

COMPARISON OF POWER HOUSE STRESS RATIOS IN MOROWALI USING ELM AND DAM METHODS

Article History:

Received
02 January 2026
Revised
24 January 2026
Accepted
04 February 2026

PRIMA ADHIYASA¹, MATTHEW NABIL AYAL²¹Universitas Sangga Buana, Indonesia²Universitas Widyatama, Indonesia
prima.adhiyasa@usbykp.ac.id**ABSTRAK**

Bangunan industri dengan overhead crane menuntut evaluasi stabilitas yang teliti karena menerima kombinasi beban gravitasi, crane, angin, dan gempa. Penelitian ini membandingkan stress ratio struktur baja Powerhouse Crane IMIP Morowali menggunakan Effective Length Method (ELM) dan Direct Analysis Method (DAM) pada model tiga dimensi SAP2000 dengan pendekatan LRFD, geometri, profil, dan kombinasi beban yang identik. Evaluasi difokuskan pada enam kolom dan enam balok kritis. Momen maksimum kolom ELM sebesar 318,4368 kN·m, 1,91% lebih tinggi daripada DAM (312,4806 kN·m); pada balok selisihnya 0,51%. Stress ratio maksimum kolom terjadi pada Frame 6 (ELM 0,9396; DAM 0,9268), sedangkan pada balok Frame 61 DAM sedikit lebih kritis (0,9218 vs 0,9172). Seluruh rasio < 1,0. Temuan menunjukkan metode ELM sedikit lebih konservatif dibandingkan DAM, namun kedua metode masih relevan digunakan karena hasil dari perbandingan sekitar 1-2%.

Kata kunci: struktur baja industri, overhead crane, Direct Analysis Method, Effective Length Method, stress ratio

ABSTRACT

Industrial buildings with overhead cranes require careful stability evaluation under combined gravity, crane, wind, and seismic loads. This study compares stress ratios of the IMIP Morowali Powerhouse Crane steel structure using the Effective Length Method (ELM) and the Direct Analysis Method (DAM) in a three-dimensional SAP2000 model under LRFD with identical geometry, sections, and load combinations. Six critical columns and six critical beams were evaluated. The maximum column moment from ELM was 318.4368 kN·m, 1.91% higher than DAM (312.4806 kN·m); the beam difference was 0.51%. The maximum column stress ratio occurred at Frame 6 (ELM 0.9396; DAM 0.9268), while Frame 61 showed DAM slightly more critical for beams (0.9218 vs 0.9172). All ratios were below 1.0. ELM have a little bit more conservative than DAM but all the method still relevant because the gap is about 1-2%.

Keywords: industrial steel structure, overhead crane, Direct Analysis Method, Effective Length Method, stress ratio

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. PENDAHULUAN

Perkembangan konstruksi industri modern menuntut sistem struktur yang kuat, efisien, dan mampu menahan kombinasi pembebanan yang kompleks. Umumnya struktur bangunan di Indonesia menggunakan dua material utama yaitu beton dan baja struktural. Baja struktural banyak digunakan pada bangunan industri karena rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, daktilitas yang baik, serta kemudahan fabrikasi dan pemasangan di lapangan. Karakteristik tersebut sesuai untuk bangunan dengan bentang relatif besar dan kebutuhan ruang operasional yang luas.

Pada bangunan industri yang dilengkapi *overhead crane*, struktur menerima beban mati, beban hidup, beban *crane*, angin, dan gempa secara simultan. Beban *crane* tidak hanya berupa gaya vertikal dari berat sendiri *crane* dan kapasitas angkat, tetapi juga mencakup komponen kejut vertikal serta gaya horizontal lateral dan longitudinal yang ditetapkan standar pembebanan. Kombinasi tersebut menghasilkan distribusi gaya dalam yang lebih kompleks dibandingkan bangunan tanpa sistem pengangkatan, sehingga pemilihan metode analisis stabilitas menjadi krusial bagi keamanan dan efisiensi desain (Dhanya & Chidananda, 2022; Lisperguier et al., 2023).

