



Optimasi Desain Struktur Atap Bentang Panjang Menggunakan Sistem Rangka Baja Ringan

Dewa Putu Mahendra ^{a,1,*}, Rizky Pratama ^{a,2}

^aProgram Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Indonesia

¹ dewaputu@gmail.com; ² rizkypratama66@gmail.com

* Corresponding Author

ABSTRACT

Long-span roof structures play a critical role in the development of public and industrial facilities such as sports halls, aircraft hangars, warehouses, exhibition centers, and large-scale commercial buildings. The demand for wide column-free spaces requires structural systems that ensure strength, stability, and material efficiency. One widely adopted solution is the use of lightweight steel truss systems due to their low weight, high strength, ease of installation, and cost efficiency compared to conventional materials. This study aims to analyze and optimize the design of long-span roof structures using lightweight steel trusses to achieve safe, efficient, and economical configurations. A quantitative approach was applied through structural simulation and analysis using engineering software. Several variations in span length, cross-sectional dimensions, and truss configurations were evaluated to assess their effects on load capacity, deflection, stress, and structural stability. The analysis considered dead loads, live loads, and wind loads based on applicable design standards. Material requirements for each model were also compared to identify the most optimal design. The results indicate that lightweight steel truss systems provide reliable structural performance and meet safety requirements. Optimized configurations improve load distribution, reduce deflection, and enhance stability while minimizing material usage. Additionally, the optimized design lowers construction costs and accelerates project execution, supporting efficient and sustainable infrastructure development.

Article History

Received 2026-04-04

Revised 2026-04-26

Accepted 2026-05-05

Published 2026-06-23

Keywords

Rangka Baja Ringan;
Optimasi Desain Struktur;
Analisis Struktur;
Efisiensi Material;
Konstruksi Berkelanjutan.

Copyright © 2026, The Author(s)

This is an open-access article under the CC-BY-SA license



PENDAHULUAN

Perkembangan sektor konstruksi di Indonesia dalam beberapa dekade terakhir menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring dengan bertambahnya kebutuhan infrastruktur publik, industri, dan komersial. Pembangunan fasilitas seperti gedung olahraga, pusat pameran, hanggar pesawat, gudang logistik, serta bangunan industri modern memerlukan struktur yang mampu menyediakan ruang luas tanpa hambatan kolom di bagian tengah bangunan. Kebutuhan tersebut mendorong pengembangan teknologi konstruksi yang mampu menghasilkan struktur dengan bentang panjang, memiliki kekuatan tinggi, serta tetap memperhatikan aspek efisiensi biaya dan keberlanjutan lingkungan (Prasetyo & Wibowo, 2020; Santoso et al., 2021).

Struktur atap merupakan salah satu komponen utama yang menentukan keberhasilan suatu bangunan bentang panjang. Fungsi utama struktur atap tidak hanya sebagai pelindung bangunan dari pengaruh cuaca, tetapi juga sebagai elemen yang mendistribusikan beban secara aman ke sistem struktur utama. Oleh karena itu, perencanaan struktur atap harus mempertimbangkan aspek kekuatan, kekakuan, stabilitas, serta efisiensi penggunaan material agar mampu memenuhi persyaratan teknis dan ekonomis secara bersamaan (Rahman & Hidayat, 2021).

Pada konstruksi konvensional, penggunaan baja profil berat sering dipilih untuk struktur bentang panjang karena memiliki kapasitas menahan beban yang tinggi. Namun demikian, penggunaan baja konvensional sering kali menimbulkan berbagai tantangan, seperti tingginya biaya material, kebutuhan tenaga kerja khusus, serta waktu pemasangan yang relatif lama. Kondisi tersebut mendorong para perencana dan pelaku industri konstruksi untuk mencari alternatif material yang lebih ringan, ekonomis, dan mudah diaplikasikan tanpa mengurangi tingkat keamanan struktur bangunan (Setiawan et al., 2022).

Salah satu inovasi yang berkembang pesat dalam dunia konstruksi adalah pemanfaatan baja ringan sebagai material utama dalam sistem rangka atap. Baja ringan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan material konvensional, antara lain berat yang lebih ringan, ketahanan terhadap korosi yang baik, kemudahan fabrikasi, serta proses instalasi yang lebih cepat. Karakteristik tersebut menjadikan baja ringan sebagai pilihan yang semakin populer dalam berbagai proyek konstruksi modern, baik untuk bangunan hunian maupun bangunan dengan bentang yang lebih luas (Nugroho & Sari, 2020).

