



## Analisis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) Perilaku Sambungan *Haunched Gusset Plate* dengan Penampang Dobel Kanal

Irwandra Septiadi<sup>1\*</sup>, Rosidawani<sup>2</sup>, Kiagus Muhammad Aminuddin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia, [septiadi.irwandra@gmail.com](mailto:septiadi.irwandra@gmail.com)

<sup>2</sup>Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia, [rosidawani@ft.unsri.ac.id](mailto:rosidawani@ft.unsri.ac.id)

<sup>3</sup>Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia, [kmaminuddin@ft.unsri.ac.id](mailto:kmaminuddin@ft.unsri.ac.id)

\*Corresponding Author: [septiadi.irwandra@gmail.com](mailto:septiadi.irwandra@gmail.com)<sup>1</sup>

**Abstract:** *Cold-formed steel (CFS) itself has a very thin plate base, which makes it prone to buckling early during initial deformation. Due to the ease with which CFS can experience buckling failure, research on CFS emphasizes careful design of connections between beams and columns. Such connection designs focus on components like bolts and connecting plates, such as rectangular gusset plates, T-gusset plates, seat angles, web angles, and haunched gusset plates. These connections do not require welding and only involve simple installation. In recent years, research development on gusset plates has advanced, particularly on the haunched gusset plate (HGP) type. This paper presents an analysis method using the Finite Element Method (FEM) for HGP connections with a plate thickness of 10 mm, bolt diameter of 12 mm, and beam and column dimensions of C30024. The software used for FEM analysis is ANSYS Workbench. The analysis steps include defining material data, modeling the connection, meshing, determining contact interactions, and solving the analysis. The results obtained include displacement, moment, rotation, as well as deformation and stress distribution within the connection structure. The maximum deformation observed is 29,5 mm. The final conclusion compares the FEM results with experimental results previously conducted by other researchers. The comparison of the moment-rotation values ranges from 28,89%*

**Keywords:** *Cold-formed steel, connection, gusset plate, finite element method.*

**Abstrak:** *Cold formed steel (CFS) sendiri memiliki dasar pelat yang sangat tipis sehingga cepat untuk mengalami tekuk pada awal deformasi. Mudah-mudahan kondisi CFS mengalami kegagalan tekuk, maka penelitian CFS sangat memperhatikan dalam desainnya terhadap sambungan balok ke kolom. Desain sambungan tersebut ditujukan pada komponen sambungan seperti baut dan pelat penyambung seperti *rectangular gusset plate*, *T gusset plate*, *seat angle*, *web angle*, dan *haunched gusset plate*. Sambungan ini tidak memerlukan pengelasan dan hanya memerlukan instalasi sederhana. Beberapa tahun belakangan ini pengembangan penelitian terhadap *gusset plate* sudah semakin dikembangkan terutama tipe*

*haunched gusset plate* (HGP). Dalam paper ini akan disajikan metode analisis menggunakan *Finite Element Method* (FEM) terhadap sambungan HGP dengan tebal pelat 10 mm, baut diameter 12 mm, serta balok dan kolom berukuran C30024. Prangkat lunak yang digunakan untuk membantu dalam menganalisis FEM yaitu *ANSYS WORKBENCH*. Beberapa metode yang akan dilakukan yaitu menentukan material data, permodelan sambungan, *meshing*, penentuan kontak analisis, dan melakukan *solve analysis*. Setelah metode dilakukan maka keluar output berupa nilai defleksi, momen, dan rotasi serta kontru deformasi dan tegangan pada struktur sambungan. Deformasi maksimum yang terjadi yaitu sebesar 29,5 mm. Kesimpulan akhir yaitu perbandingan antara hasil FEM dengan hasil eksperimen dengan telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Perbandingan nilai momen rotasi tersebut berkisar 28,89%.

**Kata Kunci:** Baja *cold-formed*, sambungan, *gusset plate*, metode elemen hingga.

## PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini makin banyak para ahli struktur melakukan beberapa inovasi baru untuk membangun terciptanya konsep struktur bangunan yang dapat memenuhi tuntutan publik. Inovasi ini terus berkembang dari waktu ke waktu sehingga pada akhirnya akan memberikan solusi bagi para masyarakat dalam bidang konstruksi. Saat ini *Cold-formed steel* (CFS) yang banyak digunakan yaitu dalam hal konstuksi bangunan, khususnya untuk bangunan tempat tinggal (Aminuddin et al. 2019). Penggunaan material konstruksi pada CFS untuk gedung bertingkat menengah menghasilkan material yang ramah lingkungan, mudah diangkut, cepat dalam pemasangan, serta anti rayap (Firdaus et al, 2017). Pemasangan yang cepat dan mudah serta tidak berkarat merupakan keunggulan CFS dibandingkan dengan material dari baja konvensional HRS (*Hot Rolled Steel*).

Penampang yang sering digunakan sebagai objek penelitian CFS yaitu profil kanal (*C-section/lipped channel section*). Profil ini memiliki satu sumbu simetri sehingga sangat memungkinkan untuk terjadinya tekuk lokal (*local-buckling*) sebelum mencapai titik leleh keruntuhan. Alternatif yang dipakai untuk mencegah terjadinya bahaya tekuk tersebut dengan memodifikasi penampang menjadi dua sumbu simetri. Menurut Li et al. (2016), balok-balok tersusun dengan profil C dan U dibawah tekuk murni (*pure bending*) disarankan dengan menggunakan metode penampang kotak atau terbuka agar dapat mengidentifikasi kapasitas momen dari penampang built-up yang membengkok (*bending*) disekitar sumbu utama. Terdapat rangkaian spesimen balok yang dilakukan yaitu dengan merakit profil lipped channel section menjadi bentuk *built-up open* dan *built-up* (Wang L et al. 2018).

