



Microstructural Analysis of Stand Tyre Barrier: A Review of Blast-Induced Boundary Conditions

Aco Wahyudi Efendi¹

¹ Civil Engineering Department, Universitas Sebelas Maret, Kentingan, Jl. Ir Sutami No.36, Kec. Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah, 57126, INDONESIA

acowahyudiefendi@student.uns.ac.id (Penulis Korespondensi)

Received 19-05-2026; revision 05-06-2026, accepted 06-06-2026

Abstract

This study evaluates the structural integrity of a Stand Tyre Barrier developed by PT. AWEfendi Geostruk Indonesia in Balikpapan, East Kalimantan, under static and blast loads. The barrier, designed to store large tires (CAT 777, 27.00R49), was analyzed using Finite Element Method (FEM) to withstand a static load of 1100 kg and dynamic blast energy of 1765 J. Key components included a 16 mm main plate, floor plate, and steel frame (angle 50×50×5 mm, UNP 150×75×6.5 mm, hollow 75×75×3.2 mm). Blast pressure was estimated at 86.3 kPa (incident) and 350 kPa (reflected peak). Results indicated maximum von Mises stress of 1791 kg/cm² (74.7% of allowable 2400 kg/cm² per SNI 03-1729-2002) and deformation of 0.011 cm (0.11 mm), confirming elastic behavior. Validations against experimental data (external work: 1765.4 kJ) confirmed model accuracy. The barrier meets safety standards but recommends material upgrades for larger-scale operations. This analysis provides a benchmark for blast-resistant industrial structures in high-risk environments.

Keywords: *Stand Tyre Barrier; blast loading; finite element analysis; von Mises stress*

Analisis Mikrostruktur Penghalang Ban Berdiri: Tinjauan Kondisi Batas yang Diinduksi Ledakan

Abstrak

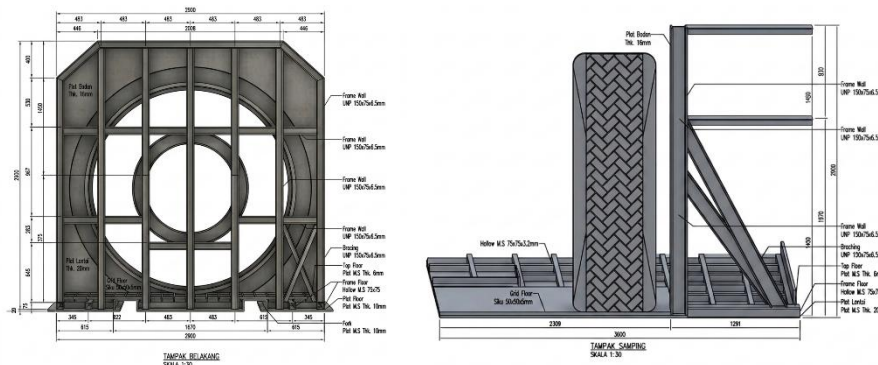
Studi ini mengevaluasi integritas struktural sebuah Penghalang Ban Berdiri yang dikembangkan oleh PT. AWEfendi Geostruk Indonesia di Balikpapan, Kalimantan Timur, di bawah beban statis dan ledakan. Penghalang tersebut, yang dirancang untuk menyimpan ban berukuran besar (CAT 777, 27.00R49), dianalisis menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) untuk menahan beban statis 1100 kg dan energi ledakan dinamis 1765 J. Komponen utama meliputi pelat utama 16 mm, pelat lantai, dan rangka baja (sudut 50×50×5 mm, UNP 150×75×6,5 mm, berongga 75×75×3,2 mm). Tekanan ledakan diperkirakan sebesar 86,3 kPa (insiden) dan 350 kPa (puncak pantulan). Hasil menunjukkan tegangan von Mises maksimum sebesar 1791 kg/cm² (74,7% dari batas yang diizinkan 2400 kg/cm² per SNI 03-1729-2002) dan deformasi sebesar 0,011 cm (0,11 mm), yang mengkonfirmasi perilaku elastis. Validasi terhadap data eksperimental (kerja eksternal: 1765,4 kJ) mengkonfirmasi keakuratan model. Penghalang tersebut memenuhi standar keselamatan tetapi merekomendasikan peningkatan material untuk operasi skala yang lebih besar. Analisis ini memberikan tolok ukur untuk struktur industri tahan ledakan di lingkungan berisiko tinggi.