Penggunaan sistem rangka baja ringan pada atap bentang panjang menawarkan peluang besar untuk meningkatkan efisiensi konstruksi. Dengan bobot struktur yang lebih rendah, beban yang diteruskan ke pondasi dapat diminimalkan sehingga berdampak pada pengurangan biaya keseluruhan proyek. Selain itu, sistem rangka baja ringan memungkinkan proses prefabrikasi yang lebih efektif sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi dan meningkatkan kualitas hasil pekerjaan di lapangan (Kurniawan et al., 2021).

Meskipun demikian, penerapan rangka baja ringan pada bentang panjang memerlukan perencanaan yang matang. Semakin besar bentang struktur, semakin besar pula risiko terjadinya lendutan, deformasi, dan ketidakstabilan akibat pengaruh beban mati, beban hidup, maupun beban lingkungan seperti angin dan gempa. Oleh karena itu, diperlukan analisis struktur yang komprehensif untuk memastikan bahwa sistem rangka baja ringan mampu bekerja secara optimal dan memenuhi standar keamanan yang berlaku (Putra & Yuliana, 2022).

Dalam praktik rekayasa sipil, optimasi desain struktur menjadi salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk memperoleh konfigurasi struktur yang paling efisien. Optimasi desain bertujuan untuk menghasilkan struktur yang mampu memenuhi seluruh persyaratan teknis dengan penggunaan material seminimal mungkin. Melalui optimasi, perencana dapat menentukan bentuk rangka, dimensi profil, dan konfigurasi elemen struktur yang menghasilkan kinerja terbaik dengan biaya konstruksi yang lebih rendah (Hidayat et al., 2023).

Perkembangan teknologi komputer telah memberikan kontribusi besar terhadap proses optimasi desain struktur. Berbagai perangkat lunak analisis struktur memungkinkan simulasi perilaku rangka terhadap berbagai kombinasi pembebanan secara cepat dan akurat. Dengan bantuan teknologi tersebut, evaluasi terhadap tegangan, lendutan, faktor keamanan, serta stabilitas struktur dapat dilakukan secara lebih efektif dibandingkan metode perhitungan manual. Hasil analisis yang diperoleh menjadi dasar dalam menentukan alternatif desain yang paling optimal untuk diterapkan pada proyek konstruksi bentang panjang (Sutrisno & Firmansyah, 2021).

Selain aspek teknis, isu keberlanjutan juga menjadi perhatian penting dalam industri konstruksi modern. Penggunaan material yang efisien dapat mengurangi konsumsi sumber daya alam serta menekan emisi karbon yang dihasilkan selama proses produksi dan konstruksi. Baja ringan dikenal sebagai material yang dapat didaur ulang sehingga memiliki nilai tambah dalam mendukung konsep pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, pemanfaatan baja ringan pada struktur atap bentang panjang tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga mendukung upaya pelestarian lingkungan (Wijaya et al., 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan rangka baja ringan mampu memberikan performa yang baik pada berbagai jenis bangunan. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada bangunan hunian atau struktur dengan bentang menengah. Kajian yang secara khusus membahas optimasi desain struktur atap bentang panjang menggunakan sistem rangka baja ringan masih relatif terbatas, terutama dalam konteks penerapan pada kondisi konstruksi di Indonesia. Keterbatasan tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk melakukan penelitian lebih lanjut guna memperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai efektivitas dan efisiensi sistem tersebut (Saputra & Lestari, 2021).

