

Kondisi Struktur Tower Baja Terdampak Kebakaran Melalui Inspeksi Secara Visual

Zel Citra^{1*}, Antonius², Agung Wahyudi Biantoro³

^{1,2} Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia

² Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia

Email: zel.citra@mercubuana.ac.id^{1*}

Alamat: Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia 50112

*Penulis korespondensi

Abstract. Building fires can significantly degrade the strength and integrity of steel structures, so post-incident evaluation is crucial to ensure building safety and feasibility. This study aims to evaluate the condition of the steel tower structure after the fire through a visual inspection method. A total of 35 structural elements were examined, including columns, beams, and bracing, to identify damage caused by heat exposure. The inspection results showed that 6 elements (17%) were in the category of Acceptable, 8 elements (23%) Needs Attention, 5 elements (14%) Not Acceptable, and 1 element (3%) Not Applicable because they had been removed. Steel columns generally remain upright without deformation, but suffer damage to the protective layer (coating). In contrast, most blocks lose their protective layers, are directly exposed to fire, show early signs of corrosion, and some suffer severe damage such as flange tears and cuts. These findings confirm the importance of systematic documentation and classification of element conditions as the basis for technical decision-making for structural improvement. Visual inspection proved effective as an initial step in the evaluation process, providing a relevant initial picture of the extent of damage and the need for intervention. This study recommends follow-up in the form of advanced structural analysis and material testing to ensure the feasibility of reusing the affected steel elements.

Keywords: Condition Assessment; Fire; Steel Structure; Tower; Visual Inspection

Abstrak. Kebakaran bangunan dapat menurunkan kekuatan dan integritas struktur baja secara signifikan, sehingga evaluasi pasca kejadian menjadi krusial untuk menjamin keselamatan dan kelayakan bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi struktur tower baja pasca kebakaran melalui metode inspeksi visual. Sebanyak 35 elemen struktur diperiksa, meliputi kolom, balok, dan bracing, guna mengidentifikasi kerusakan akibat paparan panas. Hasil inspeksi menunjukkan bahwa 6 elemen (17%) berada dalam kategori Acceptable, 8 elemen (23%) Needs Attention, 5 elemen (14%) Not Acceptable, dan 1 elemen (3%) Not Applicable karena telah dilepas. Kolom baja umumnya tetap tegak tanpa deformasi, namun mengalami kerusakan pada lapisan pelindung (coating). Sebaliknya, sebagian besar balok kehilangan lapisan pelindung, terpapar langsung oleh api, menunjukkan gejala awal korosi, dan beberapa mengalami kerusakan berat seperti sobekan flens dan pemotongan. Temuan ini menegaskan pentingnya dokumentasi sistematis dan klasifikasi kondisi elemen sebagai dasar pengambilan keputusan teknis untuk perbaikan struktural. Inspeksi visual terbukti efektif sebagai langkah awal dalam proses evaluasi, memberikan gambaran awal yang relevan terhadap tingkat kerusakan dan kebutuhan intervensi. Penelitian ini merekomendasikan tindak lanjut berupa analisis struktural lanjutan dan pengujian material untuk memastikan kelayakan penggunaan kembali elemen baja yang terdampak.

Kata kunci: Evaluasi Kondisi; Inspeksi Visual; Kebakaran; Struktur Baja; Tower Baja

1. LATAR BELAKANG

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang dapat memberikan dampak signifikan terhadap integritas struktur bangunan, terutama pada konstruksi baja. Meskipun baja dikenal memiliki kekuatan tinggi dan kemampuan menahan beban besar, sifat mekaniknya dapat menurun drastis ketika terpapar suhu tinggi. Pada suhu tertentu, baja dapat mengalami kehilangan kekuatan, penurunan modulus elastisitas, dan deformasi permanen. Oleh karena itu,

penting dilakukan evaluasi pasca kebakaran untuk menentukan apakah elemen struktur masih layak dipertahankan atau memerlukan perbaikan hingga penggantian total.