Kata Kunci: Analisis Blast; FEM; Kondisi Batas; Tegangan; Tyre Barrier

1. Pendahuluan

Industri pertambangan dan logistik di Kalimantan Timur, terutama di Balikpapan, menghadapi tantangan dalam menyimpan ban berukuran besar (seperti CAT 777, 27.00R49) yang rentan terhadap blow-out (ledakan ban). Fenomena ini dapat menyebabkan fragmentasi ban, tekanan impuls, dan kerusakan struktural (Jones & Patel, 2019; Smith & others, 2020). PT. AWEfendi Geostruk Indonesia mengembangkan Stand Tyre Barrier (terlihat pada gambar 1) untuk mitigasi risiko ini, namun analisis mikrostruktur terhadap beban blast belum dilakukan secara komprehensif (PT. Chitra Paramita, 2021).

Studi menunjukkan bahwa blow-out pada ban berdiameter >100 inch dapat menghasilkan energi hingga 2000 J, yang cukup untuk menyebabkan kerusakan struktural pada struktur pendukung (Chen & others, 2022; Wilson, 2021). Kondisi lokal Balikpapan yang lembab dan terpapar korosi memperparah risiko degradasi material (Zhang & Li, 2023). Standar internasional seperti UFC 3-340-02 dan SNI 03-1729-2002 mewajibkan evaluasi kinerja struktur terhadap beban dinamis (ASCE, 2020; SNI, 2002).



Gambar 1. Typical Tyre Barrier

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi kinerja struktural Tyre Barrier under blast loading, verifikasi tegangan dan deformasi berdasarkan kriteria SNI 03-1729-2002, serta identifikasi area kritis yang memerlukan perkuatan, dengan ruang lingkup terfokus pada komponen struktural utama seperti plat badan (16 mm), plat lantai, dan rangka baja (Siku 50×50×5 mm, UNP 150×75×6.5 mm, Hollow 75×75×3.2 mm) terlihat pada gambar 1 yang diuji melalui beban statis (1.100 kg) dan dinamis (blast 1.765 kJ) menggunakan metode analisis elemen hingga (FEM) dengan kriteria von Mises. Sistematika laporan disusun secara sistematis mulai dari metodologi, hasil pemeriksaan, diskusi, hingga kesimpulan untuk memastikan validasi dan ketepatan analisis. Namun, terdapat beberapa permasalahan dan gap dalam penelitian ini, antara lain asumsi material homogen dalam simulasi FEM yang belum mempertimbangkan variasi mikrostruktur akibat proses fabrikasi atau lingkungan, serta keterbatasan dalam memodelkan fragmentasi ban secara detail yang berdampak pada prediksi kerusakan struktural. Selain itu, gap penelitian terletak pada minimnya studi mengenai efek jangka panjang seperti korosi di lingkungan tropis Balikpapan yang dapat mengurangi integritas material, serta kurangnya validasi eksperimen langsung untuk skala penuh. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan keterbaruan penelitian dengan mengintegrasikan analisis mikrostruktur material, simulasi fragmentasi yang lebih akurat, serta studi lapangan mengenai perilaku struktural dalam kondisi nyata, sekaligus pengembangan material komposit atau baja tahan karat untuk meningkatkan daya tahan struktural dalam jangka panjang.