Pemasangan sambungan baja biasanya melakukan pengencangan dengan menggunakan baut, skrup, paku keling, ataupun las. Dari sudut pandang praktis, sambungan yang diusulkan harus sederhana, kuat, tahan lama, cepat, dan mudah dipasang (Aminuddin et al. 2019). Bucmys (2015) menyatakan bahwa pelat buhul (*gusset plate*) merupakan koneksi sambungan CFS yang memiliki sistem pemasangan yang cepat dan mudah. Maka peneliti tersebut mengembangkan model sambungan *gusset plate* (GPC) dengan beberapa konfigurasi baut, ukuran balok-kolom, dan bentuk geometri GPC itu sendiri.

CFS sendiri memiliki dasar pelat yang sangat tipis sehingga cepat untuk mengalami tekuk pada awal deformasi. Mudahnya kondisi CFS mengalami kegagalan tekuk, maka penelitian CFS sangat memperhatikan dalam desainnya terhadap sambungan balok ke kolom. Beberapa tahun belakangan ini pengembangan penelitian terhadap *gusset plate* sudah semakin dikembangkan terutama tipe *haunched gusset plate* (HGP).

Penelitian mengenai sambungan HGP telah dilakukan oleh Bucmys et al. (2013) menggunakan analisis *finite element method* (FEM) dengan bantuan *software ANSYS*. Jenis sambungan yang dipakai yaitu HGP dan TGP. Permodelan tersebut dibandingkan hasilnya

dengan penelitian eksperimen hasil dari Wong dan Chung (2002). Perbedaan antara hasil menunjukkan hasil yang memuaskan dimana mode kegagalan yang sama, kekuatan sambungan hanya berbeda 0,2%.

Adapun Alemdar et al. (2020) meneliti tentang HGP dengan menggunakan perhitungan numerik menggunakan program ABAQUS dengan pengaruh pembebanan siklik. Dimensi kolom dan balok menggunakan bentuk penampang Sigma Purlin dengan satu jenis specimen yaitu kolom dan balok berukuran sama yaitu dengan tinggi 200 mm dan tebal 2 mm. Mode kegagalan yang terjadi berupa keruntuhan sobekan pada HGP akibat tumpuan yang ada disekitar lubang baut dan balok serta keruntuhan tumpuan yang banyak terjadi di daerah kolom.

Permodelan FEM dikembangkan untuk mempresentasikan perilaku sebenarnya dalam pengujian skala penuh (*Full-Scale Isolated Joint Test*). Banyaknya biaya untuk melakukan uji skala penuh dengan berbagai dimensi, membuat analisis FEM merupakan alternatif yang efektif untuk memprediksi momen sambungan dan kekuatan rotasi pada rangka baja ringan (Tan, 2013). Analisis mendalam pada perilaku struktur sambungan CFS kekuatan parsial dapat dilakukan dengan teliti menggunakan FEM karena sulit diukur melalui uji eksperimental, seperti interaksi kompleks antar permukaan (*contact analysis*) dan tegangan pada sambungan (Amsyar, 2021).

Penelitian yang dipakai untuk mendesain FEM yaitu merujuk pada penelitian dari Aminuddin et al. (2020) dengan meneliti perilaku sambungan *haunched gusset plate* melalui penelitian eksperimental yang dilakukannya. Perangkat lunak yang di pakai dalam penelitian FEM permodelan sambungan yaitu menggunakan program ANSYS WORKBENCH. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah dengan mendapatkan grafik momen rotasi yang menjadi acuan dalam menentukan keakuan pada sambungan, serta dapat membandingkan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya

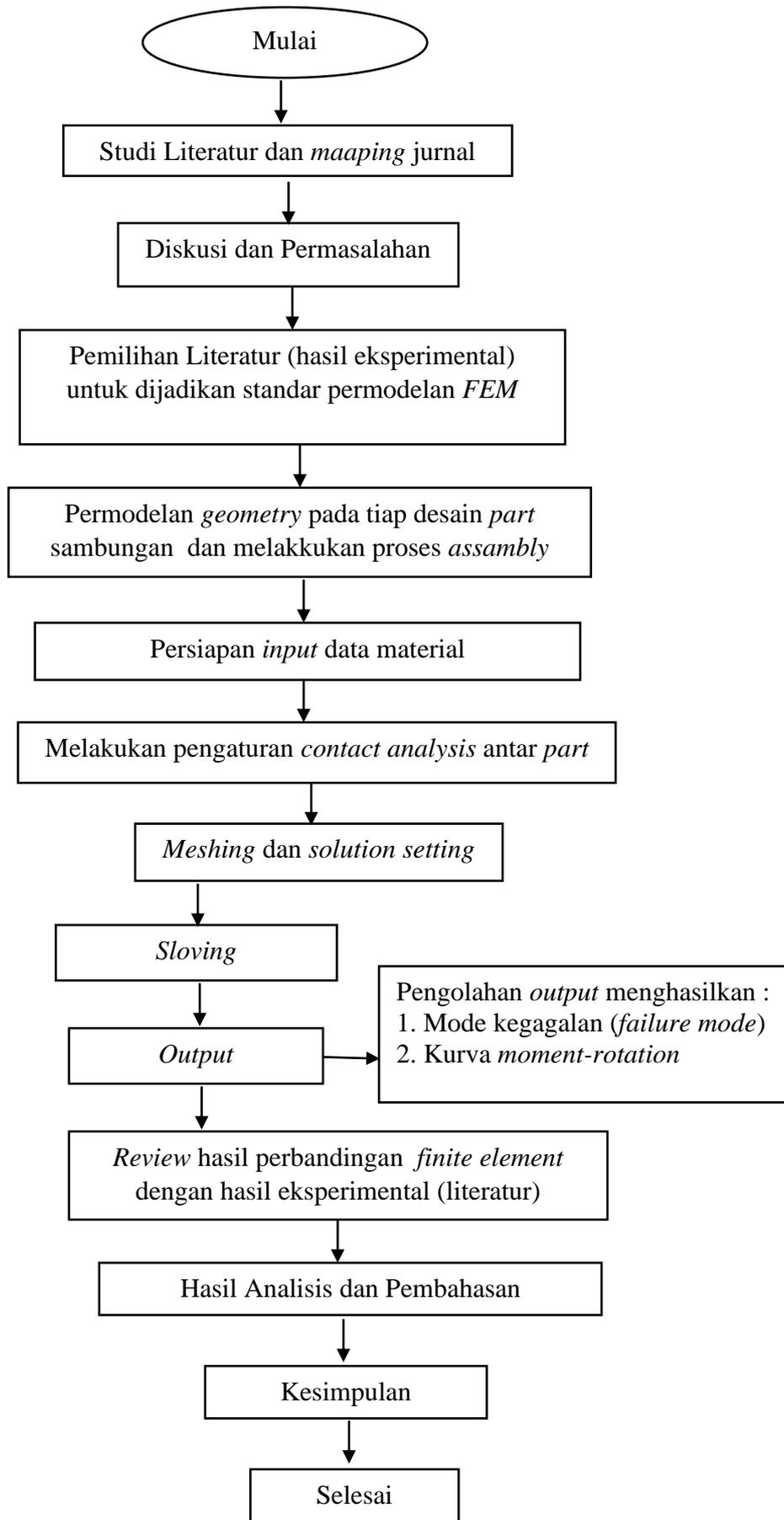
## METODE

Secara ringkas untuk mempermudah dalam memahami penelitian maka dibuat suatu diagram alir (*flowchart*) yang terdiri dari Penelitian Tahap 1, Tahap 2, dan Tahap 3. Diagram alir disajikan pada Gambar 1.

Material properti dan konfigurasi pada semua elemen sambungan diperlukan sebagai input dalam desain FEM. Beberapa properti yang dibuat oleh peneliti dalam melakukan penelitian eksperimental yaitu :

1. Kolom memiliki tinggi yaitu 3 m dan panjang balok yaitu 1,1 m.
2. Jenis sambungan menggunakan Haunched gusset plate memiliki tebal pelat HRS 10 mm.
3. Baut berukuran M12 dengan Grade 8.8 yaitu  $f_y = 640$  MPa dan  $f_u = 800$  MPa.
4. Semua penampang kolom dan balok menggunakan material CFS dengan  $f_y = 596,56$  MPa dan  $f_u = 683,44$  MPa
5. Haunched gusset plate menggunakan material HRS dengan  $f_y = 321,6$  MPa dan  $f_u = 465,4$  MPa
6. Posisi pemasangan sambungan haunched gusset plate berada pada tengah bentang kolom yaitu 1,5 m dengan pembebanan dilakukan pada jarak 1 m dari flens kolom.

Pada Tabel 1 dapat dilihat dimensi penampang CFS yang dipakai. Bentuk konfigurasi baut pada sambungan HGP disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3, sedangkan untuk detail jarak lubang baut dapat dilihat pada Tabel 2. Detail tersebut dibuat untuk memudahkan dalam membuat permodelan menggunakan perangkat lunak FEM.



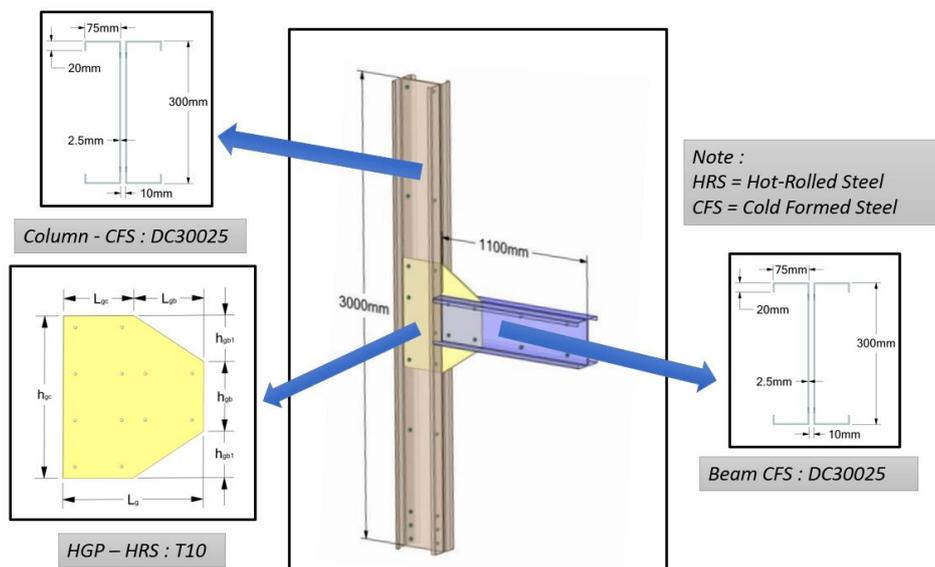
Gambar 1. Diagram alir (flowchart)

