

Perilaku Daktilitas Sambungan End-Plate 8ES pada Struktur Baja SRPMK dengan Variasi Sudut Pengaku

Taufik Ramlan Wijaya^{*1}, Randy Yonathan Rurut²

^{1,2}Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta Selatan
e-mail: ^{*1}taufik_ramlan@istn.ac.id, ²rurutrandy@gmail.com.

Abstract

This study evaluates the ductility behavior of 8ES end-plate connections in an eight-story Special Moment Resisting Frame (SRPMK) steel structure under static and dynamic loading. Two stiffener angles, 30° and 45°, were analyzed at three beam-column joint locations on the 8th floor (middle, edge, corner) using finite element simulation in ANSYS. Static analysis results show that all connection models meet strength criteria with stresses below material limits. The R.8ES.30 model demonstrated higher ultimate moment capacity ($M_u = 171\text{--}192\text{ kN.m}$) compared to R.8ES.45 ($M_u = 119\text{--}137\text{ kN.m}$). Under dynamic loading, moment amplification of up to 4.5 times occurred. The R.8ES.30 model showed superior performance with M_u/M_{n_din} ratios > 1.0 (1.06–1.51) at all locations, proving adequate strength against seismic loads, and maximum stress (367.34 MPa) remained below the design yield strength (369 MPa). The R.8ES.45 model exhibited better and more consistent ductility ($\mu = 3\text{--}4$) but had lower capacity. It is concluded that the R.8ES.30 connection is more suitable for SMF applications in seismic regions due to its strength reserve and material efficiency.

Keywords: end-plate connection, special moment frame, ductility, finite element method, seismic load

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi perilaku daktilitas sambungan end-plate tipe 8ES pada struktur baja Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) delapan lantai akibat pembebanan statik dan dinamik. Dua variasi sudut pengaku, yaitu 30° dan 45°, dianalisis pada tiga lokasi sambungan balok-kolom di Lantai 8 (tengah, tepi, sudut) menggunakan simulasi elemen hingga dalam ANSYS. Hasil analisis statik menunjukkan semua model sambungan memenuhi kriteria kekuatan dengan tegangan di bawah batas aman material. Model R.8ES.30 menunjukkan kapasitas momen ultimit (M_u) lebih tinggi (171–192 kN.m) dibandingkan R.8ES.45 (119–137 kN.m). Pada pembebanan dinamik, terjadi amplifikasi momen hingga 4,5 kali. Model R.8ES.30 unggul dengan rasio $M_u/M_{n_din} > 1,0$ (1,06–1,51) di semua lokasi, membuktikan kecukupan kekuatan terhadap beban gempa, dan tegangan maksimum (367,34 MPa) masih di bawah kuat leleh desain (369 MPa). Model R.8ES.45 memiliki daktilitas lebih baik dan konsisten ($\mu = 3\text{--}4$) namun kapasitasnya lebih rendah. Disimpulkan bahwa sambungan R.8ES.30 lebih layak untuk aplikasi SRPMK di daerah seismik karena kelebihan kapasitas dan efisiensi materialnya.

Kata Kunci: sambungan end-plate, rangka momen khusus, daktilitas, metode elemen hingga, beban seismik.

PENDAHULUAN

Struktur baja Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) banyak digunakan di wilayah seismik seperti Indonesia karena kemampuannya menyerap energi gempa melalui deformasi inelastis. Kinerja SRPMK sangat bergantung pada sambungan balok-kolom, yang harus memiliki kekuatan dan daktilitas memadai. Sambungan end-plate tipe 8ES (Eight-Bolt Stiffened Extended End-Plate) merupakan salah satu tipe terpraktualifikasi menurut SNI 7972:2020. Namun, detail sambungan seperti sudut pengaku (stiffener) memengaruhi distribusi tegangan dan perilaku daktilitas.

Penelitian sebelumnya oleh Hayati (2016) menunjukkan bahwa pengaku meningkatkan kapasitas sambungan end-plate, sementara Yoganata (2020) menekankan keunggulan extended end-plate dalam mengurangi displacement. Namun, kajian komprehensif mengenai pengaruh sudut pengaku terhadap daktilitas sambungan 8ES pada struktur SRPMK berlantai banyak masih terbatas.