Dalam konteks bangunan tower baja, risiko akibat kebakaran menjadi lebih kompleks mengingat tingginya struktur serta konsentrasi beban dan sambungan yang beragam. Setiap elemen struktur seperti balok, kolom, pelat, hingga lantai memiliki peran kritis dalam menjaga stabilitas keseluruhan bangunan. Apabila satu elemen mengalami kerusakan yang tidak terdeteksi, hal tersebut dapat berdampak pada keselamatan penghuni maupun kelayakan fungsi bangunan. Oleh karena itu, pemeriksaan pasca kebakaran harus dilakukan secara menyeluruh dan sistematis.

Pemeriksaan visual menjadi langkah awal yang penting dalam proses evaluasi struktur. Metode ini dilakukan dengan observasi langsung menggunakan indera penglihatan untuk mengidentifikasi indikasi kerusakan seperti perubahan warna, deformasi, distorsi geometri, keretakan, atau keausan material. Meskipun bersifat *non-destruktif* dan sederhana, pemeriksaan visual dapat memberikan gambaran awal mengenai kondisi elemen-elemen struktur sebelum dilakukan pengujian lanjutan seperti uji material atau analisis struktur (Fadillah, M., & Kurniawan, H, 2024).

Dokumentasi dari hasil pemeriksaan visual sangat penting sebagai dasar pengambilan keputusan teknis selanjutnya. Setiap temuan harus dicatat secara sistematis, mencakup jenis elemen struktur, lokasi kerusakan, bentuk kerusakan, serta kemungkinan penyebabnya. Informasi ini akan digunakan dalam tahap analisis forensik struktur untuk menentukan tingkat keparahan kerusakan serta strategi perbaikan atau penguatan yang dibutuhkan. Dengan demikian, pemeriksaan visual ini penting dilakukan dan bukan sekadar kegiatan inspeksi, tetapi bagian krusial dari proses penilaian kelayakan struktur bangunan pasca kebakaran.

2. KAJIAN TEORITIS

Kebakaran pada bangunan dapat menyebabkan penurunan signifikan terhadap sifat mekanik baja, seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketangguhan (*ductility*). Saat baja terpapar suhu tinggi (di atas 400°C), kekuatannya dapat menurun drastis hingga 50% atau lebih, tergantung pada jenis baja dan durasi paparan panas (Kodur & Agarwal, 2019). Oleh karena itu, diperlukan metode yang tepat untuk menilai kembali kondisi struktur setelah peristiwa kebakaran, guna memastikan keamanan dan kelayakan penggunaannya kembali.

Pemeriksaan visual merupakan metode non-destruktif yang paling awal dan umum dilakukan dalam penilaian struktur pasca kebakaran. Menurut (Lee dan Choi, 2021), pemeriksaan visual dapat mengidentifikasi indikasi awal kerusakan seperti perubahan warna

pada permukaan baja, distorsi geometri, keretakan, dan deformasi lokal. Hasil observasi ini penting sebagai dasar untuk menentukan apakah diperlukan investigasi lanjutan, seperti pengujian laboratorium atau pemodelan struktur.

Beberapa penelitian terbaru menekankan pentingnya kombinasi antara pemeriksaan visual dengan dokumentasi kondisi lingkungan sekitar. Studi oleh (*Oluwafemi et al, 2021*) menunjukkan bahwa temperatur ekstrem dan gaya restrain dari sambungan atau elemen tetangga dapat memicu kerusakan yang tidak selalu tampak secara kasat mata, sehingga observasi harus disertai pencatatan yang teliti terkait posisi dan karakteristik elemen yang terdampak. Penggunaan alat bantu visual seperti kamera inframerah atau drone juga mulai diterapkan dalam pemeriksaan struktur tinggi atau yang sulit dijangkau.