Dalam praktik perencanaan di Indonesia, pembebanan dan desain struktur mengacu pada SNI 1727:2020 untuk beban minimum, SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa, serta SNI 1729:2020 dan SNI 7860:2020 untuk spesifikasi baja struktural dan ketentuan seismiknya (Badan Standardisasi Nasional, 2019, 2020a, 2020b, 2020c). Pendekatan desain yang umum digunakan adalah *Load and Resistance Factor Design (LRFD)*, yang menerapkan faktor beban dan faktor reduksi kekuatan untuk mencapai tingkat keandalan tertentu. Selain kekuatan penampang, aspek stabilitas global dan lokal elemen tekan harus dievaluasi secara eksplisit karena fenomena tekuk dan efek orde kedua dapat memperbesar momen dan memperkecil kapasitas efektif elemen (Souza et al., 2016; Venslavavičiūtė et al., 2020).

Spesifikasi baja modern, termasuk AISC 360 dan adaptasinya dalam SNI 1729:2020, mengakui dua pendekatan utama analisis stabilitas, yaitu *Effective Length Method (ELM)* dan *Direct Analysis Method (DAM)* (American Institute of Steel Construction, 2016; Badan Standardisasi Nasional, 2020b). ELM memperhitungkan stabilitas elemen tekan melalui faktor panjang efektif K yang bergantung pada kondisi kekangan dan kekakuan relatif rangka. DAM memasukkan efek orde kedua, ketidaksempurnaan awal melalui beban nosional, serta reduksi kekakuan secara langsung dalam analisis, sehingga pemeriksaan elemen dapat menggunakan $K = 1$ (Ky et al., 2015; Purnomo et al., 2019; Walport et al., 2022). Perbedaan pendekatan tersebut berpotensi menghasilkan nilai gaya dalam dan stress ratio yang berbeda, meskipun geometri dan kombinasi beban dibuat identik.

Secara konseptual, *stress ratio* atau *demand-capacity ratio* menyatakan perbandingan permintaan gaya dalam terfaktor terhadap kapasitas rencana elemen. Nilai kurang dari 1,0 mengindikasikan elemen masih memenuhi persyaratan kekuatan pada kombinasi yang ditinjau, sedangkan nilai yang mendekati 1,0 menandai pemanfaatan kapasitas yang tinggi dan menjadi indikator kekritisan desain. Karena kapasitas tekan pada ELM bergantung pada panjang efektif, sementara DAM mengubah kekakuan dan gaya dalam melalui analisis langsung, perbandingan *stress ratio* menjadi metrik yang tepat untuk menilai implikasi praktis pemilihan metode stabilitas pada elemen yang sama.

Beberapa studi telah membandingkan ELM dan DAM pada portal baja berpengaku, *rangka gable*, *pipelack*, maupun struktur bentang panjang. Rania et al. (2019) melaporkan bahwa stress ratio DAM cenderung lebih kecil daripada ELM pada portal baja dengan *bracing*, dengan selisih sekitar 0,1–8,9%. Purnomo et al. (2019) menunjukkan bahwa pada rangka *eccentrically braced* rendah di bawah beban gempa Indonesia, perbedaan respons ELM–DAM tidak selalu

besar, tetapi penerapan beban nosional dan analisis orde kedua tetap memengaruhi hasil. Erizal et al. (2023) menemukan *stress ratio* DAM cenderung lebih kecil daripada ELM pada struktur baja bentang panjang; besarnya perbedaan berubah menurut variasi tinggi, beban gempa, dan beban gravitasi yang dianalisis. Studi terkait pembebanan parsial, kinerja seismik gudang baja dengan *overhead crane*, serta desain stabilitas dalam konteks seismik juga menegaskan pentingnya pola beban kritis, efek P-Delta, dan konsistensi parameter analisis (Chacón Rojas & Vega Vásquez, 2019; Hsiao, 2018; Lisperguier et al., 2023; Vielma & Cando, 2014). Pada konteks crane, Gavrilov (2015) menekankan evaluasi respons seismik konstruksi *crane*, sedangkan Dhanya dan Chidananda (2022) menyoroti pengaruh beban *crane* terhadap kinerja rangka industri. Ky et al. (2015) menambahkan perspektif desain optimum bahwa pilihan DAM, ELM, atau metode orde pertama dapat menggeser solusi penampang, sehingga perbedaan metode tidak bersifat semata-mata akademis, melainkan berdampak pada keputusan desain.