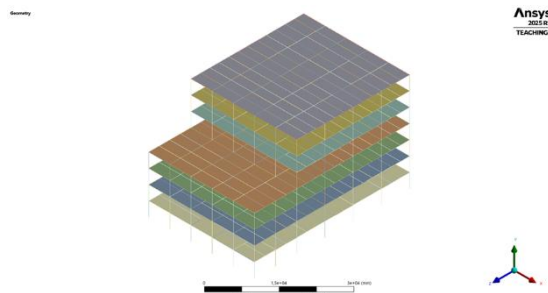
Penelitian ini bertujuan mengevaluasi perilaku daktilitas sambungan end-plate 8ES dengan variasi sudut pengaku 30° dan 45° pada tiga lokasi sambungan di Lantai 8 melalui simulasi numerik

menggunakan ANSYS. Parameter yang ditinjau meliputi kapasitas momen ultimit, tegangan maksimum, dan indeks daktilitas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan simulasi numerik berbasis Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM) untuk menganalisis perilaku sambungan end-plate tipe 8ES (Eight-Bolt Stiffened Extended End-Plate). Fokus penelitian adalah mengevaluasi pengaruh kritikal variasi sudut pengaku (30° dan 45°) dan lokasi sambungan dalam struktur bangunan 8 lantai terhadap parameter kinerja seismik, yaitu kapasitas momen ultimit, distribusi tegangan, dan indeks daktilitas.

Pemodelan dimulai dengan membangun model struktur global 3D gedung perkantoran 8 lantai menggunakan perangkat lunak ANSYS APDL. Gedung dengan dimensi denah 30 m x 44 m dan tinggi total 33.6 m (tinggi antar lantai 4.2 m) ini dimodelkan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) di kedua arah utama.



Gambar 1 Tampak 3D Model Struktur 8 Lantai

- Elemen Struktur: Balok induk menggunakan profil IWF 350x175, sedangkan kolom menggunakan profil H 400x400. Pelat lantai beton dimodelkan sebagai diaphragm kaku untuk menjamin kerja sama struktur dalam mendistribusikan beban lateral.

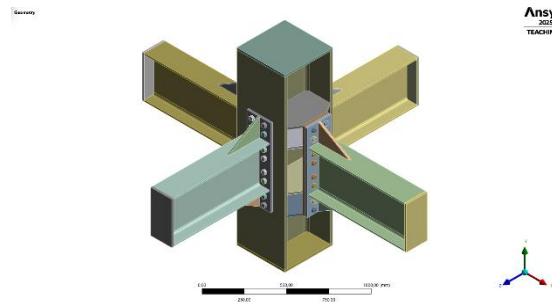
Tabel 1 Kode model untuk simulasi numerik

Lantai	Kolom	Balok Induk
8	H 400x400	IWF 350X175
7	H 400x400	IWF 350X175
6	H 400x400	IWF 350X175
5	H 400x400	IWF 350X175
4	H 400x400	IWF 350X175
3	H 400x400	IWF 350X175
2	H 400x400	IWF 350X175
1	H 400x400	IWF 350X175

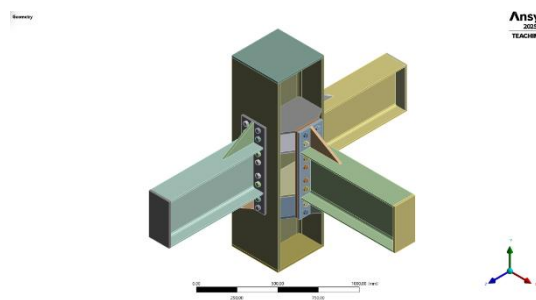
- Material: Mutu baja BJ-37 ($f_y = 240$ MPa, $f_u = 370$ MPa, $E = 200.000$ MPa) digunakan untuk elemen balok dan kolom. Modulus geser (G) ditetapkan 80.000 MPa dan angka Poisson (ν) 0.3.
- Pembebanan: Beban gravitasi (mati, hidup tambahan) dihitung berdasarkan SNI 1727:2020. Beban gempa dimodelkan menggunakan analisis respons spektrum sesuai SNI 1726:2019.

