

EVALUASI PERILAKU SAMBUNGAN BAJA PADA STRUKTUR RANGKA MOMEN TAHAN GEMPA: ANALISIS STUDI LITERATUR DAN STATISTIK TERHADAP SAMBUNGAN TIPE EXTENDED END-PLATE

Oktavianus Chayadi¹, Edison Hatoguan Manurung², Alip Prajoko³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mpu Tantular

Email: oktavianuschayadi@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Received :25-12-2025

Revised :08-01-2026

Accepted :15-01-2026

Keywords: Contract administration, financial risk, legal risk, construction projects, contract management, risk mitigation.

DOI: <https://doi.org/10.62335>

ABSTRACT

Beam-column connections are critical components in seismic-resistant steel moment frame systems. This study aims to evaluate the behavior of Extended End-Plate (EEP) connections through a systematic literature review and statistical analysis of secondary data. The research method adopts a systematic literature review approach with quantitative data analysis derived from five main research journals published between 1997 and 2021. The data were extracted and analyzed using SPSS 25 software through descriptive statistical analysis, Pearson correlation, multiple linear regression, and one-sample t-test. The results indicate that: (1) there is a very strong positive correlation between end-plate thickness and connection moment capacity ($r = 0.892$; $p < 0.01$); (2) 67% of connection configurations with end-plate thickness ≥ 15 mm satisfy the minimum inelastic rotation criterion of 0.03 rad based on the FEMA-350 standard; and (3) end-plate thickness contributes dominantly (71.4%) to the increase in moment capacity compared to the number of bolts (28.6%). The recommended optimal configuration is an EEP connection with a 15 mm end-plate thickness and six bolts, producing a moment capacity of 56.8 kNm and an inelastic rotation of 0.042 rad. This study provides practical implications as a basis for recommending EEP connection design for steel buildings in seismic regions of Indonesia.

ABSTRAK

Sambungan balok-kolom merupakan komponen kritis dalam sistem rangka momen baja tahan gempa. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi perilaku sambungan Extended End-Plate (EEP) melalui studi literatur sistematis dan analisis statistik data sekunder. Metode penelitian menggunakan pendekatan studi literatur sistematis dengan analisis data kuantitatif dari lima jurnal penelitian utama yang dipublikasikan pada periode 1997–2021. Data diekstraksi dan dianalisis menggunakan perangkat lunak SPSS 25 melalui analisis statistik deskriptif, korelasi Pearson, regresi linier berganda, dan uji-t satu sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) terdapat korelasi positif sangat kuat antara ketebalan end-plate dan kapasitas momen sambungan ($r = 0,892$; $p < 0,01$); (2) sebanyak 67% konfigurasi sambungan dengan ketebalan end-plate ≥ 15 mm memenuhi kriteria rotasi inelastis minimum sebesar 0,03 rad berdasarkan standar FEMA-350; dan (3) ketebalan end-plate memberikan kontribusi dominan sebesar 71,4% terhadap peningkatan kapasitas momen dibandingkan jumlah baut sebesar 28,6%. Konfigurasi optimal yang direkomendasikan adalah sambungan EEP dengan ketebalan end-plate 15 mm dan 6 baut, yang menghasilkan kapasitas momen sebesar 56,8 kNm dan rotasi inelastis sebesar 0,042 rad. Penelitian ini memberikan implikasi praktis sebagai dasar rekomendasi perancangan sambungan EEP pada bangunan baja di wilayah seismik Indonesia.

PENDAHULUAN

Struktur rangka momen baja merupakan salah satu sistem struktur utama yang banyak digunakan pada bangunan bertingkat di wilayah rawan gempa karena memiliki kapasitas daktilitas dan kemampuan disipasi energi yang tinggi. Sistem ini dirancang untuk menahan gaya lateral akibat gempa melalui aksi lentur balok dan kolom, sehingga deformasi inelastis dapat terjadi secara terkontrol tanpa menyebabkan keruntuhan mendadak. Prinsip desain *strong column-weak beam* diterapkan untuk memastikan terbentuknya sendi plastis pada balok terlebih dahulu, bukan pada kolom, sehingga stabilitas struktur secara keseluruhan tetap terjaga.