Berdasarkan kajian tersebut, gap penelitian masih terbuka pada dua aspek. Pertama, sebagian besar komparasi ELM–DAM masih berfokus pada portal sederhana, *piperack*, atau rangka tanpa representasi beban yang lengkap. Kedua, literatur lokal sering menyimpulkan DAM lebih efisien atau menghasilkan *stress ratio* lebih kecil secara umum, sementara evaluasi anggota-per-anggota pada struktur industri dengan beban *crane* belum banyak memperlihatkan kemungkinan pola non-monotonik, yaitu metode yang lebih kritis dapat berbeda antara kolom dan balok. Gap tersebut relevan karena pada bangunan *Powerhouse Crane* di kawasan industri Morowali memiliki denah, sistem struktur, dan pembebanan *crane* yang spesifik, sehingga generalisasi hasil studi portal dua dimensi tidak otomatis berlaku.

Penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan *stress ratio* elemen kolom dan balok kritis struktur baja *Powerhouse Crane* menggunakan ELM dan DAM pada SAP2000 dengan kerangka LRFD, serta menentukan metode mana yang menghasilkan nilai paling kritis pada sampel elemen yang ditinjau. Erizal et al. (2023) menunjukkan bahwa ELM tidak selalu lebih konservatif, ELM lebih kritis pada kolom, sedangkan DAM sedikit lebih kritis pada balok.

2. METODA PENELITIAN

2.1 DESAIN PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif dengan pendekatan komparatif numerik. Dua model analisis stabilitas—ELM dan DAM—dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan geometri, profil penampang, mutu material, kondisi batas, dan kombinasi pembebanan yang sama. Perbedaan hasil diinterpretasikan sebagai pengaruh pendekatan stabilitas, bukan pengaruh perubahan desain penampang maupun mutu. Parameter utama yang dibandingkan adalah momen maksimum dan *stress ratio* (*demand-capacity ratio*) pada enam kolom dan enam balok yang mewakili respons kritis model. Alur kerja meliputi studi literatur, klarifikasi data sekunder proyek, pemodelan LRFD, penerapan parameter DAM dan ELM secara terpisah, ekstraksi gaya dalam serta *stress ratio*, lalu perbandingan kuantitatif dan interpretasi terhadap literatur.

2.2 OBJEK DAN RUANG LINGKUP

Objek penelitian adalah bangunan *Powerhouse Crane* di Morowali, Sulawesi Tengah. Bangunan ini berfungsi sebagai fasilitas industri dengan *overhead crane*. Denah struktur berukuran 17 × 11 m dengan tinggi bangunan 9 m. Sistem struktur dimodelkan sebagai rangka baja berpengaku yang terdiri atas kolom, balok, rangka atap, bresing, dan balok landasan *crane* (*crane runway beam*). Penelitian tidak membahas detail mekanikal *crane*, sambungan

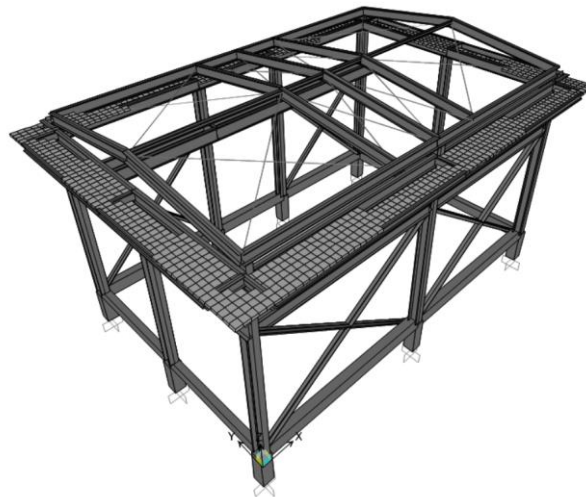
baut, biaya konstruksi, maupun optimasi ulang dimensi profil. Evaluasi *stress ratio* dibatasi pada enam kolom dan enam balok kritis, elemen lain tidak dibahas secara rinci.