Setelah analisis struktur global, gaya-gaya dalam (momen, geser, aksial) pada sambungan balok-kolom di Lantai 8 diekstraksi. Enam model sambungan sub-modeling kemudian dibuat untuk simulasi yang lebih detail dan akurat.

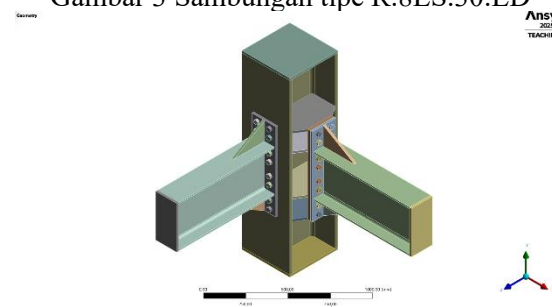
- Geometri dan Variasi: Model sambungan mengacu pada SNI 7972:2020 untuk tipe 8ES. Dua variabel utama adalah sudut pengaku (30° dan 45°) dan tiga lokasi sambungan (Tengah/MD, Tepi/ED, Sudut/CR), menghasilkan 6 model:



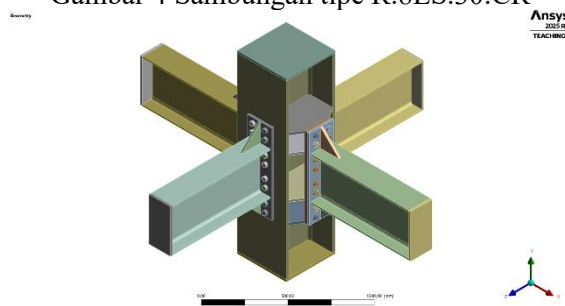
Gambar 2 Sambungan tipe R.8ES.30.MD



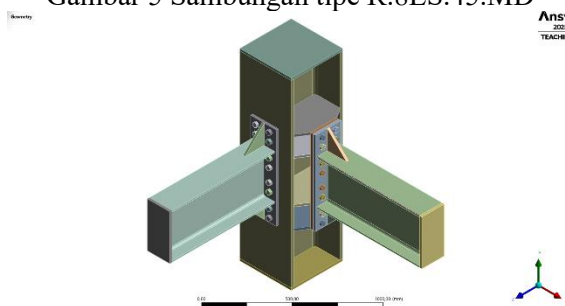
Gambar 3 Sambungan tipe R.8ES.30.ED



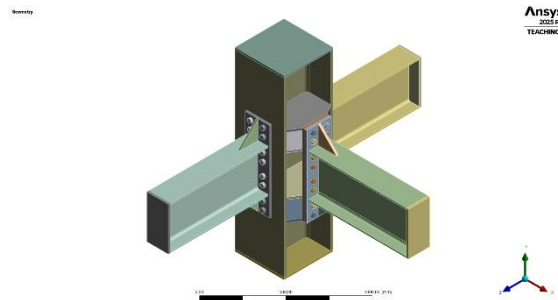
Gambar 4 Sambungan tipe R.8ES.30.CR



Gambar 5 Sambungan tipe R.8ES.45.MD



Gambar 6 Sambungan tipe R.8ES.45.ED



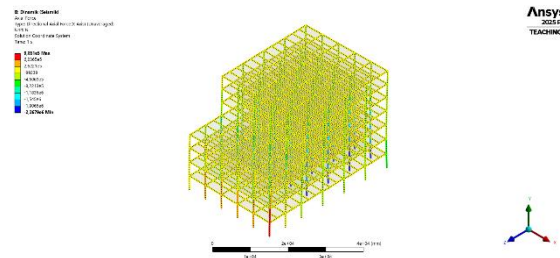
Gambar 7 Sambungan tipe R.8ES.45.CR

- Material Sambungan: End-plate dan pengaku menggunakan mutu baja HSS BJ 55 yang lebih tinggi ($f_y = 410$ MPa, $f_u = 550$ MPa) untuk mencegah kegagalan prematur. Baut yang digunakan adalah mutu 8.8 ($f_y = 640$ MPa) dengan pretension yang diterapkan untuk mensimulasikan kondisi sambungan tipe slip-critical.
- Elemen Hingga dan Meshing: Model sambungan menggunakan elemen padat (solid) di ANSYS WORKBENCH, yang mampu menangkap non-linieritas material dan geometri secara akurat. Meshing yang halus (fine mesh) diterapkan pada area kritis di sekitar lubang baut, daerah las, dan ujung pengaku untuk menangkap konsentrasi tegangan dengan baik. Konvergensi mesh telah diuji untuk memastikan hasil yang independen dari ukuran elemen.
- Kondisi Batas dan Pembebanan: Model sambungan dibebani dengan menerapkan gaya-gaya dalam (momen, geser, aksial) yang diperoleh dari analisis struktur global pada ujung-ujung balok dan kolom yang dipotong. Tumpuan sendi dan rol diterapkan pada ujung kolom yang terpotong sesuai dengan kondisi deformasi dari model global.