Tabel 1. Dimensi Penampang CFS (Aminuddin, 2020)

Dimensi Penampang	Web (mm)	Flange (mm)	Lip (mm)	Thickness (mm)	Radius (mm)	Banyak Baut
Balok	C30024	300	96	27,5	2,4	4
Kolom	C30024	300	96	27,5	2,4	8

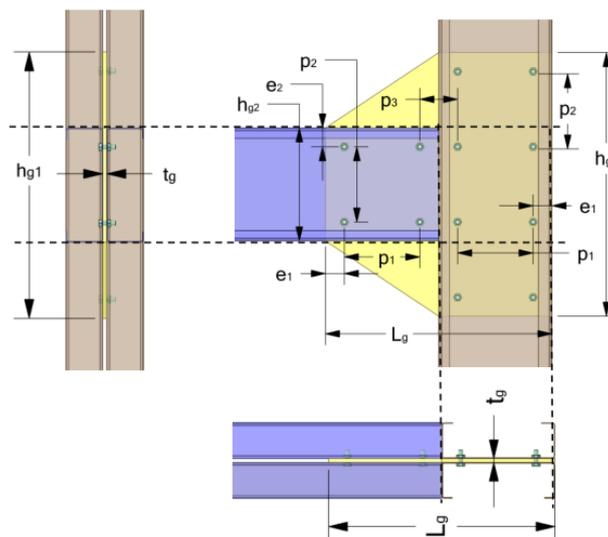
Tabel 2. Ukuran Konfigurasi Sambungan CFS (Aminuddin, 2020)

Spesimen IJT-BGJ-9								
Konfigurasi Sambungan HGP	tg (mm)	hg (mm)	lg (mm)	e1 (mm)	e2 (mm)	p1 (mm)	p2 (mm)	p3 (mm)
	10	300	600	50	50	200	200	100
Dimensi HGP	Lg (mm)	Lgc (mm)	Lgb (mm)	hgc (mm)	hgb (mm)	hgb1 (mm)		
	600	300	300	550	300	200		



Sumber: Hasil Modelling

Gambar 2. Model konfigurasi balok, kolom dan sambungan

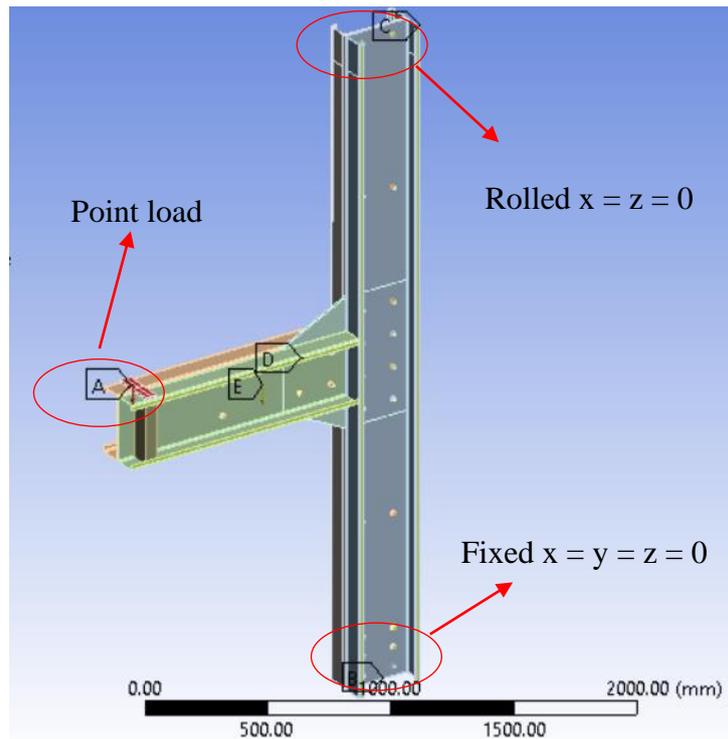


Sumber: Hasil Modelling

Gambar 3. Dimensi dan ukuran model

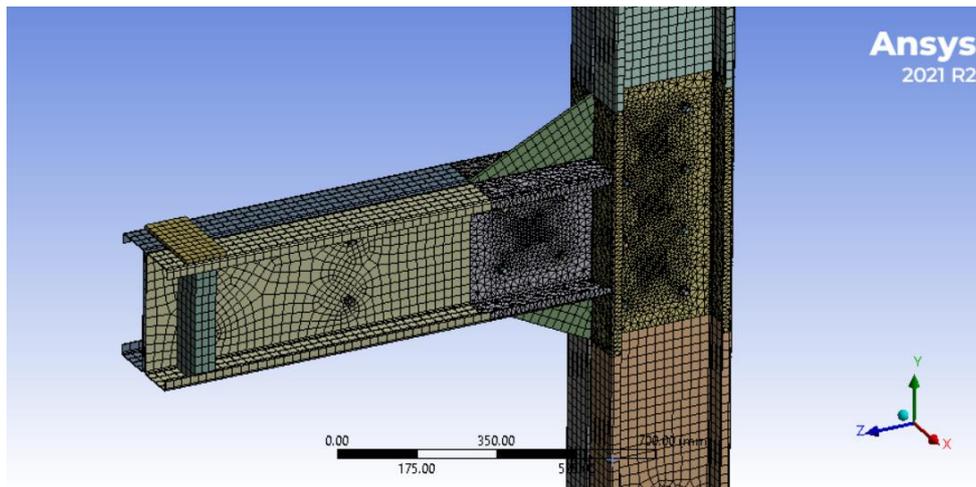
Pada Gambar 2 merupakan permodelan eksperimental Aminuddin et al. (2020) yang akan dianalisis menggunakan FEM. Sambungan kolom dan balok disambung menggunakan penghubung *haunched gusset plate* (HGP) dengan perkuatan baut. Permodelan menggunakan dimensi penampang *double channel section* yang dipasang *back-to-back* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3 dengan penghubung sambungan *haunched gusset plate*.