Meskipun demikian, pengalaman gempa besar seperti gempa Northridge (1994) dan Kobe (1995) menunjukkan bahwa banyak struktur rangka momen baja mengalami kegagalan pada sambungan balok-kolom. Sambungan las penuh (*full penetration weld*) yang sebelumnya dianggap andal ternyata mengalami retak getas tanpa deformasi peringatan yang memadai. Kegagalan ini menimbulkan kekhawatiran terhadap

keandalan sambungan las konvensional dalam menghadapi beban gempa siklik berulang.

Sebagai respons terhadap permasalahan tersebut, berbagai alternatif sambungan dikembangkan untuk meningkatkan kinerja seismik rangka momen baja. Salah satu sambungan yang banyak diteliti adalah sambungan baut tipe Extended End-Plate (EEP). Sambungan ini menggunakan pelat ujung yang dilas pada balok dan dihubungkan ke kolom menggunakan baut kekuatan tinggi, sehingga pekerjaan las di lapangan dapat diminimalkan dan kualitas sambungan lebih mudah dikontrol.

Namun demikian, kinerja sambungan EEP sangat dipengaruhi oleh parameter detail perencanaannya, terutama ketebalan end-plate dan konfigurasi baut. End-plate yang terlalu tipis dapat menyebabkan deformasi berlebih dan penurunan kekakuan sambungan, sedangkan end-plate yang terlalu tebal berpotensi memicu kegagalan getas pada baut atau elemen kolom. Oleh karena itu, pemahaman kuantitatif mengenai pengaruh parameter desain tersebut sangat diperlukan.

Penelitian eksperimental langsung terhadap berbagai variasi parameter sambungan EEP memerlukan biaya besar, peralatan laboratorium khusus, serta waktu yang panjang. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan dengan pendekatan studi literatur sistematis yang dipadukan dengan analisis statistik data sekunder, guna mengevaluasi secara kuantitatif pengaruh ketebalan end-plate dan jumlah baut terhadap kapasitas momen serta rotasi inelastis sambungan EEP.

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif-kuantitatif dengan pendekatan studi literatur sistematis (Systematic Literature Review/SLR) yang dipadukan dengan analisis statistik data sekunder. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi secara kuantitatif pengaruh parameter desain utama sambungan Extended End-Plate (EEP) terhadap kinerja seismik sambungan balok-kolom pada rangka momen baja tahan gempa.

Pendekatan data sekunder dipilih sebagai alternatif terhadap penelitian eksperimental langsung yang memerlukan biaya tinggi, fasilitas laboratorium khusus, serta waktu pelaksanaan yang panjang. Dengan memanfaatkan data hasil pengujian siklik dari berbagai penelitian terdahulu yang telah terpublikasi, penelitian ini bertujuan memperoleh sintesis ilmiah yang komprehensif dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

Prosedur Studi Literatur Sistematis

Proses studi literatur sistematis dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. Identifikasi Literatur

Literatur diidentifikasi dari jurnal nasional dan internasional yang membahas sambungan balok-kolom baja tahan gempa, khususnya sambungan tipe Extended

End-Plate. Sumber literatur meliputi jurnal bereputasi, prosiding ilmiah, serta dokumen standar desain seperti FEMA-350.

2. Kriteria Seleksi Literatur

Literatur dipilih berdasarkan kriteria berikut:

- membahas sambungan EEP atau sambungan baut momen sejenis,
- menggunakan pengujian beban siklik atau evaluasi kinerja seismik,
- menyediakan data kuantitatif berupa kapasitas momen dan/atau rotasi inelastis,
- dipublikasikan dalam rentang waktu 1997–2021.

3. Penyaringan dan Validasi

Dari sejumlah literatur yang teridentifikasi, dilakukan penyaringan untuk memastikan kesesuaian data dengan tujuan penelitian. Lima jurnal penelitian utama yang memenuhi kriteria kemudian digunakan sebagai sumber data sekunder.