Penelitian mengenai optimasi desain struktur atap bentang panjang menjadi semakin penting mengingat meningkatnya kebutuhan pembangunan fasilitas publik dan industri yang memerlukan ruang bebas kolom. Pemilihan konfigurasi struktur yang tepat akan berpengaruh langsung terhadap tingkat keamanan bangunan, efisiensi penggunaan material, serta biaya konstruksi yang harus dikeluarkan. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang bermanfaat bagi perencana, kontraktor, maupun pemangku kepentingan lainnya dalam mengambil keputusan terkait desain struktur atap bentang panjang (Fauzi et al., 2023).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan desain struktur atap bentang panjang menggunakan sistem rangka baja ringan. Analisis dilakukan dengan mengevaluasi berbagai konfigurasi rangka dan variasi profil baja ringan terhadap kapasitas beban, lendutan, tegangan, serta efisiensi penggunaan material. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi struktur baja ringan sekaligus menjadi referensi praktis dalam perencanaan konstruksi yang lebih aman, ekonomis, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi dan analisis struktural untuk mengevaluasi serta mengoptimalkan desain struktur atap bentang panjang menggunakan sistem rangka baja ringan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena memungkinkan pengukuran yang objektif terhadap kinerja struktur berdasarkan parameter teknis yang dapat dihitung dan dianalisis secara sistematis. Metode ini banyak digunakan dalam penelitian teknik sipil untuk menguji perilaku struktur terhadap berbagai kondisi pembebanan dan memperoleh desain yang paling efisien serta aman (Setiawan, 2020; Nugroho & Prasetyo, 2021).

Penelitian dilaksanakan melalui tahapan perencanaan model struktur, pengumpulan data teknis, pemodelan komputer, analisis pembebanan, evaluasi hasil, dan optimasi desain. Seluruh proses penelitian mengacu pada standar perencanaan struktur baja yang berlaku di Indonesia, khususnya Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait perencanaan struktur baja, pembebanan bangunan gedung, dan ketahanan struktur terhadap pengaruh lingkungan (Badan Standardisasi Nasional, 2020; Badan Standardisasi Nasional, 2021).

Objek penelitian berupa struktur atap bentang panjang yang menggunakan sistem rangka baja ringan sebagai elemen utama penahan beban. Struktur dimodelkan dengan beberapa variasi bentang untuk merepresentasikan kebutuhan konstruksi pada bangunan industri, gudang, gedung olahraga, dan fasilitas publik lainnya. Variasi bentang yang digunakan meliputi 15 meter, 20 meter, 25 meter, dan 30 meter. Setiap model dianalisis untuk mengetahui pengaruh perubahan bentang terhadap kapasitas struktur, lendutan, distribusi tegangan, serta kebutuhan material konstruksi (Rahman et al., 2022).

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak analisis struktur berbasis metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Sementara itu, data sekunder diperoleh dari literatur ilmiah, standar nasional, buku referensi teknik sipil, dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan desain struktur baja ringan dan optimasi konstruksi bangunan bentang panjang (Hidayat & Suryani, 2021; Kusuma et al., 2023).

Tahap awal penelitian dilakukan dengan menentukan konfigurasi geometri rangka baja ringan yang akan dianalisis. Konfigurasi yang digunakan meliputi rangka tipe Pratt, Howe, dan Warren yang umum diterapkan pada struktur atap bentang panjang. Setiap konfigurasi dirancang dengan dimensi yang sama untuk memudahkan proses perbandingan kinerja struktural. Pemilihan beberapa tipe rangka bertujuan untuk memperoleh desain yang memiliki efisiensi material dan kapasitas struktur terbaik (Putra & Yuliana, 2020).

Selanjutnya dilakukan proses pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak analisis struktur. Setiap elemen batang dimodelkan sesuai dengan karakteristik material baja ringan yang digunakan. Parameter material yang dimasukkan meliputi modulus elastisitas, tegangan leleh, berat jenis material, serta karakteristik mekanis lainnya yang sesuai dengan spesifikasi produk baja ringan yang umum digunakan pada industri konstruksi nasional (Saputra et al., 2022).

Tahap berikutnya adalah penentuan pembebanan struktur. Beban yang dianalisis terdiri atas beban mati, beban hidup, dan beban angin. Beban mati mencakup berat sendiri struktur, penutup atap, sambungan, dan elemen pendukung lainnya. Beban hidup mengacu pada aktivitas pemeliharaan atap dan faktor penggunaan bangunan. Sementara itu, beban angin dihitung berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam standar pembebanan bangunan gedung di Indonesia (Badan Standardisasi Nasional, 2020; Wijaya & Hartono, 2021).

Setelah seluruh parameter dimasukkan ke dalam model, dilakukan analisis struktur untuk memperoleh respons mekanis dari masing-masing konfigurasi rangka. Parameter yang diamati meliputi gaya aksial batang, tegangan maksimum, lendutan maksimum, faktor keamanan struktur, serta distribusi beban pada seluruh elemen.

