

## Analisis Numerik Sambungan Baja *Reduced Beam Section* pada Sumbu Lemah Kolom Menggunakan Program Bantu ANSYS

Aditya Tamateja Diputra<sup>1,\*</sup>, Budi Suswanto<sup>1</sup>, Yuyun Tajunnisa<sup>2</sup>, Hidajat Sugihardjo Masiran<sup>1</sup>

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>2</sup>

Koresponden\*, Email: [Diputraadityatama@gmail.com](mailto:Diputraadityatama@gmail.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	19 Juni 2024	<i>Special moment-resisting frame beam-to-column connections require detailed design to maintain the ductility of the structure. Good ductility is achieved by dissipating energy through the formation of plastic hinges in the beam. Therefore, the beam-to-column connection should not fail before the beam does. One method used to ensure that energy dissipation is concentrated in the beam is the reduced beam section (RBS). The aim of this study is to verify the effectiveness of the reduced beam section (RBS) on weak-axis steel columns using the WEAK-DB600-SW specimen from Lee et al experiment with the help of ANSYS. The results of the analytical model show that the RBS connection can achieve a 4% rotation without failure. The moment capacity at a 4% rotation is 1178.60 kN-m, which is higher than the 0.80 Mpb value of 1044.79 kN-m. The WEAK-DB600-SW model satisfies the requirements for AISC SMF connections. The model's normalized moment at the column face (<math>M/M_{pb}</math>) is 1.09, with a margin of error of 0.5% compared to Lee et al experiment.</i>
Diperbaiki	29 Juli 2024	
Disetujui	29 Juli 2024	

*Keywords:* special moment frame connection, beam-column connection, weak axis connection.

Kata kunci: Rangka momen khusus, sambungan balok-kolom, sambungan sumbu lemah.

### Abstrak

Sambungan struktur baja rangka momen khusus memiliki beberapa persyaratan pendetailan pada sambungannya. Pendetailan perlu dilakukan guna menjaga daktilitas struktur tetap tinggi. Daktilitas tinggi dapat dicapai dengan proses disipasi energi pada balok dengan kata lain sambungan harus tetap pada kondisi elastis saat balok mencapai kegagalan. Salah satu cara memastikan disipasi energi terjadi balok adalah dengan sistem sambungan *reduced beam section* (RBS). Studi ini memverifikasi model sambungan RBS pada sumbu lemah kolom baja dari benda uji WEAK-DB600-SW dari eksperimen Lee dkk dengan aplikasi ANSYS. Permodelan WEAK-DB600-SW menghasilkan sudut rotasi 4% tanpa mengalami kegagalan. Momen yang dicapai saat rotasi 4% sebesar 1178,60 kN-m, lebih besar daripada kapasitas 0,80  $M_{pb}$  sebesar 1044,79 kN-m. Sambungan hasil analisis numerik layak digunakan pada rangka momen khusus sesuai dengan peraturan AISC. Hasil normalisasi momen puncak pada muka kolom ( $M/M_{pb}$ ) model analitikal mencapai 1,09 dengan perbedaan terhadap eksperimen Lee dkk sebesar 0,5%.

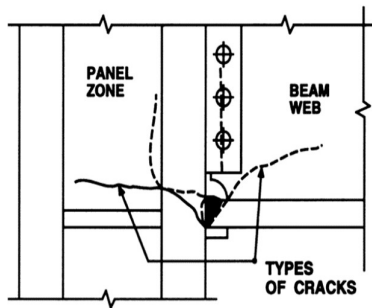
### 1. Pendahuluan

Gempa yang terjadi di Northridge, Amerika Serikat tahun 1994 menyebabkan banyaknya kegagalan sambungan antara kolom dan balok baja sistem rangka pemikul momen. Kegagalan sambungan terjadi begitu cepat tanpa adanya perilaku daktilitas dahulu, padahal baja dikenal sebagai material dengan daktilitas tinggi [1]. Hal ini tidak sejalan dengan konsep daktilitas tinggi pada sistem rangka pemikul momen [2]. Kegagalan yang umum dijumpai pada sambungan struktur baja saat gempa Northridge dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Terlihat pada **Gambar 1**, badan balok dibaut ke pelat yang di as ke sayap kolom sebagai penahan geser. Sedangkan sayap balok dilas *complete joint penetration* (CJP) ke sayap kolom. Terdapat *backing bar* sebagai dudukan las pada bagian sayap balok. *Backing bar* tersebut menjadi pemicu terjadinya retakan pada sambungan las karena sayap balok

tidak terlas secara penuh ke sayap kolom. Hal ini menyebabkan kegagalan pada sambungan las yang menyebar sampai daerah *panel zone* kolom dan badan balok.

Oleh karena itu, sambungan pada struktur baja rangka pemikul momen khusus memiliki beberapa persyaratan pendetailan pada sambungannya. Pendetailan tersebut perlu dilakukan guna menjaga daktilitas struktur tetap tinggi. Daktilitas yang tinggi dapat dicapai dengan proses disipasi energi pada balok. Oleh karena itu, sambungan balok-kolom tidak boleh mengalami kegagalan sebelum balok gagal. Salah satu cara memastikan disipasi energi terjadi balok adalah dengan sistem sambungan *reduced beam section* (RBS) [3]. RBS terbukti mampu mengurangi konsentrasi tegangan pada bagian las balok-kolom dengan angka perbandingan sebesar 3 sehingga kegagalan sambungan las dapat diminimalisasi [4].



**Gambar 1.** Kerusakan Sambungan pada Gempa Northridge [2]

AISC mensyaratkan beberapa parameter yang harus dicapai sambungan rangka pemikul momen khusus. Sambungan balok kolom sistem rangka pemikul momen khusus harus dapat mengakomodasi sudut *drift* dengan tingkat paling sedikit 0,04 rad tanpa adanya kegagalan dan ketahanan lentur sambungan pada muka kolom harus paling sedikit  $0,80 M_{pb}$  (momen plastis balok) yang disambung pada sudut *drift* 0,04 rad tersebut. Sambungan pada sistem rangka pemikul momen juga diharuskan tetap berada pada fase elastisnya saat balok sudah mengalami kegagalan [5].

Terbatasnya penelitian tentang sambungan SRPMK pada sumbu lemah kolom membuat Lee dkk [4] melakukan penelitian tentang sambungan rangka momen khusus pada sumbu lemah kolom. Lee dkk [4] meneliti sambungan RBS pada sumbu lemah kolom baja.