2.3 MATERIAL DAN PROFIL

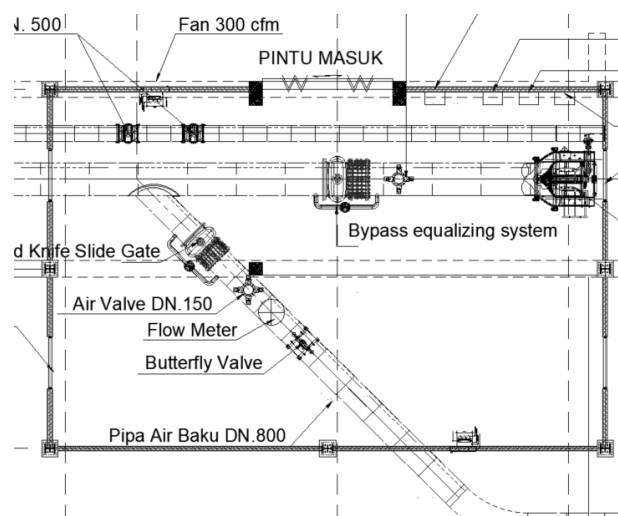
Mutu baja profil yang digunakan adalah ASTM A36 dengan tegangan leleh $f_y = 248$ MPa. Profil utama yang ditinjau dalam perbandingan adalah kolom H-400×400×13×21 dan balok B-300×500. Material beton bertulang $f'_c = 30$ MPa dan tulangan ASTM A615 dicantumkan pada model sesuai data yang tersedia, tetapi evaluasi perbandingan metode difokuskan pada elemen baja utama. Baut dan detail sambungan berada di luar batasan penelitian. Pemilihan ASTM A36 mengikuti data yang didapatkan, seluruh pemeriksaan kapasitas pada DAM dan ELM menggunakan mutu yang sama agar perbedaan hasil analisis tidak terganggu oleh inkonsistensi material.

2.4 PEMODELAN STRUKTUR

Pemodelan dilakukan secara tiga dimensi pada SAP2000. Model merepresentasikan tata letak grid, kolom, balok, jalur rel crane, serta jalur penyaluran beban dari runway beam ke kolom dan fondasi sesuai dokumen perencanaan. Hubungan elemen, tumpuan, dan jalur pembebanan ditetapkan identik untuk analisis DAM dan ELM agar perbandingan setara.



Gambar 1. Model Tiga Dimensi Struktur Powerhouse Crane



Gambar 2. Denah Struktur dan Jalur Rel Crane

2.5 PEMBEBANAN

Beban dihitung dan diinput sesuai ketentuan SNI yang berlaku serta data yang dimiliki, karena struktur yang ditinjau adalah bangunan yang memiliki *overhead-crane*, pembebanan tidak terbatas pada gravitasi dan lateral lingkungan, namun juga mempertimbangkan beban *crane* pada posisi kritis di sepanjang balok *crane*. Beban - beban yang diaplikasikan pada model meliputi:

- Beban mati tambahan atap (SDL) = 1,5 kN/m²; beban hidup atap (Lr) = 1,0 kN/m²; beban hujan (R) = 0,2 kN/m².
- Beban mati tambahan pada balok utama = 1,3095 kN/m.
- Beban angin merata pada kolom: arah X sebesar 4,235 kN/m dan arah Y sebesar -4,235 kN/m.
- Beban gempa berdasarkan parameter lokasi proyek dengan kelas situs SE, SDS = 0,7394g, SD1 = 0,6407g, faktor keutamaan I_e = 1,25 (konsisten dengan kategori risiko III menurut SNI 1726:2019), koefisien respons R = 2,5, berat seismik efektif W = 1610 kN, dan gaya geser dasar V = 595,37 kN pada arah X dan Y.
- Beban *crane* dimodelkan sebagai beban terpusat ekuivalen pada balok *crane* untuk *crane* pada posisi pembebanan kritis, tidak dimodelkan sebagai simulasi gerak dinamis *crane* secara eksplisit.

Data *crane* yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas penggantung 7 ton, beban kosong 4,91 ton, dan beban operasi 11,91 ton. Komponen *impact* mengacu pada ASCE/SEI 7-16, yaitu *impact* vertikal 25%, gaya lateral 20%, dan gaya longitudinal 10% (*American Society of Civil Engineers*, 2017). Dua posisi kritis yang ditinjau pada penelitian ini, yaitu beban di dekat tumpuan dan di tengah bentang balok- *crane*, kemudian reaksi tumpuan serta komponen *impact* diaplikasikan pada model. Pendekatan ini sejalan dengan pentingnya pola beban kritis terhadap gaya dalam elemen (Hsiao, 2018), tanpa memodelkan *crane* bergerak dalam analisis.

Kombinasi pembebanan ultimit disusun sesuai SNI 1727:2020 dalam kerangka LRFD. Seluruh kombinasi yang aktif pada pemeriksaan *stress ratio* dibuat identik pada model DAM dan ELM. Kombinasi pengendali setiap elemen ditentukan dari hasil pemodelan dengan membandingkan momen maksimum yang terjadi.