Selain itu, standar teknis seperti *ASTM E2018-15* dan pedoman dari *NFPA 921: Guide for Fire and Explosion Investigations* memberikan arahan umum dalam melakukan inspeksi pasca kebakaran, termasuk tahapan pengumpulan data, pengamatan lapangan, dokumentasi foto, hingga pelaporan hasil inspeksi. Meskipun standar ini bersifat umum, penerapannya dapat disesuaikan dengan karakteristik bangunan baja dan tujuan evaluasi teknis. Dengan pendekatan yang tepat, pemeriksaan visual mampu menjadi dasar awal yang kuat dalam menentukan strategi perbaikan atau penguatan struktur.

Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan pemeriksaan struktur pasca kebakaran semakin berkembang, baik dari sisi metode maupun perangkat yang digunakan. Pemeriksaan visual yang awalnya hanya mengandalkan observasi langsung kini mulai didukung oleh teknologi dokumentasi seperti kamera digital beresolusi tinggi, pemetaan berbasis drone, dan perangkat lunak pemodelan tiga dimensi. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi pendataan dan mempermudah proses identifikasi kerusakan, terutama pada bangunan bertingkat atau area yang sulit diakses secara langsung. Meskipun pemeriksaan visual tetap menjadi tahapan awal, namun hasilnya kini lebih mudah diolah untuk mendukung evaluasi struktural yang lebih mendalam (*Nguyen et al., 2022*).

Selain itu, kajian terhadap struktur baja pasca kebakaran juga menekankan pentingnya evaluasi menyeluruh yang mempertimbangkan kondisi aktual di lapangan, sifat material setelah terpapar panas, serta tingkat risiko terhadap pengguna bangunan. Banyak studi mendorong pendekatan evaluasi berbasis kinerja (*performance-based*), yang tidak hanya berfokus pada kerusakan fisik, tetapi juga pada kemampuan struktur dalam memenuhi fungsi keselamatan dan operasionalnya. Pendekatan ini dinilai lebih adaptif dan efisien, terutama pada proyek pemulihan pasca kebakaran berskala besar (*Zhao et al., 2023*). Oleh karena itu, pemeriksaan visual sebaiknya dipahami sebagai bagian dari rangkaian tahapan evaluasi yang

saling melengkapi dalam menentukan tindakan teknis yang paling tepat terhadap struktur yang terdampak kebakaran.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif yang difokuskan pada kegiatan pemeriksaan visual terhadap elemen-elemen struktur baja bangunan yang terdampak kebakaran. Pemeriksaan dilakukan secara langsung di lokasi kejadian untuk mengidentifikasi kondisi fisik elemen struktural, seperti balok, kolom, pelat, dan lantai, serta mencatat indikasi kerusakan yang terjadi akibat paparan panas tinggi.

Langkah pertama dalam metode ini adalah pengumpulan data awal, yang mencakup informasi umum tentang bangunan, waktu dan durasi kebakaran, suhu perkiraan saat kejadian (bila tersedia), serta dokumentasi kondisi eksisting bangunan sebelum kejadian. Data ini diperoleh melalui wawancara dengan pihak pengelola, laporan kejadian, serta dokumen teknis bangunan seperti gambar kerja dan spesifikasi material.

Langkah selanjutnya adalah inspeksi visual lapangan, yang dilakukan dengan cara observasi langsung menggunakan indera penglihatan dan alat bantu seperti kamera digital, alat ukur (penggaris baja, waterpass), serta lampu sorot untuk area minim cahaya. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi gejala kerusakan seperti:

Perubahan warna permukaan baja (misalnya berubah menjadi cokelat kemerahan atau abu-abu keputihan). Deformasi struktural (lentur, tekuk, atau puntir), Retak pada sambungan atau area las, Korosi yang tidak normal, Ketidakteraturan posisi atau kemiringan elemen struktural.