**Tabel 1.** Profil Benda Uji

Elemen	Profil
Balok	WF 600 x 200 x 11 x 17
Kolom	H 400 x 400 x 13 x 21
Baut	M22 F10T

**Tabel 2.** Material WEAK-DB600-SW [4]

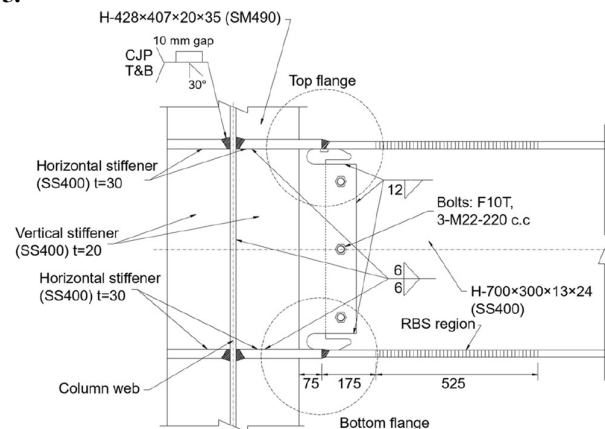
Komponen	Material	$F_y$ (MPa)	$F_u$ (MPa)
Sayap Balok	SS400	326	467
Badan Balok	SS400	343	474
Sayap Kolom	SM490	358	531
Badan Kolom	SM490	390	525
Baut M22	F10T	900	1200

Benda uji WEAK-DB600-SW tersaji pada **Tabel 1**. Balok menggunakan WF 600 x 200 x 11 x 17 dan kolom H 400 x 400 x 13 x 21. Profil yang digunakan sudah dikontrol terhadap persyaratan *strong column weak beam* (SCWB) dengan rasio 1,28. Area *panel zone* kolom juga sudah dipastikan melebihi kebutuhan gaya geser perlu dengan perbandingan 2,70. **Gambar 2 (a)** menunjukkan tampak samping benda uji

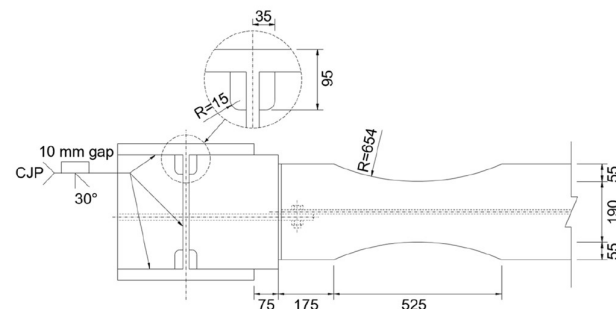
WEAK-DB600-SW. Sedangkan **Gambar 2 (b)** menunjukkan tampak atas benda uji WEAK-DB600-SW. Benda uji WEAK-DB600-SW menggunakan material yang tersaji pada **Tabel 2**.

Lee dkk [4] melakukan pembebanan siklik pada benda uji WEAK-DB600-SW sesuai dengan protokol pembebanan AISC. Skema pengujian tersaji pada **Gambar 3**. Skema pembebanan AISC mengharuskan benda uji untuk melewati beban siklik setidaknya sampai rotasi 5%. Skema pembebanan AISC tersaji pada **Gambar 4**.

Hasil pengujian menunjukkan sambungan dapat mencapai rotasi 4% tanpa mengalami kegagalan. Selain itu sambungan juga dapat melampaui  $0,80 M_{pb}$  saat rotasi 4%. Kurva mengalami sedikit degradasi saat mencapai rotasi 4%. Parameter tersebut dapat dilihat melalui kurva histeresis pada **Gambar 5**.



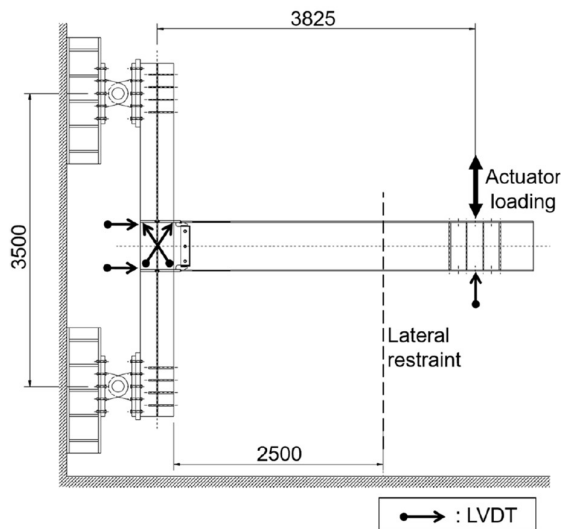
**(a)** Tampak Samping Benda Uji WEAK-DB600-SW



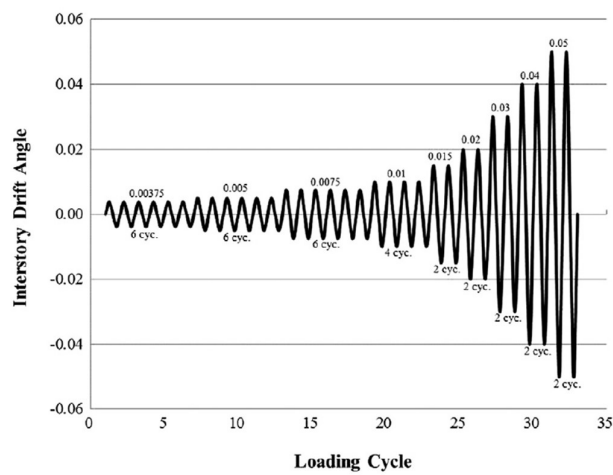
**(b)** Tampak Atas Benda Uji WEAK-DB600-SW

**Gambar 2.** Benda Uji Weak-DB600-SW [4]

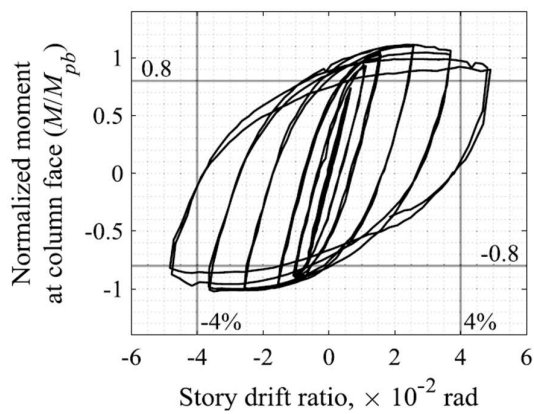
Tekuk lokal pada balok di area RBS terjadi pada akhir siklus. Sayap pada RBS juga sudah mengalami pelelehan ditandai dengan mengelupasnya cat putih. Kedua hal ini menjadi parameter bahwa disipasi energi terjadi pada balok dengan baik. Tekuk lokal pada badan tersaji pada **Gambar 6 (a)** dan pelelehan pada sayap balok tersaji pada **Gambar 6 (b)**.