 - Analisis yang Dilakukan:
 1. Analisis Statik Non-Linier: Untuk menentukan kapasitas momen ultimit (M_u), kurva momen-rotasi, dan mengidentifikasi pola keruntuhan.
 2. Analisis Dinamik (Respons Spektrum): Untuk mengevaluasi kinerja sambungan under beban gempa rencana dan menghitung rasio M_u/M_{n_din} , di mana M_{n_din} adalah momen akibat beban dinamik.
 3. Evaluasi Duktilitas: Indeks duktilitas (μ) dihitung sebagai rasio antara rotasi ultimit (θ_u) dan rotasi leleh (θ_y) dari kurva momen-rotasi. Rotasi leleh ditentukan menggunakan metode bujursangkar (equal area method).
 - Parameter Kinerja yang Dievaluasi:
 1. Kapasitas Momen Ultimit (M_u)
 2. Distribusi dan besar Tegangan Maksimum (von Mises)
 3. Indeks Duktilitas (μ)
 4. Rasio Kekuatan (M_u / M_{n_din})
 5. Pola dan lokasi terjadinya leleh pertama serta mekanisme keruntuhan.

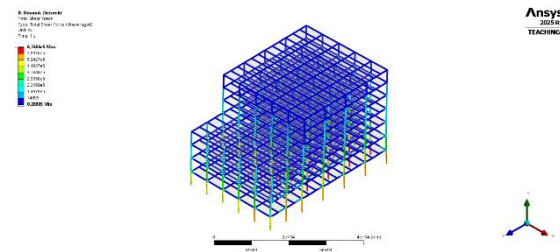
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Struktur Global dan Gaya Dalam Sasaran

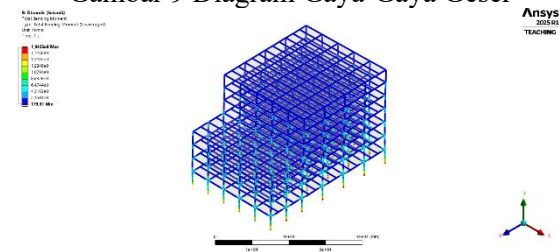
Analisis modal struktur global menghasilkan periode fundamental 2.654 detik untuk arah-X dan 2.794 detik untuk arah-Y, yang sesuai untuk bangunan 8 lantai dengan sistem SRPMK. Gaya dalam yang diekstraksi dari sambungan Lantai 8 menunjukkan variasi signifikan berdasarkan lokasi. Momen maksimum dari analisis statik berkisar antara 44.85 kN.m hingga 95.35 kN.m, sementara dari analisis dinamik (respons spektrum) berkisar antara 120.09 kN.m hingga 165.86 kN.m. Hal ini mengkonfirmasi amplifikasi beban gempa yang substantial, dengan faktor amplifikasi momen mencapai 2.68 kali pada lokasi tepi, yang harus diakomodasi oleh desain sambungan. Berikut ini ditampilkan beberapa diagram gaya-gaya dalam akibat pembebanan dinamis (Gambar 8 – Gambar 10).