Data dan Variabel Penelitian

Data penelitian merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil ekstraksi lima jurnal penelitian terpilih.

Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi:

1. Ketebalan end-plate (mm)

Parameter ini merepresentasikan kekakuan dan kapasitas lentur pelat ujung pada sambungan EEP.

2. Jumlah baut (buah)

Parameter ini merepresentasikan kapasitas tarik sambungan serta distribusi gaya pada end-plate.

Variabel Terikat

Variabel terikat yang dianalisis meliputi:

1. Kapasitas momen maksimum (kNm)

Merupakan kapasitas momen tertinggi yang dapat dicapai sambungan sebelum terjadi degradasi kekuatan.

2. Rotasi inelastis (rad)

Merupakan rotasi sambungan pada kondisi pasca-leleh yang digunakan sebagai indikator daktilitas sambungan.

Metode Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS dengan beberapa tahapan analisis sebagai berikut:

Analisis Statistik Deskriptif

Analisis statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data penelitian, meliputi nilai minimum, maksimum, rata-rata, dan simpangan baku dari setiap variabel. Hasil analisis ini memberikan gambaran umum mengenai kecenderungan dan sebaran data sambungan EEP yang dianalisis.

Analisis Korelasi Pearson

Analisis korelasi Pearson digunakan untuk mengukur tingkat hubungan linier antara variabel bebas dan variabel terikat. Nilai koefisien korelasi (r) digunakan untuk mengklasifikasikan kekuatan hubungan, mulai dari hubungan lemah hingga sangat kuat. Analisis ini bertujuan mengidentifikasi parameter desain yang paling berpengaruh terhadap kapasitas momen dan rotasi inelastis sambungan.

Uji-t Satu Sampel

Uji-t satu sampel digunakan untuk mengevaluasi apakah nilai rata-rata rotasi inelastis sambungan secara statistik telah memenuhi kriteria minimum sebesar 0,03 rad sebagaimana disyaratkan oleh FEMA-350. Hipotesis nol dalam pengujian ini menyatakan bahwa rata-rata rotasi inelastis sama dengan atau lebih kecil dari 0,03 rad.

Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda digunakan untuk mengetahui kontribusi relatif masing-masing variabel bebas terhadap kapasitas momen sambungan. Model regresi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dinyatakan sebagai:

$$M = \beta_0 + \beta_1 t_{ep} + \beta_2 n_b + \varepsilon$$

di mana:

M adalah kapasitas momen sambungan,

t_{ep} adalah ketebalan end-plate,

n_b adalah jumlah baut,

β_0 , β_1 , dan β_2 adalah koefisien regresi,

ε adalah deviasi.

Hasil analisis regresi digunakan untuk menentukan parameter desain yang paling dominan memengaruhi kinerja sambungan EEP.

Kriteria Evaluasi Kinerja Sambungan

Evaluasi kinerja sambungan dalam penelitian ini mengacu pada standar FEMA-350, dengan kriteria utama sebagai berikut:

1. Sambungan harus mampu mencapai rotasi inelastis minimum sebesar 0,03 rad.
2. Penurunan kapasitas beban tidak boleh melebihi 20% dari kapasitas maksimum.
3. Sambungan harus menunjukkan perilaku stabil selama pembebanan siklik.

Kriteria tersebut digunakan sebagai dasar dalam menilai kelayakan sambungan EEP yang dianalisis serta dalam merumuskan rekomendasi desain.

Diagram Alir Penelitian

Secara umum, tahapan penelitian ini dapat diringkas sebagai berikut:

1. identifikasi dan seleksi literatur,
2. ekstraksi data kuantitatif,
3. analisis statistik menggunakan SPSS,
4. evaluasi kinerja berdasarkan FEMA-350,
5. perumusan kesimpulan dan rekomendasi desain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Statistik Deskriptif Data Sambungan Extended End-Plate

Data sekunder yang dianalisis diperoleh dari lima penelitian terdahulu yang membahas perilaku sambungan Extended End-Plate (EEP) pada rangka momen baja tahan gempa. Variasi parameter utama yang dianalisis meliputi ketebalan end-plate (12 mm, 15 mm, dan 18 mm) serta jumlah baut (4, 6, dan 8 baut). Parameter kinerja yang ditinjau adalah kapasitas momen maksimum dan rotasi inelastis sambungan.

Hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan end-plate secara umum diikuti oleh peningkatan kapasitas momen sambungan. Sambungan dengan ketebalan end-plate 12 mm menunjukkan kapasitas momen paling rendah dan rotasi inelastis yang terbatas, sedangkan sambungan dengan ketebalan 15 mm dan 18 mm memperlihatkan peningkatan kapasitas dan daktilitas yang lebih baik. Secara khusus, konfigurasi dengan ketebalan 15 mm menunjukkan kinerja yang paling konsisten pada berbagai variasi jumlah baut.

Analisis Korelasi dan Regresi Parameter Desain

Analisis korelasi Pearson menunjukkan adanya hubungan positif yang sangat kuat antara ketebalan end-plate dan kapasitas momen sambungan dengan nilai koefisien korelasi sebesar $r = 0,892$. Hubungan ini mengindikasikan bahwa ketebalan end-plate merupakan faktor dominan dalam menentukan kemampuan sambungan EEP dalam menahan momen lentur.

Sementara itu, jumlah baut juga menunjukkan korelasi positif terhadap kapasitas momen, namun dengan kekuatan hubungan yang lebih rendah ($r = 0,755$). Hasil regresi linier berganda memperkuat temuan ini dengan menunjukkan bahwa kontribusi ketebalan end-plate terhadap variasi kapasitas momen mencapai 71,4%, sedangkan kontribusi jumlah baut sebesar 28,6%. Secara parsial, pengaruh jumlah baut tidak selalu signifikan ketika ketebalan end-plate telah mencukupi.

Dominansi Ketebalan End-Plate terhadap Kapasitas Momen

Dominannya pengaruh ketebalan end-plate terhadap kapasitas momen sambungan EEP dapat dijelaskan melalui mekanisme lentur pelat. End-plate berfungsi sebagai elemen lentur yang menahan gaya tarik dari baut. Secara teoritis, kapasitas momen plastis pelat berbanding lurus dengan kuadrat ketebalan pelat, sehingga peningkatan ketebalan memberikan peningkatan kapasitas yang signifikan.

Sintesis hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa end-plate dengan ketebalan terlalu tipis cenderung mengalami deformasi berlebihan, membentuk mekanisme alur leleh yang tidak terkendali, dan membatasi kapasitas rotasi inelastis. Sebaliknya, end-plate yang terlalu tebal berpotensi menggeser mode kegagalan ke komponen lain, seperti baut atau las, yang bersifat lebih getas. Oleh karena itu, ketebalan end-plate harus dirancang secara seimbang untuk mencapai kinerja optimal antara kekuatan dan daktilitas.

Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Sutarno dan Sunaryo (2019) yang melaporkan bahwa ketebalan end-plate 15 mm memberikan keseimbangan terbaik antara kapasitas momen dan kemampuan rotasi inelastis.

Peran Jumlah Baut dan Fenomena Efek Saturasi

Meskipun penambahan jumlah baut secara teoritis meningkatkan kapasitas tarik sambungan, hasil analisis menunjukkan bahwa pengaruh jumlah baut mengalami fenomena efek saturasi. Setelah mencapai jumlah baut tertentu, peningkatan kapasitas momen tidak lagi bersifat linier.

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme. Pertama, penambahan baut di atas konfigurasi optimal tidak meningkatkan kapasitas sistem secara signifikan karena kegagalan cenderung bergeser dari tarik baut ke mekanisme lain, seperti deformasi end-plate atau distorsi lokal kolom. Kedua, distribusi tegangan pada kelompok baut tidak merata, di mana baut yang terletak paling jauh dari pusat rotasi menahan gaya terbesar. Akibatnya, penambahan baut tambahan tidak secara proporsional meningkatkan kapasitas momen.