Gambar 3. Skema Pengujian WEAK-DB600-SW [4]



Gambar 4. Skema Pembebanan AISC [5]



Gambar 5. Kurva Histerisis Benda Uji WEAK-DB600-SW [4]



(a) Tekuk Lokal pada Badan

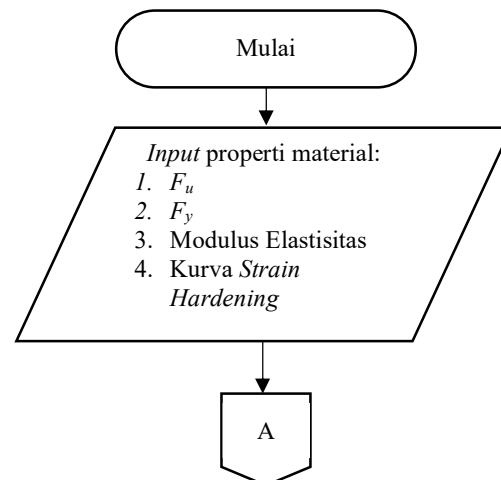


(b) Leleh pada Sayap

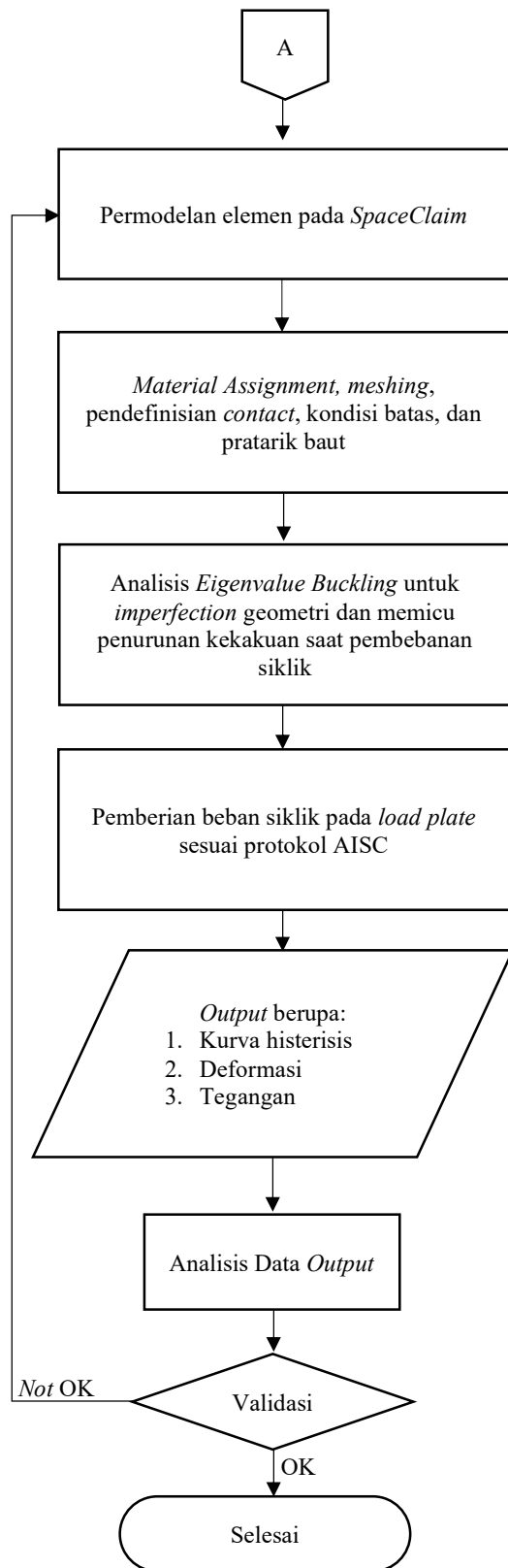
Gambar 6. Kondisi Benda Uji WEAK-DB600-SW saat Rotasi 5% [4]

## 2. Metode

Proses permodelan dengan menggunakan ANSYS tersaji melalui bagan alir permodelan, yang tersaji pada Gambar 7 dan Gambar 8.



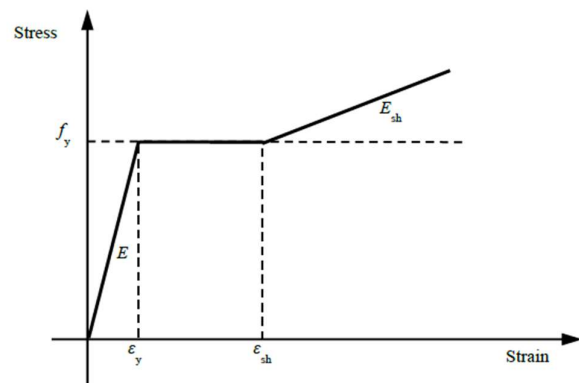
Gambar 7. Bagan Alir Permodelan ANSYS



Gambar 8. Bagan Alir Permodelan ANSYS (Lanjutan)

Pada proses *input* material, benda uji WEAK-DB600-SW dimodelkan dengan ANSYS menggunakan 3 jenis material, yaitu SM490 untuk kolom, SS400 untuk balok dan pelat pengaku, serta F10T untuk baut. Berdasarkan penelitian Lee dkk, nilai tegangan leleh serta tegangan putus antara sayap dan badan balok-kolom memiliki nilai yang berbeda [4], sesuai pada **Tabel 2**. Propertis material yang diinput pada ANSYS meliputi *Young's modulus*, *yield strength*, *ultimate strength*, dan kurva saat material mengalami *strain hardening*. *Properties* lainnya yang terdapat pada ANSYS diasumsikan sesuai dengan *default setting* ANSYS.

Kurva tegangan-regangan pada ANSYS menggunakan model material Ramberg-Osgood. Ramberg-Osgood menggunakan model matematika untuk kurva tegangan-regangan dengan tiga parameter (*trilinear model*), yaitu daerah elastis, daerah *yield plateau*, dan daerah *strain hardening* [6]. Kurva tegangan-regangan model matematika Ramberg-Osgood dapat dihasilkan dengan 3 parameter yang umum didapat *engineer*, yaitu Modulus Young ( $E$ ), tegangan leleh ( $F_y$ ), dan tegangan ultimit ( $F_u$ ) [7].



Gambar 9. Trilinier Model Stress-Strain Curve [8]

Model matematika Ramberg-Osgood dimulai dengan memperhitungkan *uniform strain* ( $\epsilon_{us}$ ) dengan Persamaan (1) dan Ramberg-Osgood *exponent* ( $n$ ) dengan Persamaan (2).

$$\epsilon_{us} = \left( \frac{\epsilon_r}{100} - \frac{F_u}{E} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

$$n = \frac{LN \left( \frac{\epsilon_{us}}{\epsilon_p} \right)}{LN \left( \frac{F_u}{F_y} \right)} \quad (2)$$

Dengan:

- $\epsilon_r$  = Strain rupture
- $F_u$  = Tegangan putus (MPa)
- $F_y$  = Tegangan leleh (MPa)
- $\epsilon_p$  = Offset yield strain = 0.2%

Kemudian, menghitung *engineering stress* ( $\sigma_{eng}$ ) – *strain* ( $\epsilon_{eng}$ ) *curve* dengan Persamaan (3).