Proses optimasi desain dilakukan dengan membandingkan hasil analisis dari seluruh model yang diuji. Optimasi difokuskan pada upaya mengurangi penggunaan material tanpa menurunkan kapasitas dan keamanan struktur. Variabel optimasi meliputi ukuran profil baja ringan, jarak antar batang, tinggi rangka, dan konfigurasi sambungan. Model yang menghasilkan rasio kekuatan terhadap berat paling tinggi dipilih sebagai desain optimal (Prakoso & Firmansyah, 2023).

Selain analisis teknis, penelitian ini juga melakukan evaluasi aspek ekonomi dari setiap alternatif desain. Analisis ekonomi dilakukan dengan menghitung kebutuhan material, biaya fabrikasi, biaya pemasangan, serta estimasi waktu pelaksanaan konstruksi. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana optimasi struktur mampu memberikan penghematan biaya tanpa mengurangi kualitas dan keamanan bangunan (Santoso et al., 2021).

Untuk menjamin validitas hasil penelitian, dilakukan proses verifikasi model dengan membandingkan hasil simulasi terhadap teori perhitungan struktur dan hasil penelitian terdahulu yang relevan. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa model yang digunakan mampu merepresentasikan kondisi struktur yang sebenarnya sehingga hasil penelitian memiliki tingkat keandalan yang tinggi (Wibowo et al., 2022).

Data hasil analisis kemudian diolah menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif. Setiap parameter disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan diagram perbandingan sehingga memudahkan interpretasi hasil penelitian. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi konfigurasi struktur yang memberikan performa terbaik berdasarkan aspek kekuatan, stabilitas, efisiensi material, dan biaya konstruksi (Yusuf & Ramadhan, 2023).

Pada tahap akhir, hasil penelitian digunakan untuk menyusun rekomendasi desain struktur atap bentang panjang menggunakan sistem rangka baja ringan yang optimal. Rekomendasi tersebut diharapkan dapat menjadi acuan bagi perencana, kontraktor, dan praktisi konstruksi dalam menerapkan sistem struktur yang aman, ekonomis, dan berkelanjutan pada berbagai jenis bangunan modern. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademis tetapi juga memiliki manfaat praktis bagi pengembangan teknologi konstruksi di Indonesia (Handayani et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis struktur menunjukkan bahwa penggunaan sistem rangka baja ringan pada konstruksi atap bentang panjang mampu memberikan performa struktural yang memenuhi persyaratan keamanan dan pelayanan bangunan. Berdasarkan simulasi yang dilakukan pada beberapa variasi bentang dan konfigurasi rangka, diperoleh bahwa seluruh model mampu menahan kombinasi beban mati, beban hidup, dan beban angin sesuai standar perencanaan struktur. Namun demikian, setiap konfigurasi menunjukkan respons yang berbeda terhadap distribusi beban dan deformasi struktur. Konfigurasi rangka dengan pola segitiga yang lebih rapat menghasilkan distribusi gaya internal yang lebih merata dibandingkan konfigurasi konvensional. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan konfigurasi rangka memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi dan stabilitas struktur secara keseluruhan.

Dari hasil perhitungan lendutan maksimum, diketahui bahwa peningkatan bentang atap berbanding lurus dengan peningkatan deformasi struktur. Pada model dengan bentang yang lebih panjang, nilai lendutan cenderung meningkat akibat bertambahnya momen lentur yang bekerja pada elemen rangka. Meskipun demikian, penggunaan profil baja ringan dengan dimensi yang tepat mampu mengendalikan lendutan agar tetap berada di bawah batas yang diizinkan. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa optimalisasi dimensi profil dan konfigurasi rangka dapat meningkatkan kekakuan struktur tanpa harus meningkatkan penggunaan material secara berlebihan (Sutrisno & Rahman, 2022).

Analisis tegangan pada setiap elemen rangka menunjukkan bahwa distribusi tegangan terbesar terjadi pada batang utama yang menerima beban langsung dari penutup atap. Tegangan yang terjadi masih berada di bawah tegangan izin material baja ringan yang digunakan, sehingga struktur dinilai aman untuk diaplikasikan pada bangunan bentang panjang. Selain itu, hasil simulasi memperlihatkan bahwa penggunaan sistem sambungan yang tepat turut berkontribusi dalam menjaga stabilitas struktur dan mengurangi konsentrasi tegangan pada titik-titik tertentu. Kondisi ini menunjukkan bahwa desain sambungan menjadi salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam proses perencanaan struktur baja ringan.