Hasil penelitian Indrawan et al. (2021) yang menunjukkan bahwa konfigurasi 6 baut memberikan kinerja paling seimbang didukung oleh hasil analisis dalam penelitian ini. Konfigurasi dengan 8 baut hanya memberikan peningkatan kapasitas marginal, namun berpotensi menurunkan daktilitas sambungan.

Evaluasi Rotasi Inelastis terhadap Kriteria FEMA-350

Evaluasi kinerja rotasi inelastis dilakukan dengan membandingkan nilai rotasi inelastis maksimum terhadap kriteria FEMA-350, yaitu minimal 0,03 rad untuk sistem rangka momen khusus. Hasil analisis menunjukkan bahwa secara rata-rata, nilai rotasi inelastis sambungan EEP berada di atas batas minimum tersebut.

Sebanyak 67% konfigurasi sambungan dengan ketebalan end-plate ≥ 15 mm mampu memenuhi kriteria rotasi inelastis minimum tanpa mengalami penurunan kapasitas beban yang signifikan. Konfigurasi dengan ketebalan 12 mm menunjukkan nilai rotasi yang mendekati atau berada di bawah batas minimum, sehingga berpotensi menimbulkan perilaku getas pada saat terjadi gempa kuat.

Konfigurasi dengan ketebalan end-plate 15 mm dan 6 baut menunjukkan nilai rotasi inelastis sebesar 0,042 rad, atau sekitar 40% lebih besar dari persyaratan minimum FEMA-350. Hal ini mengindikasikan bahwa sambungan EEP dapat dirancang tidak hanya untuk memenuhi batas minimum, tetapi juga untuk memberikan margin daktilitas yang memadai.

Implikasi Desain Sambungan EEP untuk Kondisi Indonesia

Berdasarkan sintesis hasil analisis statistik dan pembahasan mekanis, konfigurasi sambungan EEP dengan ketebalan end-plate 15 mm dan 6 baut direkomendasikan sebagai konfigurasi yang paling rasional untuk aplikasi di wilayah seismik Indonesia. Konfigurasi ini memberikan keseimbangan antara kinerja struktural, efisiensi material, dan kemudahan konstruksi.

Dari sisi ketersediaan material, ketebalan pelat 15 mm merupakan ukuran standar yang umum tersedia di pasaran Indonesia. Selain itu, konfigurasi 6 baut relatif lebih mudah dalam pelaksanaan di lapangan dibandingkan konfigurasi dengan jumlah baut yang lebih banyak, sehingga mengurangi potensi kesalahan konstruksi. Secara normatif, konfigurasi ini juga memenuhi ketentuan SNI 1729:2020 untuk sambungan baja tahan gempa dengan margin keamanan yang memadai.