Setiap temuan dicatat dalam lembar inspeksi dan didokumentasikan secara fotografis. Penomoran dilakukan berdasarkan urutan lokasi dan jenis elemen untuk mempermudah analisis lanjutan.

Hasil pemeriksaan visual kemudian dianalisis secara kualitatif untuk menentukan tingkat keparahan kerusakan serta kemungkinan penyebabnya. Klasifikasi kerusakan dilakukan berdasarkan pedoman dari standar yang relevan, seperti SNI1729-2020, ASTM E2018 dan NFPA 921. Elemen-elemen yang menunjukkan gejala kerusakan berat akan direkomendasikan untuk dilakukan pengujian lebih lanjut, seperti uji tarik, uji kekerasan, atau analisis struktural numerik.

Metode ini tidak hanya bertujuan untuk mendokumentasikan kondisi kerusakan, tetapi juga sebagai dasar awal untuk menyusun strategi pemulihan atau penguatan struktur baja secara menyeluruh dan aman. **Pengumpulan Data Awal:** Informasi umum bangunan, Waktu dan

durasi kebakaran, Gambar teknis dan spesifikasi material. **Pemeriksaan Visual Lapangan:** Observasi elemen struktur baja, Alat bantu: kamera, penggaris, senter, Deteksi perubahan warna, deformasi, dan retak. **Dokumentasi dan Penomoran:** Foto kondisi setiap elemen, Catatan inspeksi visual, Penomoran berdasarkan lokasi dan jenis. **Analisis Kualitatif:** Klasifikasi jenis dan tingkat kerusakan, Acuan standar (ASTM E2018, SNI 1729:2020, NFPA 921), Identifikasi elemen yang perlu diuji lanjut. **Rekomendasi Tindak Lanjut:** Elemen tidak rusak: dipertahankan, Elemen rusak: diuji material/struktur, Saran perbaikan, penguatan, atau penggantian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