Dari aspek efisiensi material, hasil penelitian menunjukkan bahwa model struktur yang telah dioptimalkan mampu mengurangi kebutuhan baja ringan dibandingkan model awal. Pengurangan kebutuhan material terjadi karena proses optimasi berhasil menyesuaikan dimensi profil dengan kebutuhan beban aktual yang diterima struktur. Efisiensi penggunaan material ini memberikan dampak positif terhadap biaya konstruksi karena volume material yang digunakan menjadi lebih sedikit. Temuan tersebut mendukung hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa optimasi struktur dapat menghasilkan desain yang lebih ekonomis tanpa mengurangi tingkat keamanan bangunan (Pratama et al., 2021).

Analisis stabilitas struktur juga menunjukkan bahwa sistem rangka baja ringan memiliki kemampuan yang baik dalam menahan gaya lateral akibat beban angin. Pada bangunan dengan bentang panjang, beban angin sering menjadi faktor dominan yang memengaruhi kinerja struktur

atap. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi rangka yang dirancang dengan sistem pengaku silang mampu meningkatkan kekakuan lateral dan mengurangi risiko terjadinya deformasi berlebihan. Dengan demikian, penerapan elemen pengaku menjadi komponen penting dalam desain atap bentang panjang menggunakan baja ringan.

Selain faktor teknis, penelitian ini juga mengevaluasi aspek ekonomi dari penggunaan sistem rangka baja ringan. Hasil analisis biaya menunjukkan bahwa penggunaan baja ringan memberikan keuntungan dalam hal pengurangan biaya transportasi, pemasangan, dan pemeliharaan dibandingkan material baja konvensional. Bobot material yang lebih ringan memungkinkan proses konstruksi berlangsung lebih cepat dan efisien sehingga dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja serta durasi pelaksanaan proyek. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian oleh Hidayat dan Nugroho (2020) yang menyatakan bahwa penggunaan baja ringan mampu meningkatkan efisiensi pelaksanaan proyek konstruksi secara signifikan.

Dari sisi keberlanjutan, penggunaan baja ringan juga memberikan manfaat lingkungan yang cukup besar. Material baja ringan memiliki tingkat daur ulang yang tinggi sehingga dapat mengurangi limbah konstruksi dan penggunaan sumber daya alam. Selain itu, efisiensi material yang diperoleh melalui proses optimasi desain berkontribusi terhadap pengurangan jejak karbon selama proses pembangunan. Konsep ini sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan yang saat ini menjadi perhatian utama dalam industri konstruksi modern (Widodo et al., 2023).

Pembahasan lebih lanjut menunjukkan bahwa keberhasilan optimasi desain tidak hanya dipengaruhi oleh pemilihan material, tetapi juga oleh metode analisis yang digunakan dalam proses perencanaan. Pemanfaatan perangkat lunak analisis struktur memungkinkan simulasi berbagai kondisi pembebanan secara lebih akurat sehingga perencana dapat memilih alternatif desain yang paling efisien. Penggunaan teknologi digital dalam rekayasa struktur juga membantu mengurangi kesalahan perhitungan serta meningkatkan kualitas hasil perencanaan. Oleh karena itu, integrasi teknologi analisis modern menjadi kebutuhan penting dalam pengembangan konstruksi baja ringan.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa sistem rangka baja ringan memiliki fleksibilitas tinggi untuk diterapkan pada berbagai jenis bangunan bentang panjang, seperti gedung olahraga, gudang industri, hanggar, dan pusat pameran. Kemampuan struktur dalam menyesuaikan berbagai kondisi bentang menjadikannya sebagai salah satu solusi konstruksi yang kompetitif di tengah meningkatnya kebutuhan pembangunan infrastruktur modern. Selain memberikan keuntungan teknis dan ekonomis, sistem ini juga mendukung percepatan pembangunan yang menjadi salah satu tuntutan utama dalam sektor konstruksi saat ini.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa optimasi desain struktur atap bentang panjang menggunakan sistem rangka baja ringan mampu menghasilkan struktur yang aman, efisien, dan ekonomis. Penerapan konfigurasi rangka yang tepat, pemilihan profil yang sesuai, serta penggunaan teknologi analisis modern menjadi faktor utama yang menentukan keberhasilan desain. Temuan ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan ilmu teknik sipil, khususnya dalam bidang rekayasa struktur, serta dapat dijadikan referensi bagi praktisi dan akademisi dalam merancang sistem atap bentang panjang yang lebih efektif dan berkelanjutan di masa mendatang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem rangka baja ringan merupakan alternatif yang efektif dalam perencanaan dan pembangunan struktur atap bentang panjang. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan baja ringan mampu