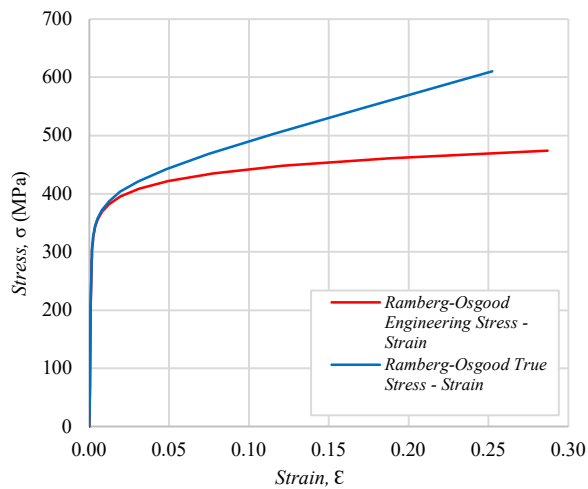
$$\epsilon_{eng} = \frac{\sigma}{E} + 0.002 \cdot \left(\frac{\sigma}{F_y}\right)^n \quad (3)$$

Terakhir, menghitung *true stress* ( $\sigma_{true}$ ) dengan Persamaan (4) dan *strain* ( $\epsilon_{true}$ ) *curve* melalui Persamaan (5).

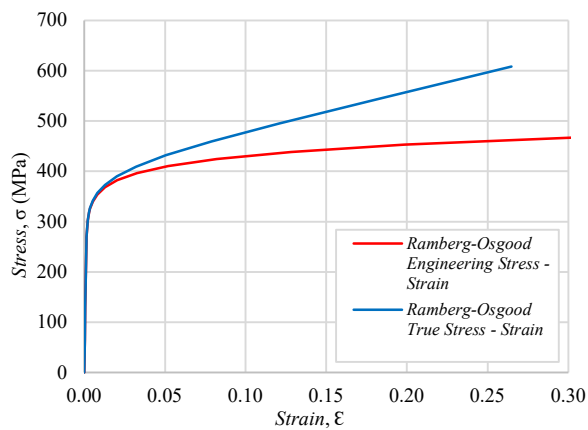
$$\sigma_{true} = \sigma_{eng} \cdot (1 + \epsilon_{eng}) \quad (4)$$

$$\epsilon_{true} = LN(1 + \epsilon_{eng}) \quad (5)$$

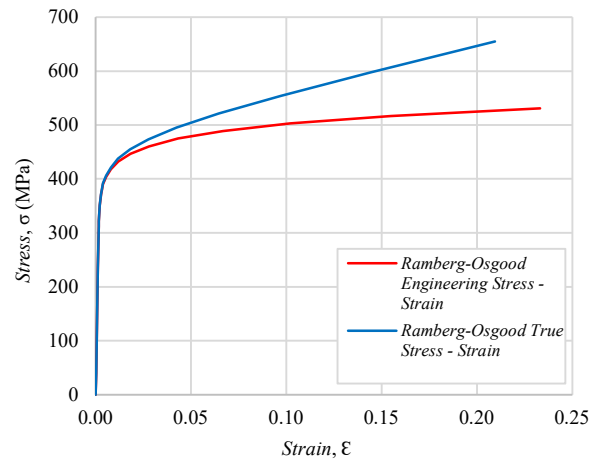
Dari perhitungan dari Persamaan (1) sampai Persamaan (5), didapatkan kurva tegangan-regangan Model Ramberg-Osgood yang tersaji pada **Gambar 10** sampai **Gambar 14**.



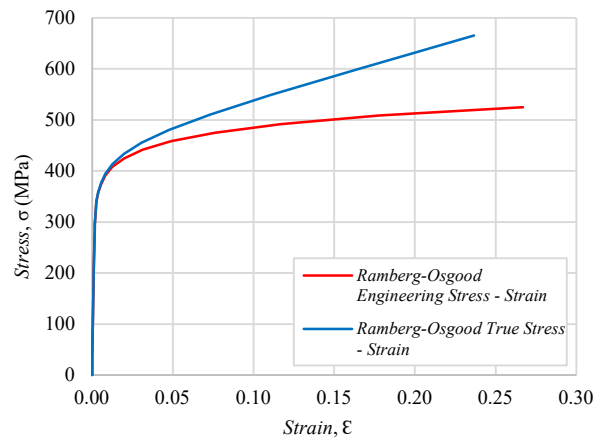
**Gambar 10.** SS400 web Stress-Strain Curve



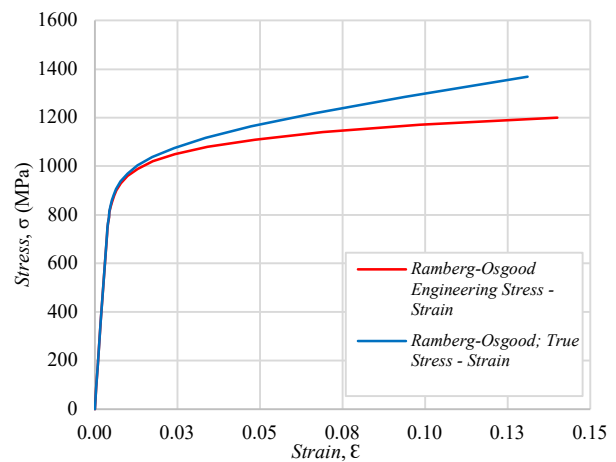
**Gambar 11.** SS400 flange Stress-Strain Curve



**Gambar 12.** SM490 web Stress-Strain Curve



**Gambar 13.** SM490 flange Stress-Strain Curve

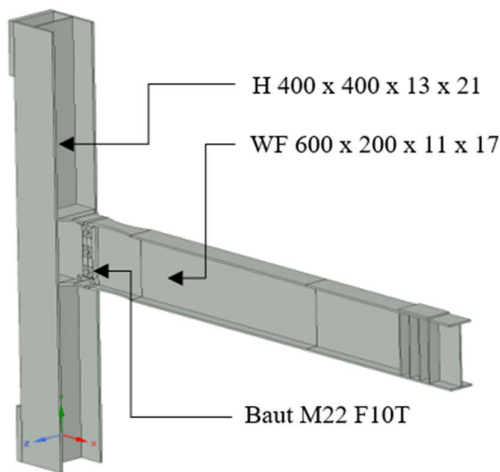


**Gambar 14.** F10T Stress-Strain Curve

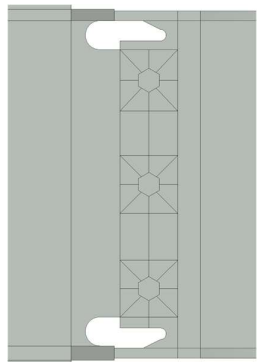
**Gambar 10** menunjukkan model kurva tegangan-regangan Ramberg-Osgood SS400 bagian badan dengan garis berwarna biru adalah *true stress-strain* sedangkan warna merah adalah *engineering stress-strain*. **Gambar 11** menunjukkan model kurva tegangan-regangan Ramberg-Osgood SS400 pada sayap.