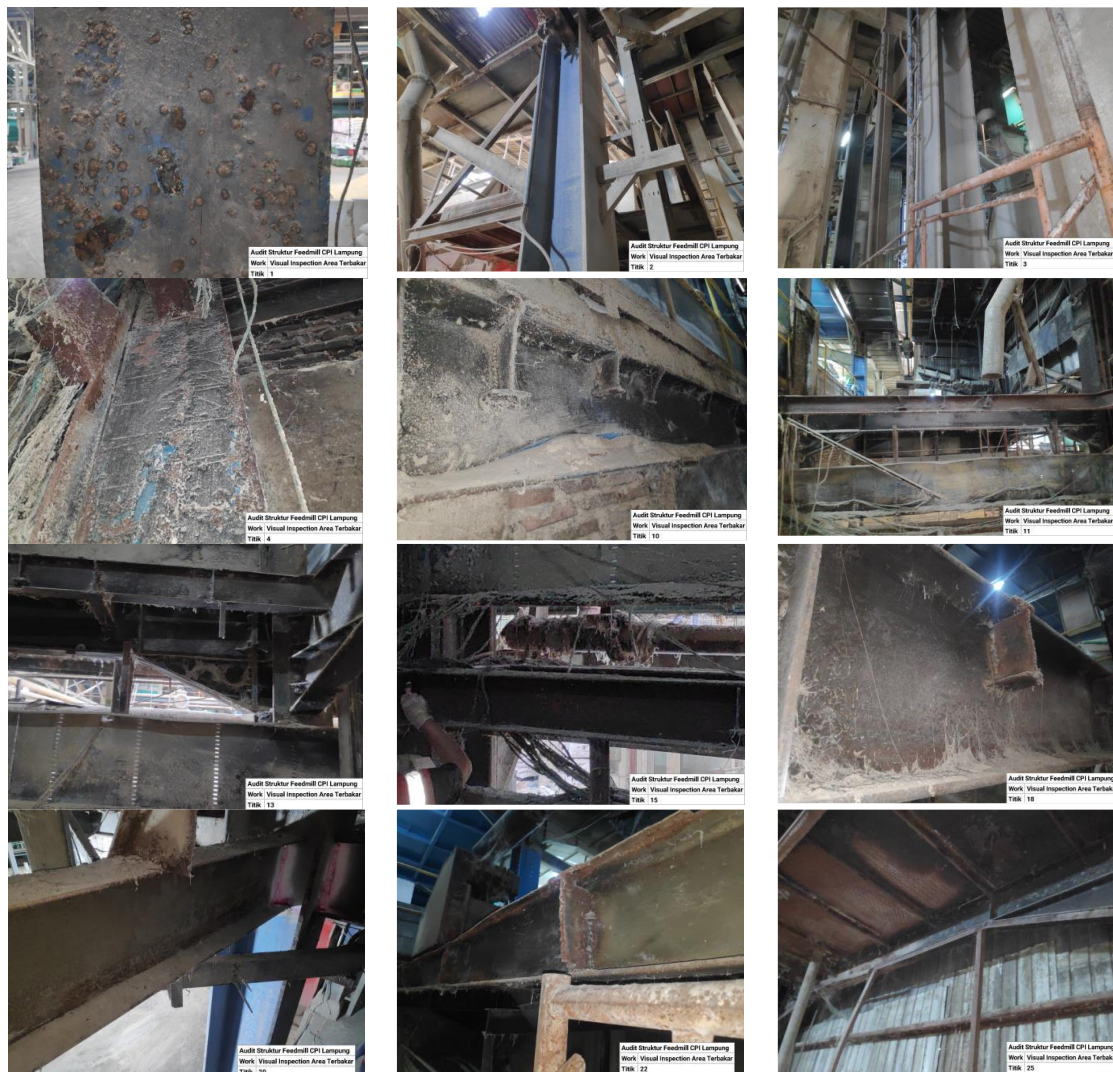
Berdasarkan hasil inspeksi visual yang telah dilakukan terhadap seluruh elemen struktur baja bangunan pasca kebakaran, ditemukan variasi kondisi pada masing-masing komponen. Setiap elemen dinilai dan diklasifikasikan ke dalam empat kategori penilaian, yaitu *Not Applicable (N/A)*, *Acceptable*, *Needs Attention*, dan *Not Acceptable*, sesuai dengan pedoman inspeksi teknis. Adapun beberapa hasil pemeriksaan visual terhadap konstruksi tower baja setelah kebakaran, dapat dilihat pada Gambar 1.

Not Applicable (N/A): Kategori ini mencakup elemen-elemen struktur yang tidak lagi ditemukan atau tidak relevan untuk dinilai karena telah dilepas atau dimodifikasi. Salah satu contoh ditemukan pada *Steel Pipe Bracing* di Titik 16 / As 7-8/D, yang dinyatakan tidak ada karena telah dilepas. Elemen ini tidak dapat dievaluasi lebih lanjut secara visual karena keberadaannya tidak terverifikasi di lapangan.

Acceptable: Elemen struktur dalam kategori ini secara umum menunjukkan kondisi fisik baik, tidak mengalami deformasi atau kerusakan serius, dan masih dapat digunakan sebagaimana fungsinya. Beberapa *Steel Column* pada berbagai titik (misalnya Titik 2, 3, 5, 6) dicatat dalam kondisi masih cukup baik, tanpa indikasi perubahan bentuk akibat paparan panas. Hal ini menunjukkan bahwa struktur kolom baja masih mampu menopang beban sebagaimana mestinya.

Needs Attention: Elemen dalam kategori ini menunjukkan indikasi kerusakan ringan atau potensi degradasi lebih lanjut yang memerlukan pemeliharaan atau monitoring berkala. Beberapa *Beam* dan *Column* terlihat mengalami kerusakan pada lapisan *coating* akibat terbakar, meskipun tidak menunjukkan deformasi struktural. Misalnya, Titik 1 dan 4 (kolom baja) serta Titik 19 dan 33 (lantai 2) termasuk dalam kelompok ini. Selain itu, *beam* di banyak titik (Titik 20–24) tidak memiliki *coating* dan mulai mengalami korosi, sehingga perlu ditindaklanjuti dengan pelapisan ulang atau tindakan pencegahan korosi lainnya.

