. dkk. 2017. Experimental prequalification of bolted extended end plate beam to column connections with haunches', ce/papers, 1(2–3), pp. 414–423. Available at: <https://doi.org/10.1002/cepa.77>.
- Yuana, P.S. dkk. 2023. An Overview of Commonly Used Steel Beam-Column Connection in Indonesia for Low-Rise Building. INTEK: Jurnal Penelitian, 10(1), p. 7. Available at: <https://doi.org/10.31963/intek.v9i2.413>.
- Zhang, Y., Ma, W., Li, X., & Li, K. 2022. Experimental Research on Seismic Behavior of Haunched Concrete Beam–Column Joint Based on the Bolt Connection. Sustainability, 14(23), 15644.