**Gambar 12** menunjukkan model kurva tegangan-regangan Ramberg-Osgood SM490 bagian badan. **Gambar 13** menunjukkan model kurva tegangan-regangan Ramberg-Osgood SM490 pada sayap. **Gambar 14** menunjukkan model kurva tegangan-regangan Ramberg-Osgood baut F10T.

Profil balok, kolom, pelat, dan baut dibuat dengan fitur *spaceclaim* pada ANSYS. Profil dibentuk dengan elemen *solid*. Secara keseluruhan, elemen balok, kolom, pelat, dan baut disajikan pada **Gambar 15**. Area lubang baut seperti pada badan balok dibuat partisi dengan cara membagi elemen *solid* sehingga hasil *meshing* dapat lebih rapi. Partisi pada profil ditunjukkan pada **Gambar 16**.

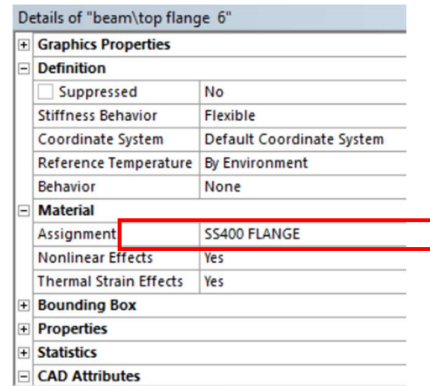


**Gambar 15.** Model WEAK-DB600-SW pada ANSYS



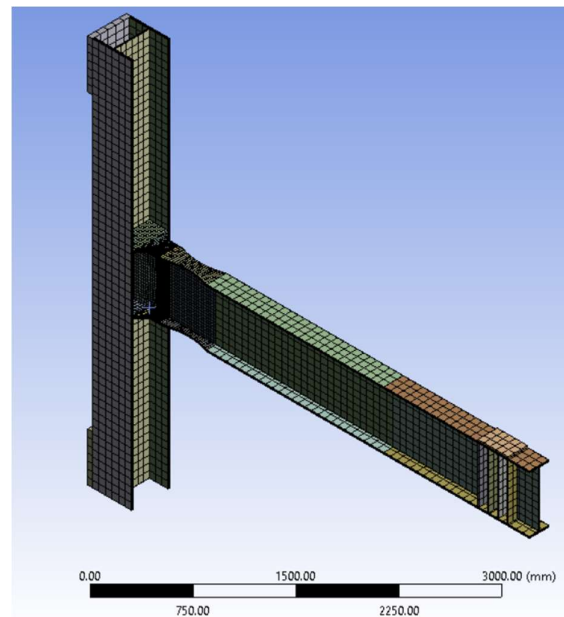
**Gambar 16.** Partisi pada Daerah Sambungan Baut

Setelah geometri dibentuk, material diassign pada kolom, balok, pelat pengaku, dan baut. Kolom dengan material SM490, balok dan pelat pengaku dengan SS400, serta baut dengan F10T. Contoh *material assignment* tersaji pada **Gambar 17**.



**Gambar 17.** Input *Material Assignment* pada Sayap Balok

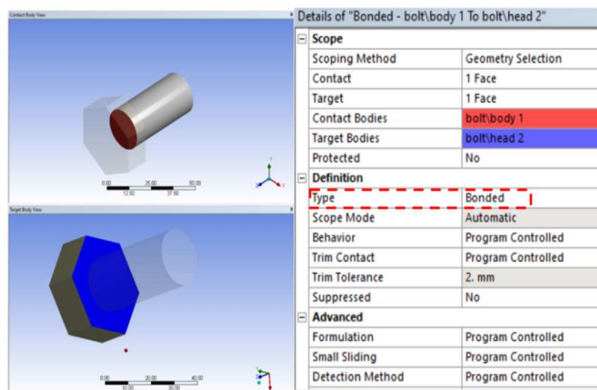
*Meshing* elemen menggunakan metode *multizone* dengan tipe *hexa* dimana *meshing* yang dihasilkan berbentuk segi empat. Ukuran *meshing* pada daerah di luar sambungan dibuat sebesar 70 mm, untuk daerah area sambungan (*panel zone*, pelat pengaku dan *reduced beam section*) dibuat *meshing* dengan ukuran 25 mm, dan untuk daerah lubang dan baut dibuat *meshing* sebesar 10 mm. *Edge meshing* membagi ketebalan badan dan sayap balok dan kolom menjadi tiga bagian. Hasil *meshing* secara keseluruhan dapat terlihat pada **Gambar 18**.



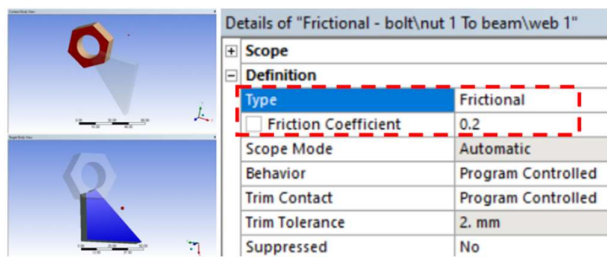
**Gambar 18.** *Meshing* WEAK-DB600-SW



Connection pada ANSYS memberi hubungan antara elemen *solid* yang saling terkoneksi. Connection yang dipakai adalah tipe *bonded* dan *frictional*. Sebagai contoh antara elemen kepala baut dan badan baut, digunakan connection tipe *bonded* dimana koneksi dianggap sebagai satu kesatuan [9] yang tersaji pada **Gambar 19**. Nut baut yang terkoneksi dengan badan balok digunakan connection tipe *frictional* karena kedua elemen terdapat friksi dari proses pengencangan baut. *Frictional* merepresentasikan keadaan dimana terdapat gaya gesek yang terjadi antara dua permukaan, namun saat gaya yang terjadi lebih besar daripada gaya gesek maka akan terjadi pergeseran [10]. Connection tipe *frictional* tersaji pada **Gambar 20**.