2.6 PARAMETER EVALUASI

Evaluasi difokuskan pada: momen maksimum elemen kolom H-400×400×13×21 dan balok B-300×500 akibat respons spektrum arah Y dan *stress ratio* kolom. Secara umum, *stress ratio* dirumuskan sebagai:

$$SR = \frac{D_u}{C_r} \quad (1)$$

dengan:

- | | |
|----------------|---|
| SR | = <i>stress ratio</i> atau <i>demand-capacity ratio</i> |
| D _u | = gaya dalam atau demand terfaktor pada elemen |
| C _r | = kapasitas rencana elemen |

Elemen dinyatakan memenuhi persyaratan kekuatan apabila $SR \leq 1,0$. Selisih momen ELM terhadap DAM dihitung menggunakan Persamaan (2), sedangkan selisih *stress ratio* dilaporkan terhadap metode dengan nilai lebih rendah agar persentasenya menyatakan kenaikan menuju metode yang lebih kritis.

$$\Delta M = \frac{|M_{ELM} - M_{DAM}|}{M_{DAM}} \times 100\% \quad (2)$$

dengan:

- ΔM = perbedaan momen maksimum antara ELM dan DAM
 M_{ELM} = momen maksimum hasil analisis menggunakan ELM
 M_{DAM} = momen maksimum hasil analisis menggunakan DAM

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 RINGKASAN RESPONS SEISMIC DAN STABILITAS GLOBAL

Dengan $SDS = 0,7394g$, $R = 2,5$, dan $I_e = 1,25$, koefisien respons seismik yang dipakai adalah $C_s = 0,3697$, sehingga gaya geser dasar yang didapatkan adalah 595,37 kN. Pemeriksaan simpangan antar lantai menunjukkan drift inelastik jauh lebih kecil daripada batas izin, dan koefisien stabilitas P-Delta memenuhi batas θ_{max} .

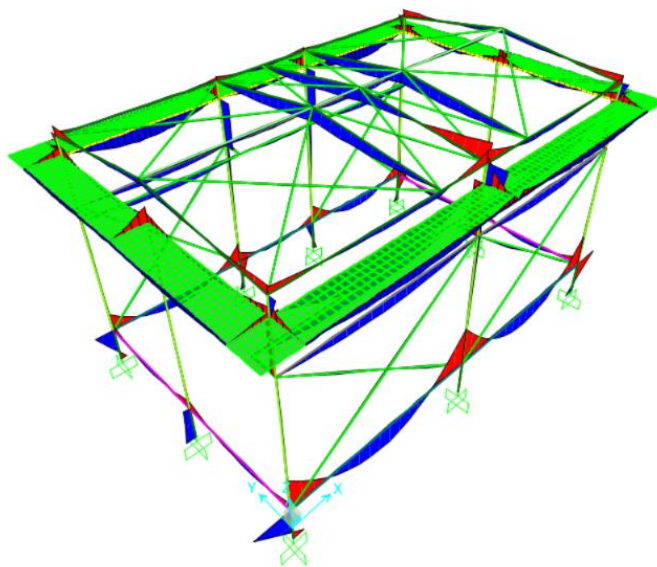
3.2 PERBANDINGAN MOMEN MAKSIMUM

Hasil momen maksimum pada kolom dan balok akibat respons spektrum arah Y disajikan pada Tabel 1.

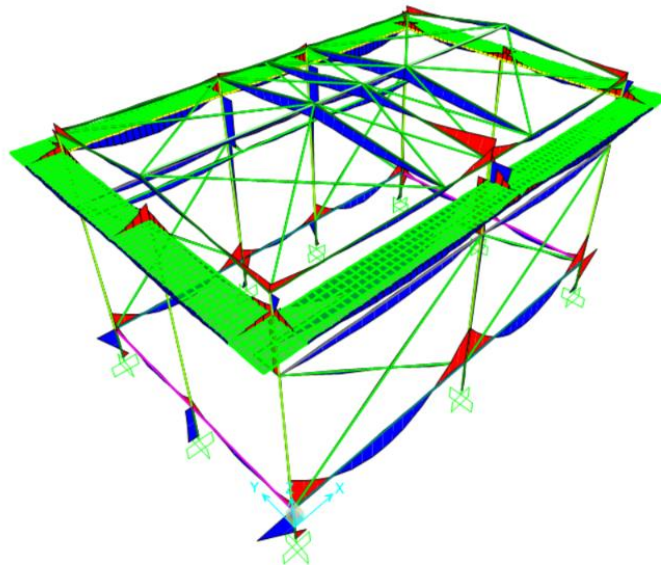
Tabel 1. Perbandingan Momen Maksimum Kolom dan Balok (Respons Spektrum Arah Y)