Gambar 8 Diagram Gaya-Gaya Aksial



Gambar 9 Diagram Gaya-Gaya Geser

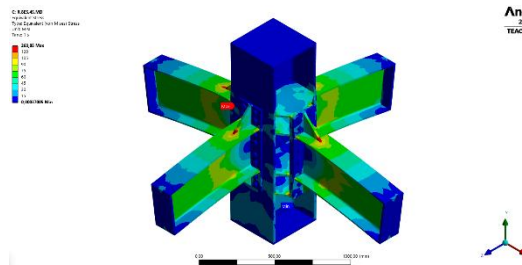


Gambar 10 Diagram Momen Lentur

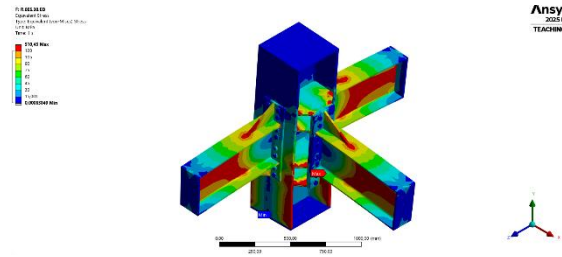
Kinerja Sambungan under Beban Statik Kapasitas dan Distribusi Tegangan

Semua enam model sambungan memenuhi kriteria kekuatan under beban statik, dengan tegangan kerja pada semua komponen (balok, end-plate, pengaku, baut) berada di bawah kapasitas izin material ($\phi_f y$).

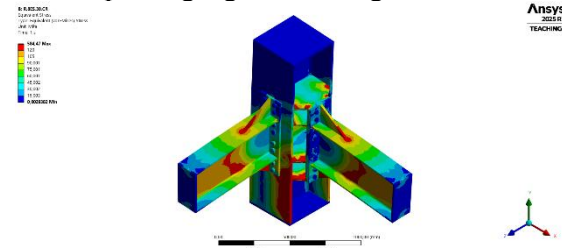
- Model R.8ES.30 (Pengaku 30°):** Model ini menunjukkan kapasitas momen ultimit (M_u) yang lebih tinggi, yaitu 171 kN.m (tengah), 192 kN.m (tepi), dan 192 kN.m (sudut). Pola ini menunjukkan bahwa sambungan dengan pengaku 30° lebih efektif dalam memobilisasi kapasitas material, terutama pada lokasi dengan restraint yang lebih kompleks (tepi dan sudut). Namun, keunggulan kapasitas ini diiringi dengan tingkat utilisasi material yang lebih tinggi. Tegangan maksimum mencapai 367.34 MPa pada end-plate model R.8ES.30.ED, yang telah sangat mendekati kuat leleh material end-plate ($\phi_f y = 369$ MPa). Konsentrasi tegangan tertinggi terjadi pada daerah tarik di sekitar baris baut terluar dan pada pertemuan antara pengaku dengan end-plate, sebagaimana diantisipasi dalam teori.