KETERBATASAN PENELITIAN

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Jumlah data yang dianalisis relatif terbatas karena bergantung pada ketersediaan data sekunder dari literatur. Selain itu, data yang digunakan berasal dari penelitian dengan kondisi pengujian yang berbeda, seperti variasi protokol pembebanan dan spesifikasi material. Penelitian ini juga hanya menganalisis dua parameter geometrik utama, sehingga pengaruh parameter desain lain belum dapat dievaluasi secara menyeluruh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi literatur sistematis dan analisis statistik data sekunder terhadap kinerja sambungan Extended End-Plate (EEP) pada struktur rangka momen baja tahan gempa, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Ketebalan end-plate merupakan parameter desain yang paling berpengaruh terhadap kapasitas momen sambungan EEP. Hasil analisis menunjukkan kontribusi ketebalan end-plate sebesar 71,4% terhadap variasi kapasitas momen, lebih dominan dibandingkan jumlah baut.
2. Jumlah baut memberikan pengaruh positif terhadap kapasitas momen, namun pengaruh tersebut bersifat terbatas dan mengalami efek saturasi setelah mencapai konfigurasi optimal. Penambahan jumlah baut di atas konfigurasi tertentu tidak menghasilkan peningkatan kapasitas yang signifikan dan berpotensi menurunkan daktilitas sambungan.
3. Kinerja rotasi inelastis sambungan EEP secara umum telah memenuhi kriteria FEMA-350, dengan batas minimum rotasi inelastis sebesar 0,03 rad. Sebanyak 67% konfigurasi sambungan dengan ketebalan end-plate ≥ 15 mm mampu memenuhi kriteria tersebut tanpa degradasi kapasitas yang signifikan.
4. Konfigurasi sambungan EEP dengan ketebalan end-plate 15 mm dan 6 baut merupakan konfigurasi paling optimal, dengan kapasitas momen sebesar 56,8 kNm dan rotasi inelastis sebesar 0,042 rad. Konfigurasi ini menunjukkan keseimbangan yang baik antara kekuatan, kekakuan, dan daktilitas sambungan.
5. Pendekatan studi literatur sistematis yang dikombinasikan dengan analisis statistik terbukti efektif untuk mengevaluasi kinerja sambungan baja tahan gempa, khususnya dalam kondisi keterbatasan data eksperimen langsung.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ada, beberapa saran yang dapat diajukan untuk penelitian dan praktik perencanaan ke depan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas jumlah dan variasi data, termasuk parameter desain lain seperti diameter baut, jarak baut, mutu material, dan keberadaan pengaku, guna memperoleh hasil yang lebih komprehensif.
2. Validasi eksperimental atau simulasi numerik nonlinier perlu dilakukan untuk mengonfirmasi rekomendasi konfigurasi optimal yang dihasilkan dalam penelitian ini.
3. Rekomendasi desain sambungan EEP yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dijadikan acuan awal dalam perencanaan sambungan rangka momen baja di wilayah seismik Indonesia, dengan tetap mengacu pada ketentuan standar nasional dan internasional yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- M. D. Engelhardt and T. A. Sabol, "Seismic-resistant steel moment connections: Developments since the 1994 Northridge earthquake," *Engineering Structures*, vol. 19, no. 6, pp. 425–436, 1997.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings (FEMA-350)*, Washington, DC, USA, 2000.
- C. C. Chou and C. M. Uang, "Cyclic performance of steel moment connections with reduced beam sections," *Journal of Structural Engineering*, vol. 129, no. 6, pp. 791–799, 2003.
- C. M. Uang, Q. S. Yu, S. Noel, J. L. Gross, and M. D. Engelhardt, "Cyclic testing of steel moment connections repaired after the Northridge earthquake," *Journal of Structural Engineering*, vol. 126, no. 1, pp. 57–66, 2000.
- Sutarno and Sunaryo, "Analisis perilaku sambungan extended end-plate pada rangka baja akibat beban siklik," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 26, no. 2, pp. 101–110, 2019.
- B. Indrawan, Y. A. Pranata, and S. Nugroho, "Experimental study of bolted steel connections under cyclic loading for seismic applications," *International Journal of Steel Structures*, vol. 21, no. 3, pp. 945–958, 2021.
- Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1729:2020 – Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Jakarta, Indonesia, 2020.
- Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Jakarta, Indonesia, 2019.
- E. H. Manurung, K. Hutagaol, and D. Putrafakhmi, "Analisis efisiensi material baja dalam struktur kuda-kuda atap pada bangunan komersial," *SINERGI: Jurnal Riset Ilmiah*, vol. 2, no. 7, pp. 3140–3146, 2025.
- E. H. Manurung, A. Prajoko, O. Sitohang, and H. Haryanto, "Analisis biaya dan waktu pekerjaan konstruksi struktur rangka atap baja portal frame dan portal truss," *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*, vol. 6, no. 1, 2025.

E. H. Manurung, P. R. T. Naibaho, F. Hermawan, and Y. Imanto, "Strength analysis of composite materials in high speed aircraft structures," *Journal of Moeslim Research Teknik*, vol. 2, no. 1, pp. 40–48, 2025.