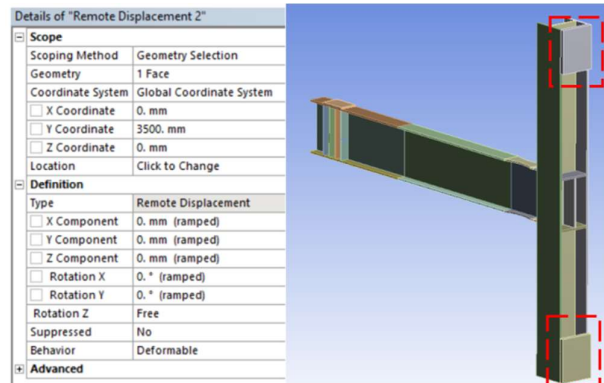
**Gambar 19.** Koneksi *Bonded* antara Kepala Baut dan Badan Baut



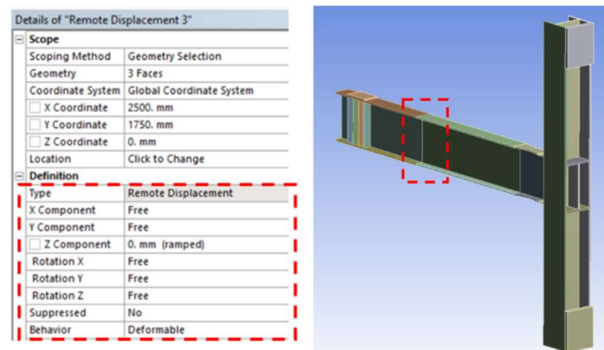
**Gambar 20.** Koneksi *Frictional* antara Nut Baut dan Badan Balok

Kondisi batas atau *boundary condition* pada kedua ujung kolom adalah sendi. Kondisi sendi dapat dicapai dengan memberi perintah *remote displacement* dengan membebaskan rotasi pada sumbu z dan ditempatkan pada kedua ujung balok yang tersaji pada **Gambar 21**. Terdapat pula kondisi batas pada balok yang menggambarkan adanya tahanan lateral agar balok tidak mengalami puntir dengan membatasi translasi arah z yang memungkinkan balok bergeser ke kiri atau kanan dan ditempatkan sejarak 2500 mm dari muka kolom yang tersaji pada **Gambar 22**.

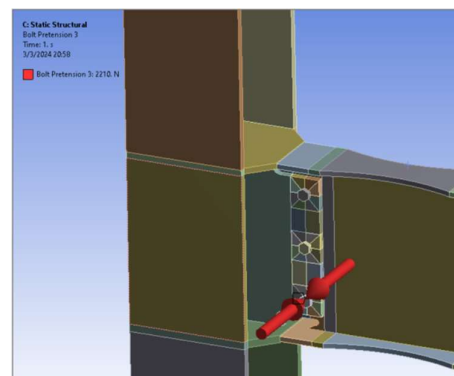
Baut yang menahan gaya geser pada badan balok diberikan gaya *pretension* akibat adanya pengencangan sebesar 221 kN, seperti pada **Gambar 23**.



**Gambar 21.** Kondisi Batas Sendi-Sendi Kolom



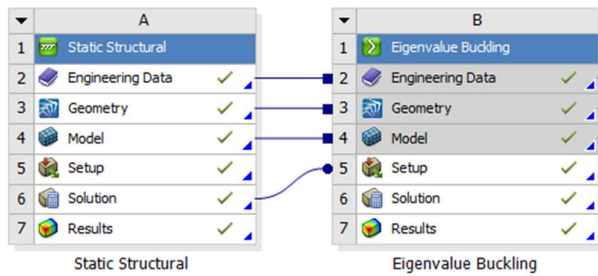
**Gambar 22.** Kondisi Batas pada Balok sebagai Tahanan Lateral



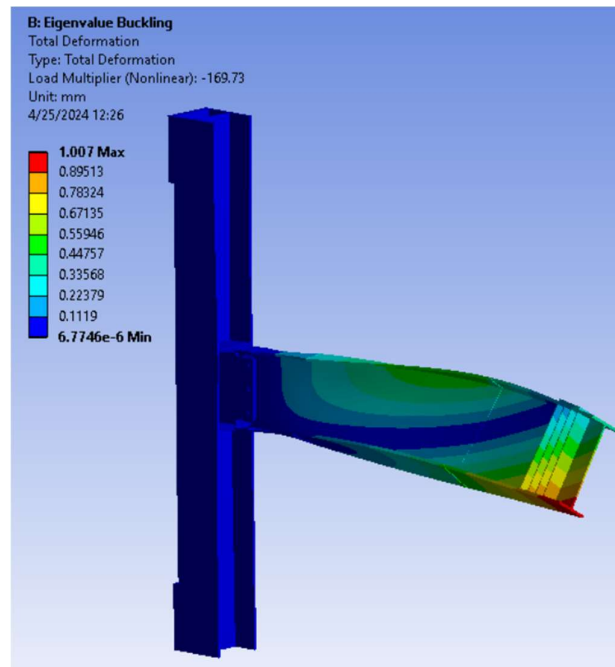
**Gambar 23.** Pretention Baut 221 kN

Setelah membuat pratarik baut, perlu dilakukan analisis *eigenvalue buckling*. *Eigenvalue buckling analysis* merupakan analisis untuk memprediksi kekuatan tekuk struktur secara teoritikal [10]. Analisis *eigenvalue buckling* memperhitungkan kondisi ketidaksempurnaan geometri struktur

akibar proses fabrikasi atau *imperfection*. *Imperfection* tersebut yang dapat memicu adanya degradasi kekakuan akibat *buckling* [1]. *Imperfection* pada ANSYS dapat diaktifkan dengan memberikan *initial imperfection* berupa beban atau defleksi kecil pada struktur. *Initial condition* ini harus dimunculkan pada fitur *static structural* yang dihubungkan pada fitur *eigenvalue buckling* pada ANSYS yang tersaji pada **Gambar 24**. Analisis *eigenvalue buckling* biasanya digunakan pada elemen tipis yang terkena beban tekan yang rawan terhadap tekuk. Hasil analisis *eigenvalue buckling* berupa deformasi awal tersaji pada **Gambar 25**.

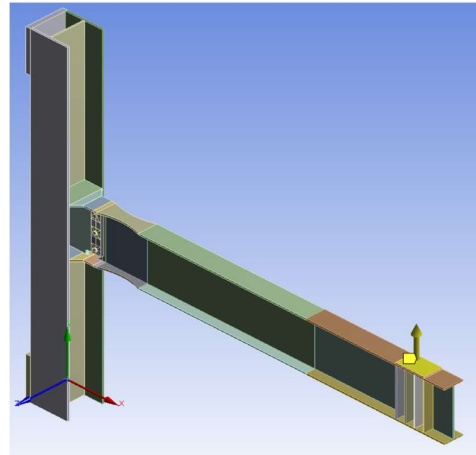


**Gambar 24.** Fitur Eigenvalue Buckling



**Gambar 25.** Hasil Deformasi Analisis Eigenvalue Buckling dengan Skala 5x

Beban siklik sebanyak 65 siklus sesuai protokol AISC [5] diposisikan di atas pelat pembebanan setebal 17 mm, sejarak 3625 mm dari muka kolom. Beban siklik tersaji pada **Gambar 26**.