Elemen	Profil	DAM (kN·m)	ELM (kN·m)	Selisih
Kolom	H-400×400×13×21	312,4806	318,4368	+1,91%
Balok	B-300×500	82,4823	82,9035	+0,51%

Momen maksimum kolom pada ELM lebih besar 1,91% dibandingkan DAM, sedangkan pada balok selisihnya hanya 0,51%. Pola ini menunjukkan bahwa perbedaan pendekatan stabilitas memengaruhi redistribusi gaya dalam.



Gambar 3. Diagram Momen dengan Metode Direct Analysis Method (DAM)



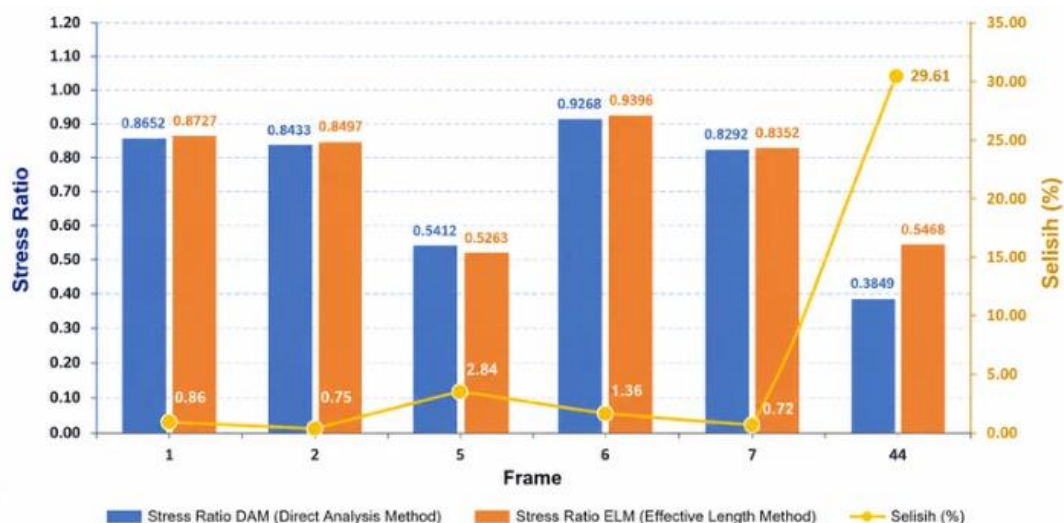
Gambar 4. Diagram Momen dengan Metode *Effective Length Method* (ELM)

3.3 STRESS RATIO KOLOM

Hasil stress ratio enam kolom kritis disajikan pada Tabel 2 dan divisualisasikan pada Gambar 5. Nilai pada Tabel 2 dibulatkan tiga desimal sesuai ringkasan hasil tugas akhir, sedangkan Gambar 5 menampilkan nilai lebih rinci beserta persentase selisih antar metode.

Tabel 2. Stress Ratio Kolom Kritis Metode DAM dan ELM

Frame	SR DAM	SR ELM	Selisih (%)	Metode lebih kritis
1	0,865	0,873	0,86	ELM
2	0,843	0,850	0,75	ELM
5	0,541	0,526	2,84	DAM
6	0,927	0,940	1,36	ELM
7	0,829	0,835	0,72	ELM
44	0,385	0,547	29,61	ELM



Gambar 5. Diagram Evaluasi Stress Ratio Kolom DAM & ELM

Gambar 5 memperlihatkan bahwa stress ratio maksimum kolom terjadi pada Frame 6, yaitu 0,9268 pada DAM dan 0,9396 pada ELM (selisih 1,36%). Seluruh nilai kolom tetap di bawah 1,0 sehingga memenuhi persyaratan kekuatan untuk sampel yang ditinjau. Lima dari enam kolom menunjukkan ELM lebih kritis, kecuali Frame 5 yang sedikit lebih kritis pada DAM (0,5412 vs 0,5263).