Gambar 11 Output Tegangan Sambungan Model R.8ES.30.MD

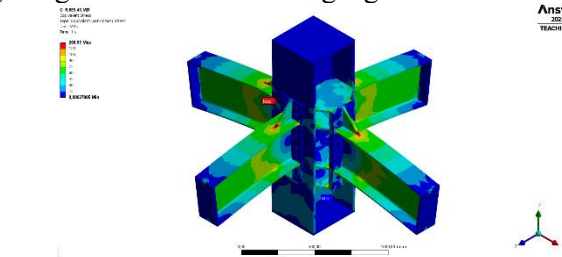


Gambar 12 Output Tegangan Sambungan Model R.8ES.30.ED

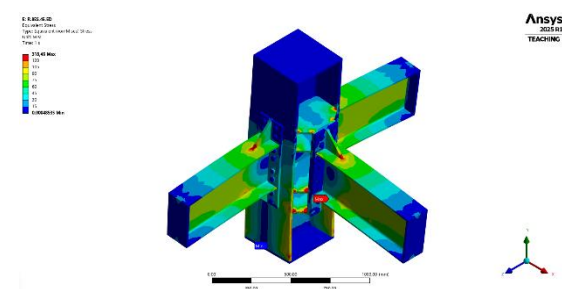


Gambar 13 Output Tegangan Sambungan Model R.8ES.30.CR

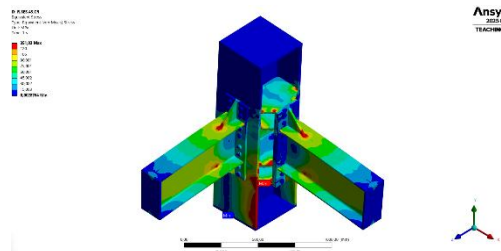
- **Model R.8ES.45 (Pengaku 45°):** Model ini memiliki kapasitas Mu yang lebih rendah namun lebih konsisten: 119 kN.m (tengah), 126 kN.m (tepi), dan 137 kN.m (sudut). Penurunan kapasitas sekitar 30-40% dibandingkan model 30° ini diduga karena perubahan sudut pengaku mengubah mekanisme transfer beban dan lengan momen internal dalam sambungan. Keunggulan utama model 45° terletak pada profil tegangan yang lebih aman. Tegangan maksimumnya lebih rendah, yaitu 270.40 MPa (tengah), 323.81 MPa (tepi), dan 351.28 MPa (sudut). Hal ini menunjukkan distribusi beban yang lebih merata dan mengurangi risiko konsentrasi tegangan berlebihan.



Gambar 14 Output Tegangan Sambungan Model R.8ES.45.MD



Gambar 15 Output Tegangan Sambungan Model R.8ES.45.ED



Gambar 16 Output Tegangan Sambungan Model R.8ES.45.CR

Pola Leleh dan Mekanisme Keruntuhan

Simulasi non-linier under beban statik mengungkap mekanisme keruntuhan yang diinginkan untuk kedua tipe sambungan. Leleh pertama umumnya terjadi pada daerah tarik balok di dekat sambungan (pada "radius block" dari end-plate), yang konsisten dengan prinsip "strong connection-weak beam" yang dianjurkan untuk SRPMK. Hal ini diikuti oleh leleh pada end-plate di sekitar baut tarik dan pada badan pengaku. Tidak terjadi tekuk lokal prematur pada end-plate atau pengaku, yang membuktikan bahwa desain sesuai SNI 7972:2020 telah adekuat. Model R.8ES.30 cenderung menunjukkan deformasi yang lebih besar pada end-plate sebelum keruntuhan, sementara model R.8ES.45 menunjukkan deformasi yang lebih terkonsentrasi pada daerah leher balok.

Kinerja Sambungan under Beban Dinamik (Seismik)

Kecukupan Kekuatan terhadap Beban Gempa

Evaluasi kinerja under beban dinamik merupakan inti dari penelitian ini. Parameter rasio μ / M_n digunakan, di mana nilai di atas 1.0 menunjukkan sambungan memiliki kapasitas cadangan untuk menahan beban gempa maksimum.

- Model R.8ES.30: Model ini menunjukkan kinerja yang sangat unggul. Rasio μ / M_n untuk semua lokasi adalah 1.06 (tengah), 1.51 (tepi), dan 1.16 (sudut). Nilai-nilai di atas 1.0 ini membuktikan bahwa sambungan R.8ES.30 tidak hanya mampu menahan beban gempa rencana tetapi juga memiliki kelebihan kapasitas (overstrength) yang signifikan, terutama pada lokasi tepi. Overstrength ini adalah karakteristik yang diinginkan dalam desain seismik untuk mengakomodasi ketidakpastian dan beban di atas yang direncanakan.
- Model R.8ES.45: Sebaliknya, model ini menunjukkan kekurangan kapasitas under beban dinamik. Rasio μ / M_n untuk semua lokasi berada di bawah 1.0, yaitu 0.74 (tengah), 0.99 (tepi yang hampir tepat 1.0), dan 0.83 (sudut). Hal ini menunjukkan bahwa sambungan dengan pengaku 45° mungkin akan mengalami kegagalan atau deformasi inelastis yang sangat besar under beban gempa tingkat desain, sehingga tidak memenuhi kriteria kekuatan immediate occupancy atau life safety.