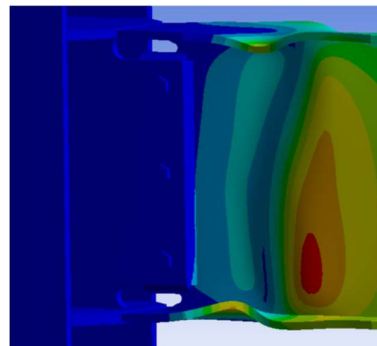
**Gambar 26..** Posisi Beban Siklik pada Balok

### 3. Hasil dan Pembahasan

Permodelan WEAK-DB600-SW pada ANSYS menghasilkan luaran berupa kurva histerisis, deformasi, dan kontur tegangan. Kurva histerisis permodelan dibandingkan dengan Eksperimen Lee dkk. Kedua kurva histerisis tersebut dapat dinilai keakuratan permodelan dan parameter yang digunakan pada ANSYS.

#### a. Deformasi

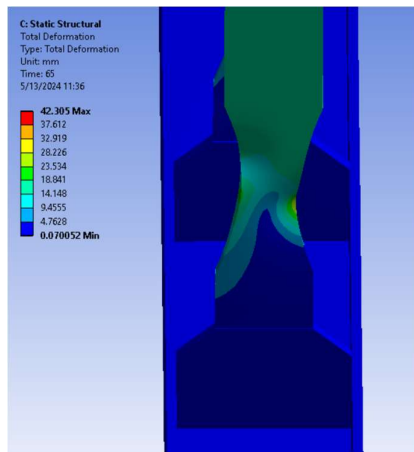
Tidak terjadi deformasi yang signifikan pada kolom saat akhir siklus. Warna biru tua di sepanjang kolom menandakan deformasi yang terjadi masih di bawah 4 mm. Pusat sendi plastis terjadi pada bagian RBS. Deformasi terjadi pada sayap RBS sebesar 16 mm – 20 mm dan pada badan sebesar lebih dari 40 mm. Deformasi pada badan RBS tersaji pada **Gambar 27**. Deformasi pada sayap RBS tersaji pada **Gambar 28** dan deformasi pada model WEAK-DB600-SW secara keseluruhan tersaji pada **Gambar 29**.



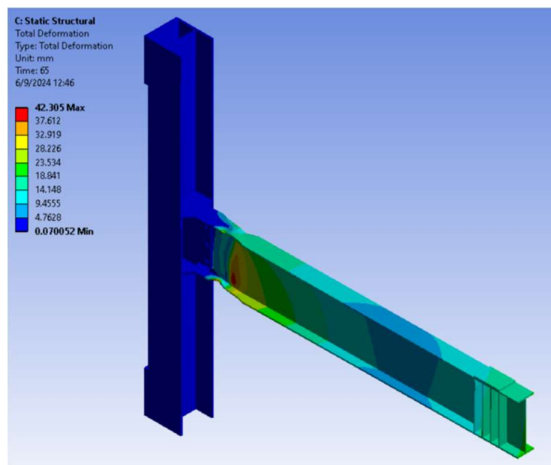
**Gambar 27.** Deformasi pada Badan RBS

Hasil deformasi ini cukup sesuai dengan apa yang terjadi pada eksperimen Lee dkk [4] dimana pusat sendi plastis juga pada RBS.





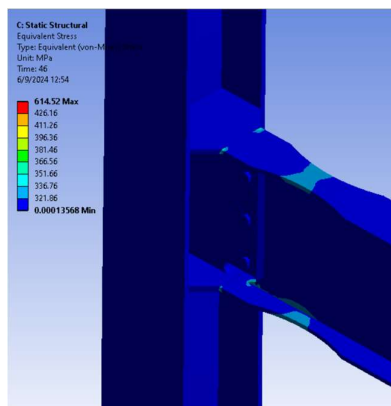
Gambar 28. Deformasi pada Sayap RBS



Gambar 29. Deformasi WEAK-DB600-SW pada Akhir Siklus

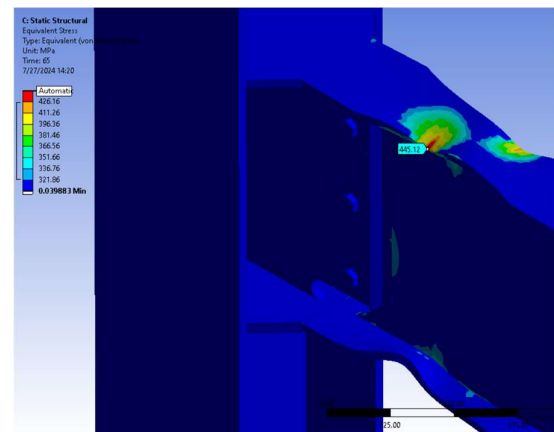
b. Tegangan

Pelelehan pertama pada model terjadi pada step 46, saat rotasi mencapai 1,5%. Pelelehan pertama terjadi pada area sayap RBS yang tersaji pada Gambar 30.



Gambar 30. Pelelehan Pertama Model pada Rotasi 1,5%

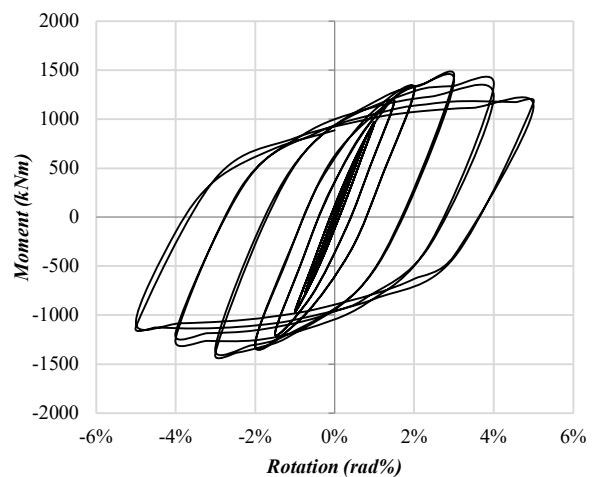
Pelelehan terjadi pada bagian RBS dimana tegangan lelehnya sudah terlampaui pada akhir siklus. Bagian kolom sama sekali tidak mengalami adanya pelelehan sehingga masih bersifat elastis dan prinsip SCWB terjaga dengan baik. Hal ini membuktikan bahwa disipasi energi dapat terpusat pada balok. Daktilitas sambungan dapat terjaga dengan baik karena tidak terdapat konsentrasi tegangan berlebih pada area sambungan sehingga balok dapat mencapai kegagalan dahulu sebelum sambungan. Tegangan terbesar terjadi pada bagian sayap RBS, sebesar 445,17 MPa pada akhir siklus (step-65) yang tersaji pada Gambar 31.



Gambar 31. Tegangan pada Step-65

c. Kurva Histerisis

Kurva histerisis momen terhadap rotasi hasil permodelan ANSYS tersaji pada Gambar 32. Momen maksimum yang terjadi pada muka kolom sebesar 1428,72 kN-m saat rotasi 3%. Setelah rotasi 3%, model mengalami degradasi kekuatan dikarenakan sayap pada bagian RBS sudah mencapai tegangan lelehnya dan terjadi tekuk.