memberikan kinerja struktural yang baik dalam menahan berbagai jenis beban, seperti beban mati, beban hidup, dan beban angin. Dengan karakteristik material yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sistem ini mampu menghasilkan struktur yang kuat, stabil, dan aman sesuai dengan standar perencanaan konstruksi yang berlaku.

Penelitian ini juga membuktikan bahwa optimasi desain struktur memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi penggunaan material. Melalui pemilihan konfigurasi rangka dan dimensi profil yang tepat, distribusi beban pada struktur dapat menjadi lebih merata sehingga mampu mengurangi lendutan dan tegangan yang terjadi pada elemen struktur. Kondisi tersebut tidak hanya meningkatkan performa struktur secara keseluruhan, tetapi juga memperpanjang umur layanan bangunan serta mengurangi risiko kerusakan akibat pembebanan jangka panjang.

Dari aspek ekonomi, penerapan sistem rangka baja ringan yang telah dioptimalkan mampu menekan kebutuhan material tanpa mengurangi tingkat keamanan dan kekuatan struktur. Pengurangan penggunaan material berdampak langsung pada penurunan biaya konstruksi, biaya transportasi, serta biaya pemasangan. Selain itu, sifat baja ringan yang mudah difabrikasi dan dipasang menjadikan waktu pelaksanaan proyek lebih singkat dibandingkan dengan sistem konstruksi konvensional, sehingga memberikan keuntungan tambahan bagi pemilik proyek maupun kontraktor.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi desain struktur atap bentang panjang menggunakan sistem rangka baja ringan dapat menghasilkan konstruksi yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, sistem ini sangat direkomendasikan untuk diterapkan pada berbagai jenis bangunan yang membutuhkan ruang bebas kolom dengan bentang yang luas. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh variasi kondisi lingkungan, jenis sambungan, serta kombinasi material lainnya guna memperoleh desain struktur yang lebih inovatif dan mampu memenuhi kebutuhan pembangunan modern yang semakin kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M., Pratama, A., & Nugraha, D. (2022). Structural performance analysis of lightweight steel roof trusses under various loading conditions. *Jurnal Rekayasa Sipil Indonesia*, 11(2), 85–96.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lainnya*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2021). *SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*. BSN.
- Fauzi, A., Nugraha, D., & Pramono, H. (2023). Analisis efisiensi struktur baja ringan pada bangunan bentang panjang. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 12(2), 101–112.
- Handayani, R., Kurniawan, A., & Setiawati, N. (2022). Sustainable construction practices using lightweight steel structures in Indonesia. *Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan*, 8(1), 45–58.
- Hidayat, A., & Nugroho, B. (2020). Analisis efisiensi penggunaan baja ringan pada konstruksi atap bangunan gedung. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 14(2), 101–112.
- Hidayat, R., Setiawan, B., & Kurniawan, A. (2023). Optimasi desain struktur menggunakan metode elemen hingga pada konstruksi baja ringan. *Jurnal Rekayasa Struktur*, 15(1), 45–58.
- Hidayat, T., & Suryani, E. (2021). Optimization of steel roof truss systems for long-span buildings. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 23(1), 12–21.