Amplifikasi Tegangan under Beban Dinamik

Di bawah pembebanan dinamik, tegangan pada komponen kritis meningkat secara signifikan. Pada model R.8ES.30.ED, tegangan maksimum pada end-plate tetap berada pada 367.34 MPa, yang masih persis di bawah kuat leleh desain (369 MPa). Ini menunjukkan bahwa sambungan ini beroperasi pada batas tertinggi kapasitasnya under beban gempa namun masih dalam fase elastis. Pada model R.8ES.45, meskipun tegangan maksimumnya lebih rendah secara absolut, rasio kapasitas yang kurang dari 1.0 berarti sambungan telah memasuki fase inelastis, di mana tegangan mungkin telah melampaui titik leleh di beberapa lokal area meskipun tidak tercatat sebagai "maksimum" dalam kontur tegangan.

Evaluasi Daktilitas dan Kemampuan Disipasi Energi

Daktilitas adalah parameter kunci untuk kinerja seismik, yang mengindikasikan kemampuan sambungan untuk berdeformasi secara plastis tanpa kehilangan kekuatan secara drastis.

- Model R.8ES.30: Menunjukkan variasi daktilitas yang lebar ($\mu = 2$ hingga 4). Lokasi tepi (ED) memiliki daktilitas terendah ($\mu=2$), yang konsisten dengan tingginya tegangan dan utilisasi material di lokasi tersebut. Nilai $\mu=2$ masih memadai tetapi mendekati batas bawah untuk sambungan seismik, yang mengindikasikan perilaku yang lebih "getas" dibandingkan lokasi lain. Lokasi sudut (CR) justru menunjukkan daktilitas sangat tinggi ($\mu=4$), yang menjadikannya sangat efektif dalam menyerap energi gempa.

- Model R.8ES.45: Menunjukkan daktilitas yang lebih baik dan konsisten di semua lokasi ($\mu = 3$ hingga 4). Nilai $\mu=3-4$ ini ideal untuk sambungan SRPMK, yang menandakan kemampuan rotasi plastis yang memadai untuk disipasi energi gempa yang besar. Kekonsistenan ini menunjukkan bahwa konfigurasi pengaku 45° mungkin memberikan restraint yang lebih seragam, mengurangi variasi respons akibat perbedaan lokasi.

Analisis Komparatif dan Rekomendasi Desain

Perbandingan menyeluruh menghasilkan trade-off yang jelas antara kedua model:

- R.8ES.30 (Pengaku 30°): Kelebihan: Kapasitas momen sangat tinggi, kelebihan kapasitas under beban gempa ($M_u/M_{n_din} > 1.0$), efisiensi material yang baik. Kekurangan: Daktilitas tidak konsisten dan cenderung rendah di lokasi kritis (tepi), tegangan kerja sangat tinggi yang memerlukan kontrol kualitas material dan fabrikasi yang ketat.
- R.8ES.45 (Pengaku 45°): Kelebihan: Daktilitas tinggi dan konsisten, profil tegangan yang lebih aman dan merata. Kekurangan: Kapasitas momen lebih rendah, tidak memenuhi kriteria kekuatan under beban gempa ($M_u/M_{n_din} < 1.0$) untuk konfigurasi ini.