Not Acceptable: Kategori ini diberikan kepada elemen-elemen struktur yang mengalami kerusakan serius dan tidak lagi layak secara struktural. Beberapa temuan mencatat bahwa elemen seperti *beam* dan *rafter* pada Titik 28, 30, dan 31 telah dipotong (*cutting*), sehingga tidak dapat lagi digunakan tanpa perbaikan atau penggantian total. Selain itu, kerusakan pada *beam* seperti sobekan pada flens baja (Titik 12) menunjukkan kerusakan mekanis yang serius dan perlu ditangani segera.

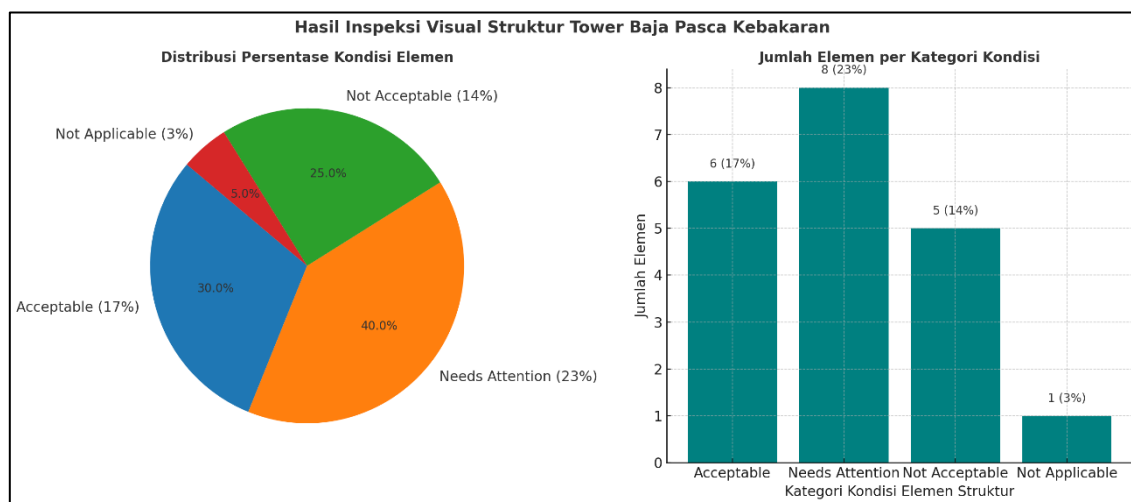


Gambar 1. Hasil inspeksi visual kondisi tower baja setelah kebakaran.

Sumber : Data inspeksi proyek

Berdasarkan hasil inspeksi visual Gambar 1 di atas terhadap elemen struktur tower baja setelah kebakaran, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar kolom baja masih dalam kondisi cukup baik, tanpa indikasi deformasi struktural, meskipun lapisan *coating* mengalami kerusakan akibat paparan panas. Sebaliknya, banyak elemen balok (*beam*) ditemukan dalam kondisi tanpa lapisan pelindung, beberapa terpapar api secara langsung, mulai menunjukkan gejala korosi, dan bahkan ada yang mengalami kerusakan fisik serius seperti sobekan flens dan

pemotongan (*cutting*). Satu elemen *bracing* tercatat telah dilepas sehingga tidak dapat dinilai lebih lanjut.



Gambar 2. Grafik hasil inspeksi visual kondisi tower baja setelah kebakaran.