Kondisi batas menggunakan perletakan *roll* dan jepit (*fixed*). Perletakan Jepit berada di bawah bagian kolom dimana tidak ada pengaruh defleksi dari arah x, y, dan z. Sedangkan untuk perletakan *roll* hanya melakukan pergeseran pada arah y saja (lihat Gambar 4). Pembebanan yang diberikan sebesar 46,3 kN sesuai dengan beban akhir yang dihasilkan pada penelitian eksperimental. Beban diberikan 1 meter dari muka flens kolom.



Sumber: Hasil Modelling  
**Gambar 4. Kondisi batas model**

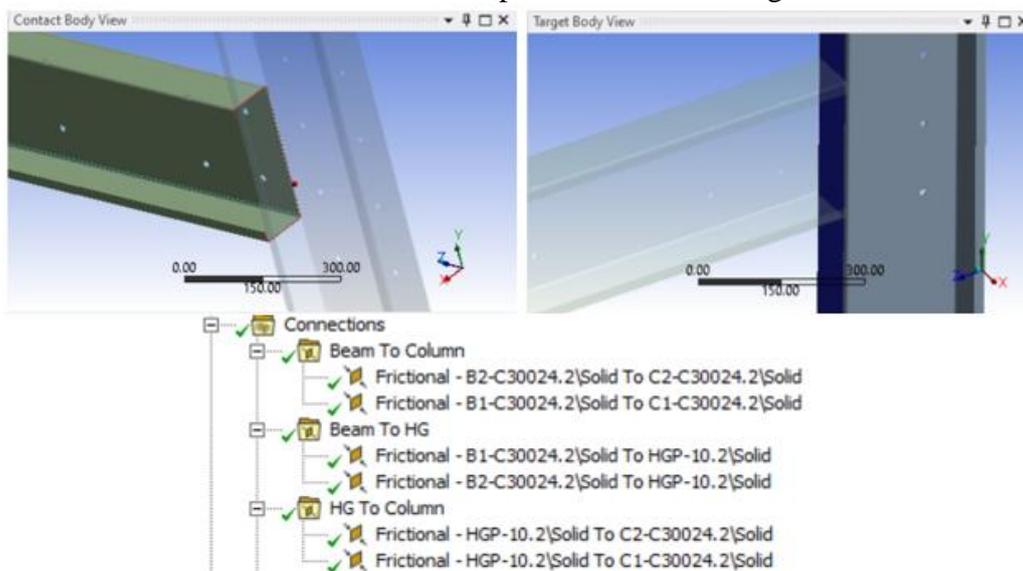
Keakuratan permodelan FEM sangat berkaitan dengan proses *meshing*. *Messhing* terdiri dari elemen-elemen yang berisi node sehingga membentuk suatu geometri. Pada umumnya permodelan FEA sulit dianalisis dengan bentuk *mesh* yang tidak teratur, tetapi jauh lebih mudah apabila *meshing* berbentuk kubus. Bentuk yang tidak beraturan yang kemudian menjadi bentuk yang mudah untuk dianalisis disebut dengan elemen. Dalam kasus ini *mesh* dilakukan dengan ukuran 22 mm. Permodelan dilakukan dengan menggunakan mode *automatic* dan *multizone*. Program akan secara otomatis membentuk konfigurasi *meshing* dengan bentuk yang telah disesuaikan oleh program yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Sumber: Hasil Modelling

**Gambar 5. Meshing model**

Kontak analisis harus digunakan dalam menentukan perilaku dari sambungan. Setiap part yang dipasang pada struktur permodelan harus adanya hubungan kontak satu sama lain. Akan tetapi penentuan kontak dan target kontak tidak boleh sembarangan, sehingga perlu memperhatikan adanya hubungan berkesinambungan antar bagian struktur (Gambar 6). Sebagai contoh hubungan antara balok ke kolom menggunakan tipe *frictional contact* dengan koefisien 0.19 dimana balok dan kolom merupakan kontak dan target.