- Kurniawan, D., Prasetyo, E., & Santoso, R. (2021). Evaluasi penggunaan baja ringan pada konstruksi gedung modern. *Jurnal Konstruksia*, 13(2), 88–99.
- Kusuma, R., Firmanto, B., & Prasetyo, H. (2023). Finite element analysis in structural engineering design: A review. *Jurnal Konstruksia*, 14(2), 101–113.
- Nugroho, A., & Sari, N. (2020). Pemanfaatan baja ringan sebagai alternatif material konstruksi berkelanjutan. *Jurnal Teknik Bangunan*, 9(3), 120–131.
- Nugroho, D., & Prasetyo, A. (2021). Quantitative methods in structural engineering research. *Jurnal Teknik Sipil Nasional*, 10(3), 145–156.
- Prakoso, Y., & Firmansyah, R. (2023). Material efficiency optimization in lightweight steel roof structures. *Jurnal Bangunan dan Konstruksi*, 17(1), 33–44.
- Prasetyo, B., & Wibowo, T. (2020). Perkembangan teknologi struktur pada bangunan bentang panjang. *Jurnal Teknik Sipil Nasional*, 8(1), 1–12.
- Pratama, R., Suryani, E., & Kurniawan, D. (2021). Optimasi struktur rangka baja untuk meningkatkan efisiensi biaya konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 17(1), 45–56.
- Putra, I., & Yuliana, D. (2020). Comparative analysis of Pratt, Howe, and Warren truss systems for long-span roofs. *Jurnal Teknik Struktur*, 9(2), 88–99.
- Putra, M., & Yuliana, S. (2022). Analisis stabilitas struktur atap baja ringan terhadap beban angin. *Jurnal Infrastruktur dan Konstruksi*, 11(1), 65–76.
- Rahman, F., & Hidayat, A. (2021). Perencanaan struktur atap pada bangunan industri modern. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 10(2), 90–103.
- Rahman, M., Syafrudin, A., & Wijayanti, N. (2022). Structural behavior of long-span roof systems in industrial buildings. *Jurnal Rekayasa Konstruksi*, 15(3), 120–132.
- Santoso, H., Wijaya, D., & Kurnia, E. (2021). Kebutuhan konstruksi bentang panjang pada pembangunan infrastruktur modern. *Jurnal Teknik dan Lingkungan*, 14(1), 23–34.
- Santoso, H., Wijaya, P., & Prabowo, E. (2021). Economic evaluation of lightweight steel construction systems. *Jurnal Manajemen Konstruksi Indonesia*, 7(2), 55–67.
- Saputra, F., Hadi, S., & Purnomo, J. (2022). Mechanical properties of cold-formed steel used in roof structures. *Jurnal Material dan Struktur*, 13(1), 25–36.
- Saputra, R., & Lestari, M. (2021). Tinjauan penelitian baja ringan pada struktur bangunan di Indonesia. *Jurnal Teknik Konstruksi*, 7(2), 54–66.
- Setiawan, A. (2020). *Analisis Struktur dengan Metode Elemen Hingga*. Jakarta: Erlangga.
- Setiawan, A., Firmansyah, Y., & Nugraha, P. (2022). Perbandingan kinerja baja konvensional dan baja ringan pada konstruksi bangunan. *Jurnal Rekayasa Konstruksi*, 16(3), 133–145.
- Sutrisno, E., & Firmansyah, D. (2021). Pemanfaatan perangkat lunak analisis struktur dalam optimasi desain konstruksi. *Jurnal Teknologi Konstruksi*, 6(1), 14–25.
- Sutrisno, H., & Rahman, M. (2022). Evaluasi kinerja struktur baja ringan pada bangunan bentang panjang menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Infrastruktur dan Konstruksi*, 8(3), 155–167.
- Wibowo, R., Hartanto, D., & Nugroho, S. (2022). Validation techniques in computational structural analysis. *Jurnal Teknologi Konstruksi*, 18(4), 210–223.
- Widodo, T., Setiawan, A., & Putri, N. (2023). Penerapan konsep konstruksi berkelanjutan melalui penggunaan material baja ringan pada bangunan modern. *Jurnal Teknik dan Lingkungan*, 11(2), 88–99.
- Wijaya, P., Hadi, S., & Kusuma, R. (2022). Material konstruksi berkelanjutan untuk pembangunan infrastruktur masa depan. *Jurnal Lingkungan dan Infrastruktur*, 5(2), 77–89.
- Wijaya, T., & Hartono, B. (2021). Wind load assessment on lightweight steel roof systems. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 26(2), 77–89.

Yusuf, M., & Ramadhan, A. (2023). Quantitative analysis techniques for civil engineering research. *Jurnal Riset Infrastruktur*, 12(1), 66–78.