Sumber : Hasil olahan data

Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun struktur utama sebagian masih stabil dan sebagian lagi memerlukan perbaikan seperti grafik **Gambar 2**, diperlukan perhatian serius terhadap elemen-elemen yang berpotensi melemah karena kehilangan perlindungan, serta tindakan perbaikan atau penggantian pada elemen yang telah rusak berat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Secara keseluruhan, struktur baja yang tidak terkena langsung oleh kebakaran masih berada dalam kondisi yang dapat diterima. Namun, terdapat banyak elemen yang mengalami penurunan fungsi pelindung (*coating*), paparan langsung terhadap api, dan bahkan kerusakan mekanis seperti korosi dan pemotongan. Oleh karena itu, direkomendasikan untuk melakukan perbaikan lokal terhadap elemen yang mengalami kerusakan ringan, melakukan penggantian atau penguatan terhadap elemen dengan kerusakan berat dan melengkapi dokumentasi hasil visual dengan pengujian lanjutan (misalnya uji tarik atau kekerasan) untuk verifikasi kondisi material secara teknis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Islam Sultan Agung, Universitas Mercu Buana, perusahaan tempat dilakukan penelitian, serta rekan penulis yang telah membantu.

DAFTAR REFERENSI

- ASTM E2018-15 (Reapproved 2021). *Standard Guide for Property Condition Assessments: Baseline Property Condition Assessment Process*. ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1729:2020 – Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Fadillah, M., & Kurniawan, H. (2024). Pendekatan evaluasi struktur eksisting menggunakan metode visual dan non-destruktif. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 12(1), 25–34. <https://doi.org/10.xxxx/jrrs.2024.12.1.25>
- Jain, A., & Kumar, S. (2022). Fire safety in building construction: Assessment and mitigation strategies. *Journal of Building Engineering*, 45, 102356. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102356>
- Kodur, V. K. R., & Agarwal, A. (2019). Assessment of residual properties of structural steel exposed to fire. *Fire Technology*, 55, 2117–2140. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00864-3>
- Lee, S., & Choi, H. (2021). Mechanical properties of ASTM A572 Grades 50 and 60 steels at high temperatures. *Journal of Constructional Steel Research*, 180, 106594. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106594>
- NFPA. (2021). *NFPA 921: Guide for Fire and Explosion Investigations*. National Fire Protection Association.
- Nguyen, T. H., Lim, J., & Kim, J. (2022). Post-fire structural assessment using laser scanning and 3D modeling techniques. *Automation in Construction*, 138, 104233. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104233>
- Oluwafemi, J. O., et al. (2021). A review on steel connections and structural behavior. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1107, 012083. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1107/1/012083>
- Prasetya, H., & Nurhadi, I. (2023). Evaluasi kinerja struktur baja pasca kebakaran berdasarkan inspeksi visual dan simulasi termal. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, 23(1), 45–56. <https://doi.org/10.xxxx/jtsud.2023.23.1.45>
- Sari, R. A., & Gunawan, A. (2022). Analisis visual kerusakan struktur baja akibat kebakaran pada bangunan industri. *Jurnal Konstruksi Indonesia*, 10(2), 88–96. <https://doi.org/10.xxxx/jki.2022.10.2.88>
- Tan, J. Y., & Li, X. (2021). Thermal behavior of steel structures under fire conditions: A review of research methods and computational models. *Structural Engineering Review*, 22(3), 178–195. <https://doi.org/10.1016/j.strue.2021.02.003>
- Wang, Z., & Zhao, W. (2023). Experimental study on the residual mechanical properties of high-strength steel after fire exposure. *Fire Safety Journal*, 125, 103371. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103371>
- Zhang, M., & Wang, P. (2020). Influence of fire on the mechanical performance of structural steel: A numerical study. *Engineering Structures*, 220, 110884. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110884>
- Zhao, Y., Zhang, Z., & Huang, X. (2023). Performance-based evaluation of steel frame structures after fire exposure. *Journal of Structural Engineering*, 149(2), 04022222. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0003356](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0003356)