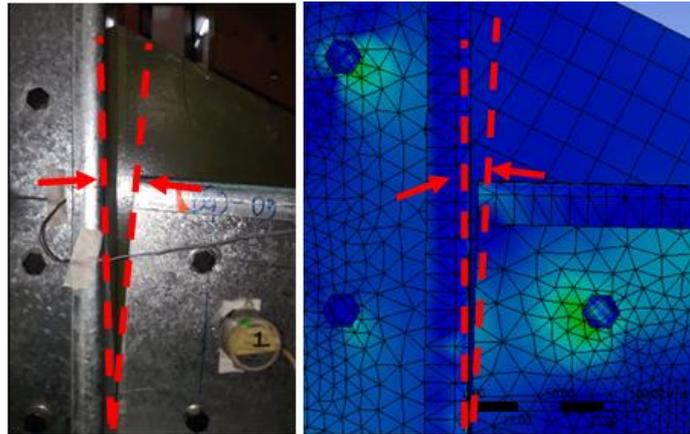


Sumber: Hasil Modelling

**Gambar 6. Kontak analisis**

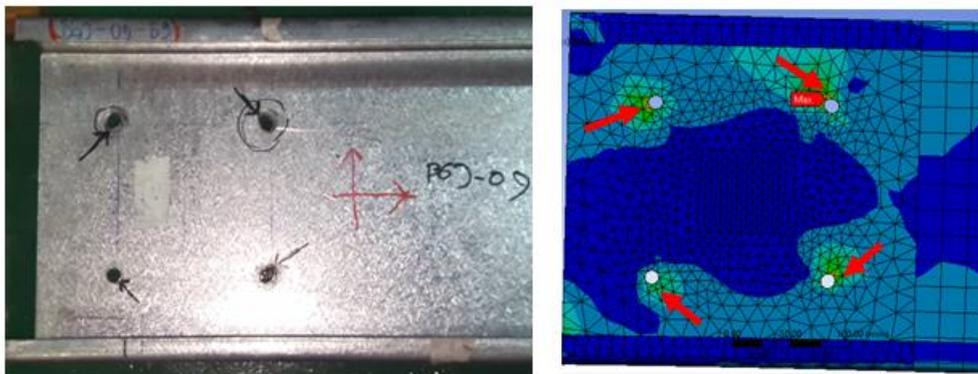
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan analisis menggunakan program *ANSYS WORKBENCH*, mode kegagalan (*failure mode*) yang terjadi yang terlihat memiliki kesamaan seperti pada eksperimental yang dilakukan. Terjadi celah diantara balok dan kolom pada area *tension zone* ketika beban diberikan sebesar 46,3 kN (Gambar 7). Pada area balok terjadi konsentrasi tegangan pada area lubang baut sehingga terjadi *bearing resistance* pada daerah sambungan baut seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Sumber: Hasil Modelling

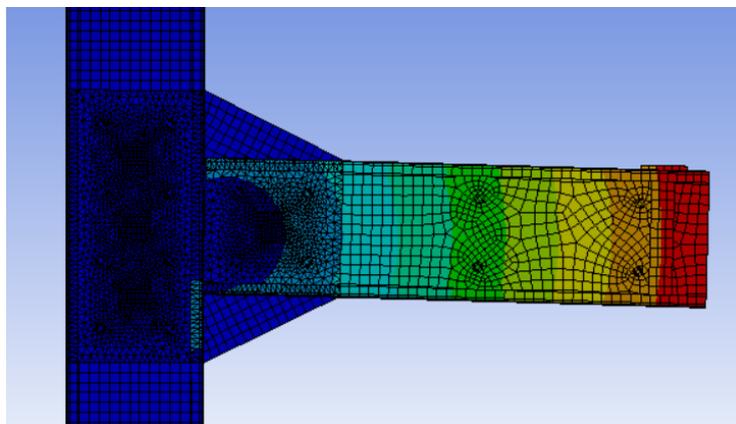
**Gambar 7. Celah akibat deformasi sambungan**



Sumber: Hasil Modelling

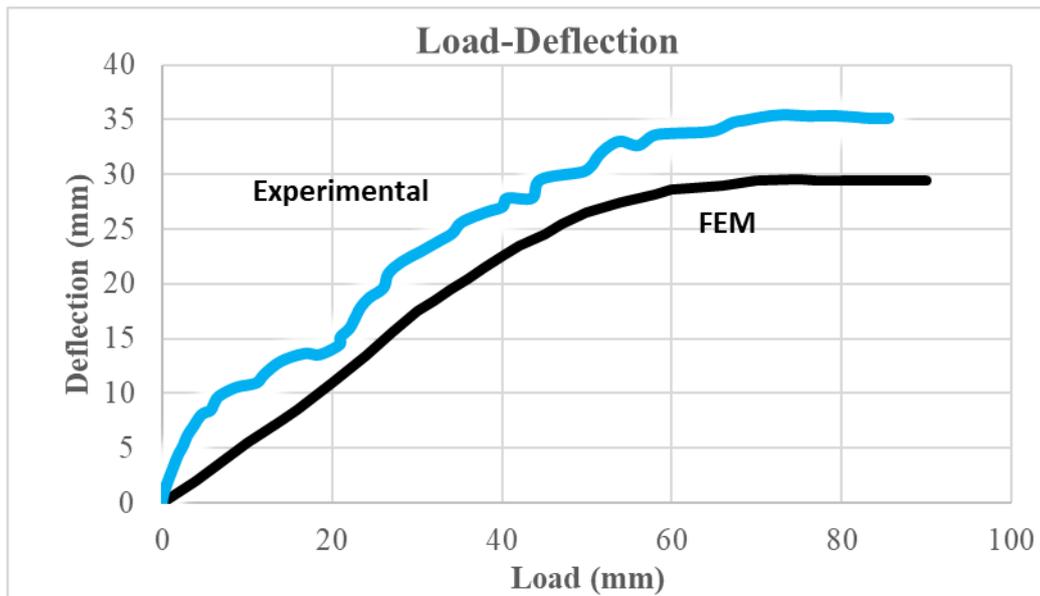
**Gambar 8. Kegagalan pada lubang baut balok**