Pola pada Gambar 5 juga menunjukkan bahwa selisih relatif antar metode tidak seragam. Pada Frame 1, 2, 6, dan 7 selisih hanya 0,72–1,36%, tetapi pada Frame 44 selisih melonjak hingga 29,61% meskipun nilai absolut stress ratio DAM pada frame tersebut relatif rendah (0,3849). Dengan demikian, evaluasi harus dilakukan anggota-per-anggota: nilai maksimum global (Frame 6) menentukan kekritisan desain, sedangkan Frame 44 menegaskan sensitivitas perbedaan kapasitas tekan ELM–DAM pada elemen dengan pemanfaatan yang lebih kecil.

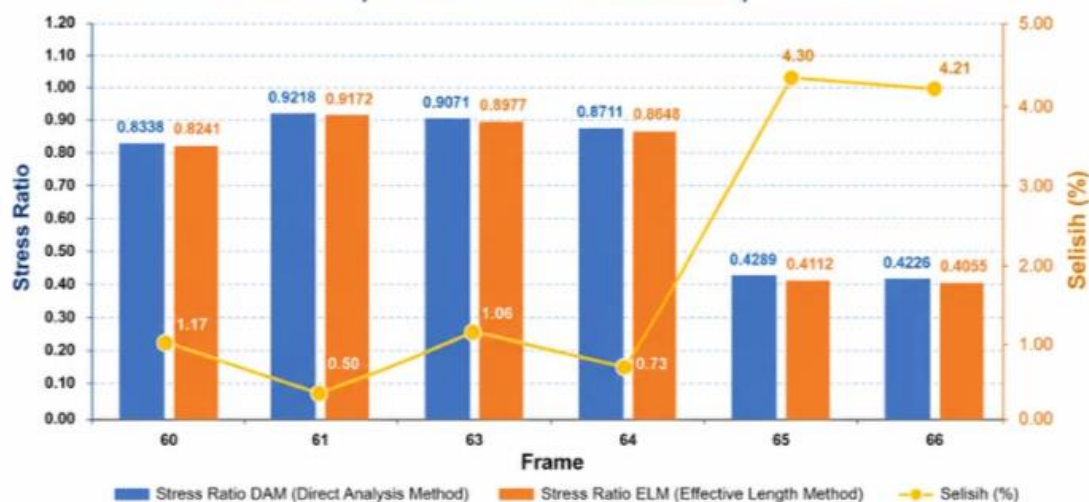
Pola ELM yang lebih tinggi pada mayoritas kolom konsisten dengan studi portal berpengaku yang melaporkan stress ratio ELM lebih besar daripada DAM (Rania et al., 2019; Erizal et al., 2023). Penjelasan mekanisnya berkaitan dengan perbedaan cara kestabilan dimasukkan: ELM merepresentasikan pengaruh tekuk melalui faktor panjang efektif $K \cdot L$ pada kapasitas tekan, sedangkan DAM memasukkan reduksi kekakuan, beban nosional, dan efek orde kedua ke dalam analisis sebelum pemeriksaan dengan $K = 1$ (Ky et al., 2015; Walport et al., 2022). Pada kolom yang menerima kombinasi aksial–momen signifikan akibat respons lateral dan beban crane ekuivalen, perbedaan kapasitas tekan efektif dapat menggeser stress ratio meskipun momen absolut hanya berbeda sekitar 2%.

3.4 STRESS RATIO BALOK

Hasil stress ratio enam balok kritis disajikan pada Tabel 3 dan divisualisasikan Gambar 6.

Tabel 3. Stress Ratio Balok Kritis Metode DAM dan ELM

Frame	SR DAM	SR ELM	Selisih (%)	Metode lebih kritis
60	0,834	0,824	1,17	DAM
61	0,922	0,917	0,50	DAM
63	0,907	0,898	1,06	DAM
64	0,871	0,865	0,73	DAM
65	0,429	0,411	4,30	DAM
66	0,423	0,406	4,21	DAM



Gambar 6. Diagram Evaluasi Stress Ratio Balok DAM & ELM

Gambar 6 menunjukkan bahwa *stress ratio* maksimum balok terjadi pada Frame 61, yaitu 0,9218 pada DAM dan 0,9172 pada ELM (selisih 0,50%). Seluruh balok pada sampel ini menunjukkan DAM sedikit lebih kritis daripada ELM, dengan seluruh nilai tetap $< 1,0$. Arah kekritisannya yang konsisten pada keenam balok menandai pola sistematis, bukan fluktuasi acak satu elemen saja.