Berdasarkan analisis ini, Model R.8ES.30 direkomendasikan sebagai pilihan yang lebih unggul untuk aplikasi SRPMK di daerah seismik. Alasan utamanya adalah kepastiannya dalam memenuhi kriteria kekuatan under beban gempa, yang merupakan persyaratan fundamental. Kekurangan dalam konsistensi daktilitas dapat dimitigasi melalui optimasi desain lebih lanjut, seperti sedikit meningkatkan ketebalan end-plate atau menggunakan material dengan ketangguhan lebih tinggi pada daerah tarik. Sementara model R.8ES.45, meskipun sangat daktil, tidak dapat direkomendasikan dalam konfigurasi saat ini karena risiko ketidakcukupan kekuatan under beban gempa. Ia mungkin cocok untuk daerah dengan risiko seismik lebih rendah atau jika dimensi balok/kolom dapat ditingkatkan untuk menaikkan kapasitas M_{n_din} -nya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa sambungan R.8ES.30 memiliki kapasitas momen ultimit lebih tinggi (171–192 kN.m) dibanding R.8ES.45 (119–137 kN.m), pada pembebanan dinamik, R.8ES.30 memenuhi kriteria kekuatan ($M_u/M_{n_din} > 1.0$) di semua lokasi, sedangkan R.8ES.45 tidak, R.8ES.45 memiliki daktilitas lebih konsisten ($\mu = 3-4$), sementara R.8ES.30 berisiko getas di lokasi tepi ($\mu=2$), menggunakan sambungan R.8ES.30 untuk aplikasi SRPMK di daerah seismik dengan optimasi detail untuk meningkatkan daktilitas, melakukan kajian lebih lanjut dengan variasi ketebalan pelat dan konfigurasi baut, Verifikasi hasil melalui uji eksperimental untuk memvalidasi model numerik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, H. (2022). Perancangan dan Evaluasi Sambungan Struktur Baja untuk SRPMK Sesuai Regulasi Nasional. Jakarta: Penerbit Teknik Sipil Indonesia.
- ANSYS Inc. (2020). ANSYS Mechanical APDL Documentation Release 2020 R1. Canonsburg, PA: ANSYS, Inc. Diakses dari <https://www.ansys.com>
- ASTM International. (2014). ASTM A325/A325M-14 - Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Bjorhovde, R., Golland L. J., and Banac, D. J., (1999). Tests of Full—Scale Beam-to-Column Connections. Chicago, IL: American Institute of Steel Construction (AISC). <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/manual/15th-ed-ref-list/tests-of-full-scale-beam-to-column-connections.pdf>
- BSN. (2019). SNI 1726:2019 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN. (2021). SNI 7973:2021 - Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Chen, W. F., & Lui, E. M. (Eds.). (1991). Structural Stability: Theory and Implementation. Elsevier Science Publishing Co., Inc.

- Communications and Publishing, (2014, Januari 2015). 20 Years After Northridge Quake, Buildings Remain Vulnerable. 20 Juli 2025. <https://www.usgs.gov/news/state-news-release/20-years-after-northridge-quake-buildings-remain-vulnerable>
- Gioncu, V., & Mazzolani, F. M. (2002). Ductility of Seismic Resistant Steel Structures. Spon Press.
- Hayati, Y. (2016). Studi Kekuatan dan Perilaku Sambungan End-Plate Balok–Kolom Baja dengan Metode Elemen Hingga. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Moaveni, S. (2015). Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS, 4th Global Edition, Essex, England: Pearson Education Limited.
- NIST (2016). Seismic Design of Steel Special Moment Frames: A Guide for Practicing Engineers, Second Edition, GCR 16-917-41, NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 2, produced by the Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering for the National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.
- NIST (2021, Juni 30). Champlain Towers South Collapse. August 31, 2025. <https://www.nist.gov/disaster-failure-studies/champlain-towers-south-collapse>.
- Perencanaan Gedung Kantor Dinas Pemuda Dan Olahraga Provinsi DKI Jakarta (2023).
- Research Council on Structural Connections (RCSC). (2014). Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts. Chicago, IL: AISC.
- Abid, S. R., Al-Gasham, Th. S., Xue, J., Liu, Y., Liu, Y., and Briseghella, B. (2021). Geometrical Parametric Study on Steel Beams Exposed to Solar Radiation. Applied Science, 11, 1 – 19. <https://doi.org/10.3390/app11199198>
- SCI/BCSA Connections Group (1995). Joints in Steel Construction: Moment Connections. March 1997. Ascot, Berkshire, United Kingdom: The Steel Construction Institute.
- Uang, C-M., Bruneau, M., Whittaker, A. S., & Tsai, K-C., (2001). Seismic Design of Steel Structures. In F. Naeim (Ed.). The Seismic Design Handbook (pp. 409 – 462) New York: Springer Verlag.
- Yehezkiel, S. Y. (2020). Studi Eksperimental Sambungan Extended End-Plate terhadap Beban Siklik. Jurnal Struktur dan Konstruksi.
- Yoganata, I. W. (2020). Pemodelan Sambungan Bolt Extended End-Plate (BEEP) pada Struktur Baja Tahan Gempa Menggunakan Abaqus 2017, Universitas Udayana, Bali.

Taufik Ramlan Wijaya, Randy Yonathan Rurut

Submitted: **12/10/2025**; Revised: **22/11/2025**; Accepted: **11/12/2025**; Published: **31/01/2026**