Setelah dilakukan analisis menggunakan program *ANSYS WORKBENCH*, maka akan terlihat hasil kontur deformasi pada permodelan seperti pada Gambar 9. Dimana ujung balok merupakan area defleksi maksimum pada permodelan. Defleksi yang dihasilkan merupakan hasil dari pembebanan yang dilakukan pada posisi ujung balok dengan beban 46,3 kN. Pembebanan tersebut menghasilkan defleksi sebesar 29,5 mm, sedangkan untuk hasil eksperimental (Aminuddin, 2020) sebesar 35,2 mm. Grafik dari hasil pembebanan tersebut dapat dilihat pada Gambar 10.



Sumber: Hasil Riset

**Gambar 9. Hasil kontur deformasi**



Sumber: Hasil Riset

**Gambar 10. Grafik Load-Deflection**

Dalam menentukan kekakuan dan karakteristik dari sambungan maka dapat dilihat dari bentuk kurva momen rotasi. Hasil dari nilai defleksi yang disebabkan oleh beban yang terjadi akan membentuk sudut yang merupakan rotasi dari kolom dan balok. Persamaan yang dipakai merujuk pada Firdaus (2022) berdasarkan perhitungan dasar rotasi sambungan. Persamaan rotasi yang dipakai untuk masing-masing kolom dan balok yaitu:

$$\phi_{column} = \tan^{-1} \frac{\Delta X_{A'B'}}{\Delta Y_{A'B'}} \quad (\text{Pers. 1})$$

$$\phi_{balok} = \tan^{-1} \frac{\Delta X_{A'C'}}{\Delta Y_{A'C'}} \quad (\text{Pers. 2})$$

Persamaan rotasi untuk sambungan yang didasarkan pada rotasi balok dan kolom yaitu:

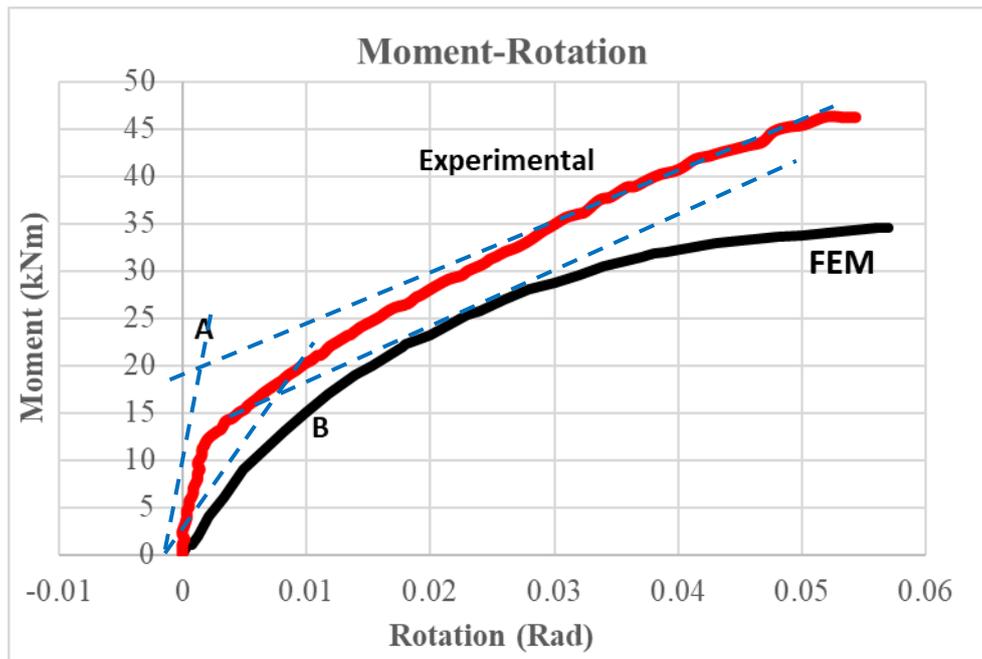
$$\phi_{joint} = \phi_{balok} - \phi_{column} \quad (\text{Pers. 3})$$

Maka persamaan kekakuan sambungan yang dipakai yaitu:

$$M = P \cdot L \quad (\text{Pers. 4})$$

$$S_j = \frac{M}{\phi_{joint}} \quad (\text{Pers. 5})$$

Hasil dari persamaan tersebut didapat grafik momen-rotasi dari analisis FEM yang kemudian akan dibandingkan dengan eksperimental Aminuddin et al. (2020) seperti pada Gambar 11. Nilai dari titik A yang merupakan potongan garis tangen hasil dari penelitian eksperimental mendapatkan nilai momen ( $M_z$ ) dan nilai kekakuan ( $S_j$ ) yaitu 46,2 kNm dan 851,15 kNm/rad. Nilai dari titik B yang merupakan hasil dari analisis FEM mendapatkan nilai momen ( $M_z$ ) dan nilai kekakuan ( $S_j$ ) yaitu 34,5 kNm dan 605,26 kNm/rad. Hasil tersebut menghasilkan nilai persentase seperti pada Tabel 3.