Meskipun nilai puncak hanya berbeda 0,50%, Gambar 6 memperlihatkan bahwa selisih relatif lebih besar pada Frame 65 dan 66 (sekitar 4,21–4,30%), yang memiliki *stress ratio* absolut lebih rendah (sekitar 0,41–0,43). Artinya, pada balok dengan pemanfaatan kapasitas kecil, perbedaan metode tetap terdeteksi, tetapi tidak mengubah elemen yang paling kritis secara desain. Temuan ini penting karena mematahkan generalisasi bahwa ELM selalu lebih konservatif atau bahwa DAM selalu menghasilkan rasio lebih kecil pada semua jenis elemen.

3.5 SINTESIS KEKRITISAN *NON-MONOTONIK*

Ringkasan kekritisannya maksimum disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Stress Ratio Maksimum dan Arah Kekritisannya

Jenis elemen	SR maks DAM	SR maks ELM	Lokasi	Interpretasi
Kolom	0,9268	0,9396	Frame 6	ELM lebih kritis (1,38%)
Balok	0,9218	0,9172	Frame 61	DAM sedikit lebih kritis (0,50%)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan ELM menghasilkan nilai paling kritis pada kolom, sedangkan DAM lebih kritis pada balok meskipun selisih antar metode relatif kecil.

4. KESIMPULAN

Pada struktur baja *Powerhouse Crane* di Morowali menunjukkan bahwa dengan geometri, profil, mutu material, kondisi batas, dan kombinasi beban yang sama, ELM menghasilkan momen maksimum kolom 318,4368 kNm dan DAM 312,4806 kNm (selisih 1,91%), sedangkan pada balok momen maksimum ELM 82,9035 kNm dan DAM 82,4823 kNm (selisih 0,51%). *Stress ratio* maksimum kolom sebesar 0,9396 pada ELM dan 0,9268 pada DAM (Frame 6), sementara *stress ratio* maksimum balok sebesar 0,9218 pada DAM dan 0,9172 pada ELM (Frame 61). Seluruh nilai *stress ratio* sampel elemen kurang dari 1,0 sehingga memenuhi persyaratan kekuatan yang ditinjau. Pemeriksaan drift dan stabilitas P-Delta pada model juga memenuhi batas izin, sehingga kesimpulan kekuatan elemen dibaca bersama kinerja global yang memadai. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode ELM sedikit lebih konservatif dibandingkan metode DAM dengan perbedaan yang relatif kecil yaitu 1-2%, hal ini membuktikan bahwa kedua metode masih relevan digunakan. Selanjutnya disarankan untuk penelitian dengan menggunakan sistem struktur yang lebih kompleks untuk dapat membandingkan kedua metode ini dengan lebih spesifik.

DAFTAR RUJUKAN

- American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification for structural steel buildings* (ANSI/AISC 360-16). AISC.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures* (ASCE/SEI 7-16). ASCE.

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020a). *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020b). *SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020c). *SNI 7860:2020 Ketentuan seismik untuk bangunan gedung baja struktural*. BSN.
- Chacón Rojas, G., & Vega Vásquez, A. (2019). Diseño por estabilidad para estructuras de acero y su implicación en el diseño sísmico. *Tecnología Vital*, 2(6), 29–33.
- Dhanya, M. S., & Chidananda, G. (2022). A comparative study on performance of conventional and pre-engineered steel frames subjected to crane load. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 10(10), 49–61. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.46951>
- Erizal, M. I., Suwondo, R., & Suangga, M. (2023). Application of direct analysis method on the long span steel structures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1169(1), 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1169/1/012025>
- Gavrilov, P. A. (2015). Engineering method of forecasting seismic resistance of gantry cranes including possible local damage. *St. Petersburg Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology*, 3(226), 132–141. <https://doi.org/10.5862/JEST.226.15>
- Lisperguier, N., López, Á., & Vielma, J. C. (2023). Seismic performance assessment of a moment-resisting frame steel warehouse provided with overhead crane. *Materials*, 16(7), 2815. <https://doi.org/10.3390/ma16072815>
- Purnomo, H., Orientilize, M., Rahim, S. A., & Priyadi, A. Y. (2019). Numerical study of two low rise eccentrically braced steel frames under Indonesia seismic load using ELM and DAM. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 650(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/650/1/012029>
- Rania, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019). Studi perbandingan stress ratio pada portal baja menggunakan bracing dengan effective length method dan direct analysis method. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 2(2), 141–148. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v2i2.13215>