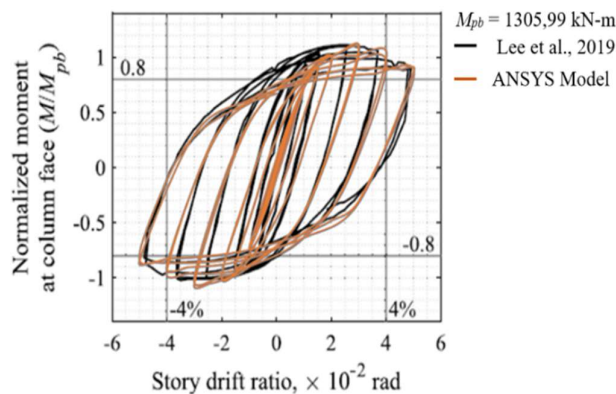
Gambar 32. Kurva Histerisis Model WEAK-DB600-SW

Sambungan pada model WEAK-DB600-SW dapat mencapai rotasi 4% tanpa mengalami kegagalan serta dapat mengakomodasi  $0,80 M_{pb}$  saat rotasi 4%. Saat rotasi 4%, momen yang dicapai sebesar 1178,60 kN-m, lebih besar daripada kapasitas  $0,80M_{pb}$  sebesar 1044,79 kN-m. Sehingga, sambungan WEAK-DB600-SW dapat digunakan pada struktur rangka pemikul momen khusus karena mampu memenuhi persyaratan AISC untuk sambungan rangka momen khusus.

Untuk mengetahui keakuratan permodelan, kurva histerisis dibandingkan dengan hasil eksperimen Lee dkk [4]. Lee dkk membagi momen yang terjadi di muka kolom dengan momen plastis hasil perhitungan ( $M/M_p$ ) guna kemudahan dalam melihat nilai  $0,08 M_{pb}$  pada kurva histerisisnya. Perbandingan kurva histerisis antara permodelan dan Eksperimen Lee dkk [4] tersaji pada **Gambar 33**.

Hasil normalisasi momen puncak pada muka kolom ( $M/M_{pb}$ ) eksperimen Lee dkk [4] sebesar 1,10 dengan  $M_{pb}$  sebesar 1305,99 kN-m. Sedangkan normalisasi momen puncak pada muka kolom ( $M/M_{pb}$ ) permodelan sebesar 1,09. *Margin of error* yang terjadi sebesar 0,5%. Oleh karena itu, dapat dikatakan model WEAK-DB600-SW dari hasil permodelan ANSYS sudah cukup akurat dengan hasil eksperimen Lee dkk [4].

Perbedaan antara analisis numerik dan pengujian asli diakibatkan oleh adanya *heat affected zone* (HAZ) pada daerah sayap balok yang dilas ke kolom. Pada eksperimen Lee dkk, terjadi pelelehan pada sayap balok pasca rotasi 5% dikarenakan daerah sayap mengalami penurunan kekakuan akibat HAZ. Pelelehan akibat HAZ tersebut menyebabkan momen puncak yang dicapai benda uji Lee dkk tidak setinggi model numerik. Pada analisis numerik, pengaruh *heat affected zone* diabaikan, sehingga tidak terdapat pelelehan pada bagian sayap yang dilas ke kolom. Pelelehan pada model terfokus pada area RBS.



**Gambar 33.** Perbandingan Kurva Histerisis antara Eksperimen Lee dkk dan Permodelan ANSYS

#### 4. Simpulan

Hasil analisis numerik menunjukkan tegangan terpusat pada daerah RBS yang mencapai 445,17 MPa. Kolom tidak mengalami tegangan yang besar karena disipasi energi terjadi pada bagian RBS. Hal ini dapat memastikan prinsip SCWB berjalan. Dengan tegangan yang besar pada RBS, sendi plastis terbentuk pula pada RBS.

Model WEAK-DB600-SW mampu mencapai rotasi 4% tanpa mengalami kegagalan. Saat rotasi 4%, momen yang dicapai sebesar 1178,60 kN-m, lebih besar daripada kapasitas  $0,80 M_{pb}$  sebesar 1044,79 kN-m. Kapasitas momen puncak yang dicapai model WEAK-DB600-SW sebesar 1428,72 kN-m saat rotasi 3%. Sambungan hasil analisis numerik layak digunakan pada rangka pemikul momen khusus sesuai dengan peraturan AISC.

#### Daftar Pustaka

- [1] F. Ghifari, B. Suswanto, and Y. Tajunnisa, "Analisis Numerik Sambungan Rigid Balok-Kolom Bolted Flange Plate (BFP) Menggunakan Program Bantu ANSYS," *J. Apl. Tek. Sipil*, 2019.
- [2] E. Paul Popov, T. S. Yang, and S. P. Chang, "Design of steel MRF connections before and after 1994 Northridge earthquake," *Eng. Struct.*, vol. 20, no. 12, pp. 1030–1038, 1998, doi: 10.1016/S0141-0296(97)00200-9.
- [3] D. S. Sophianopoulos and A. E. Deri, "Steel beam-to-column RBS connections with European profiles: I. Static optimization," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 139, pp. 101–109, 2017, doi: 10.1016/j.jcsr.2017.09.028.
- [4] C. H. Lee, J. H. Jung, and S. Y. Kim, "Cyclic Seismic Performance of Weak-Axis RBS Welded Steel Moment Connections," *Int. J. Steel Struct.*, vol. 19, no. 5, pp. 1592–1604, 2019, doi: 10.1007/s13296-019-00233-3.
- [5] AISC, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings," *Seism. Provisions Struct. Steel Build.*, no. 1, p. 402, 2016.
- [6] P. A. Belov and N. Y. Golovina, "Generalization of the Ramberg–Osgood Model for Elastoplastic Materials," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 28, no. 12, pp. 7342–7346, 2019, doi: 10.1007/s11665-019-04422-3.
- [7] W. Ramberg and W. R. Osgood, "Description of stress-strain curves by three parameters," *Natl. Adv. Comm. Aeronaut.*, p. Technical Note No. 902, 1943, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/2060/19930081614>
- [8] X. Yun and L. Gardner, "Stress-strain curves for hot-rolled steels," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 133, no. June,

- pp. 36–46, 2017, doi: 10.1016/j.jcsr.2017.01.024.
- [9] ANSYS, “ANSYS Workbench Release 10.0,” *ANSYS Work. Release 10.0*, 2005, [Online]. Available: <http://kashanu.ac.ir/Files/Content/ANSYS> Workbench.pdf
- [10] ANSYS Inc, “ANSYS Mechanical User ’ s Guide,” *Release 15, ANSYS, Inc.*, no. November, 2013.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**