Sumber: Hasil Riset

Gambar 11. Grafik Momen-Rotation

Tabel 3. Perbandingan nilai momen-rotasi

Parameter Hasil	Aminuddin, et al (2020)	FEM	Selisih %
$M_z$ (kNm)	46.20	34.50	25.32
$S_j$ (kNm/rad)	851.15	605.26	28.89

## KESIMPULAN

Setelah melihat dari hasil yang dicapai maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Mode kegagalan (*failure mode*) yang terjadi pada sambungan yaitu terbentuknya celah antara balok dan kolom akibat deformasi yang terjadi dan adanya kegagalan pada tumpuan yang mengakibatkan rusaknya lubang baut.
2. Deformasi yang terjadi pada hasil analisis FEM yaitu 29,5 mm lebih kecil eksperimental yaitu 35,2 mm.
3. Perbedaan yang dicapai dari hasil penelitian FEM terhadap hasil eksperimental Aminuddin (2020) untuk grafik momen-rotasi yaitu 25,32 % untuk momen dan 28,89 % untuk kekakuan sambungan.

## REFERENSI

- Albimanzura, R. F. S., Saggaff, A., Tahir, M. M., & Kiagus, M. A. (2022). Parametric behaviour beam-to-column composite connection using CFS section. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 9(93), 1196.
- Allen, P., et al. (1995). *SCI P207 - Joints in steel construction - moment connections*, The Steel Construction Institute.
- Aminuddin, K. M., Saggaff, A., & Tahir, M. M., Shek, P. N., Sulaiman, A., Firdaus, M., Hanfiah, Saloma. (2020). Experimental Study Of Slip In Haunched Gusset Plate For Cold Formed Steel Connections. *International Journal of Scientific & Technology Research* Volume 9, ISSUE 02. ISSN 2277-8616.
- Aminuddin, K., Saggaff, A., Tahir, M. M., Ngian, S. P., Sulaiman, A., Firdaus, M., & Aghlara, R. (2019). Analytical and Experimental Investigation on Slip-in Gusset Plate Connection for Double C-channel Sections of Cold-formed Steel. *The Open Civil Engineering Journal*, 13(1).

- Amsyar, F., Siang, T. C., Sulaiman, A., & Khun, M. C. (2020, October). Numerical and experimental study of semi-rigid beam-to-column composite connections in cold-formed steel. In AIP conference proceedings (Vol. 2284, No. 1, p. 020011). AIP Publishing LLC.
- Amsyar, F., Tan, C. S., Mohammad, S., Tahir, M. M., & Hamid, H. A. Partial Strength Beam-to-column Connection of Cold-formed Single Channel Section: Numerical and Experimental Study.
- Banfi, M., et al. (2013). SCI P398 - Joints in steel construction - moment resisting joints to Eurocode 3, The Steel Construction Institute.
- Bučmys, Ž., & Daniūnas, A. (2015). Analytical and experimental investigation of cold-formed steel beam-to-column bolted gusset-plate joints. *Journal of civil engineering and management*, 21(8), 1061-1069.
- Dubina, D., et al. (2012). Design of Cold-formed Steel Structures: Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1-3: Design of Cold-formed Steel Structures, Wiley Online Library.
- Firdaus, M., Saggaff, A., & Tahir, M. M. (2017, November). Finite element analysis of composite beam-to-column connection with cold-formed steel section. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1903, No. 1, p. 020024). AIP Publishing LLC.
- Firdaus, M., Saggaff, A., Tahir, M. M., Aminuddin, K. M., Ngian, S. P., Siang, T. C., ... & Sulaiman, A. (2020). Behavior of partial strength of beam-to-column connection with gusset plate for cold-formed steel sections. *ASEAN Engineering Journal*, 10(2), 99-114.
- Jaspart, J.-P. and K. Weynand (2016). Design of Joints in Steel and Composite Structures: Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1-8--Design of Joints, Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1-- General Rules and Rules for Buildings, Wiley Online Library
- Lee, Y. H., Tan, C. S., Mohammad, S., Lim, J. B., & Johnston, R. (2015). Numerical study of joint behaviour for top-seat flange cleat connection in cold-formed steel structures. *Scientia Iranica*, 22(4), 1554-1566.
- Pisarek, Z. (2018). Approximated method for determining moment resistance and stiffness of bolted beam to column joints made with angle web and flange cleats. *Czasopismo Inżynierii Ładowej, Środowiska i Architektury*.
- Sulaiman, A., Salleh, N. M., Sukardi, N., Siang, T. C., & Saggaff, A. (2019, September). Experimental evaluation of composite beam-to-column joint using cold-formed steel sections. In IOP conference series: materials science and engineering (Vol. 620, No. 1, p. 012055). IOP Publishing.
- Tahir, M. M., Mohammadhosseini, H., Ngian, S. P., & Effendi, M. K. (2018). I-beam to square hollow column blind bolted moment connection: Experimental and numerical study. *Journal of Constructional Steel Research*, 148, 383-398.
- Tan, C. S., Lee, Y. H., Lee, Y. L., Mohammad, S., Sulaiman, A., Tahir, M. M., & Shek, P. N. (2013). Numerical simulation of cold-formed steel top-seat flange cleat connection. *Jurnal Teknologi*, 61(3), 63-71.
- Wang, L., & Young, B. (2018). Behaviour and design of cold-formed steel built-up section beams with different screw arrangements. *Thin-Walled Structures*, 131, 16-32.
- Yu, W. W. and R. A. Laboube (2020). Cold-Formed Steel Design 5th edition. New Jersey, John Wiley & Sons