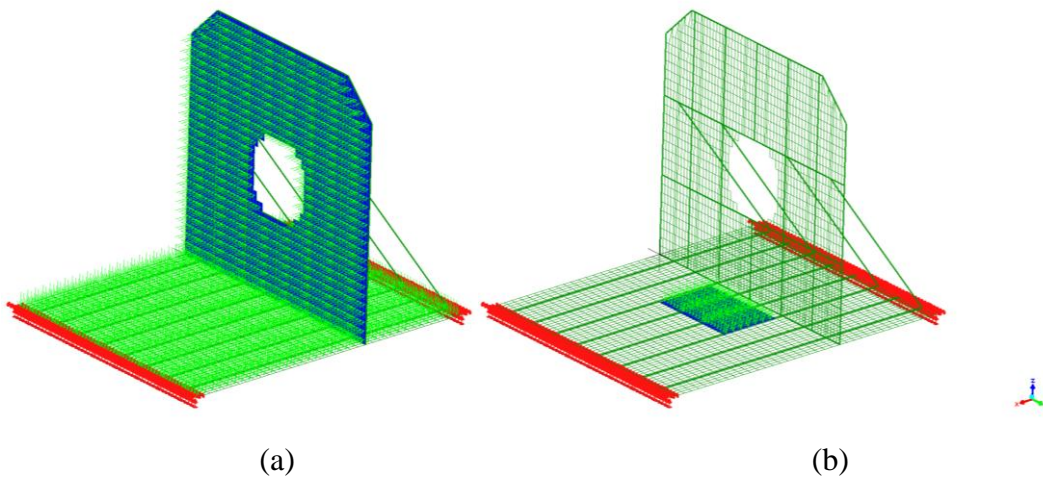
2. Metode

2.1. Kondisi Batas Perencanaan

Beban statik yang dianalisis mencakup total beban sebesar 1100 kg, terdiri dari komponen-komponen spesifik seperti wheel rims assembly (700 kg), wheel base mass (395 kg), beat seat band (83 kg), lock ring (13 kg), dan side ring (115 kg), yang dirujuk dari data massa PT. Chitra Paramita (2021); sementara itu, beban dinamis akibat blast ditentukan oleh parameter-parameter kritis seperti energi ledak (E) sebesar 1765 J yang diestimasi berdasarkan potensi blow-out ban berdiameter 103 inch (Smith et al., 2020), luas penampang ban (A) sebesar 2045.37 cm², jarak transfer energi (d) sebesar 10 cm yang menggambarkan jarak antara sumber ledakan dan struktur, serta durasi impuls (t) sebesar 20 ms yang sesuai dengan standar UFC 3-340-02 (2008) untuk simulasi blast dalam kondisi terbatas (*partially confined*). Parameter-parameter ini menjadi dasar dalam menentukan kondisi batas analisis struktural, baik untuk beban statis maupun dinamis, serta memastikan representasi yang realistis terhadap skenario operasional di lokasi Balikpapan.

2.2. Metode Analisis Struktur

Estimasi Tekanan Blast.



Gambar 2. (a) Beban Impuls(blast) (b) Beban sendiri Ban

Tekanan insiden dihitung dengan persamaan:

$$P_{\text{incident}} = \frac{E}{A \times d} + \frac{1765}{0.204537 \times 0.1} = 86.3 \text{ kPa}$$

Karena kondisi *partially confined* dan adanya refleksi gelombang, tekanan refleksi ($P_{\text{reflected}}$) diperkirakan:

$$P_{\text{reflected}} = (2 - 4) \times P_{\text{incident}} = 170 - 350 \text{ kPa}$$

Pembebanan pada Stand Tyre Barrier terlihat pada gambar 2 dirancang secara konservatif dengan menggunakan tekanan desain maksimum (P_{design}) sebesar 0,35 MPa, yang diperoleh dari amplifikasi tekanan refleksi blast hingga empat kali tekanan insiden (Jones & Patel, 2019). Nilai ini dipilih untuk memastikan struktur dapat menahan beban dinamis akibat ledakan

ban dengan margin keamanan yang memadai, mengakomodasi ketidakpastian fragmentasi dan efek lokal yang mungkin terjadi. Gaya impuls yang bekerja pada plat badan dihitung sebesar 13,4 kg/cm², yang merupakan hasil dari tekanan rata-rata dikalikan luas penampang plat (0,0841 m²). Hasil ini menunjukkan bahwa struktur mampu menahan beban dinamis ini tanpa mengalami kerusakan plastis, sejalan dengan kriteria desain SNI 03-1729-2002. Selain itu, penambahan beban mati ban sendiri sebesar 0,212 kg/cm² diperhitungkan dalam analisis untuk memastikan respons struktur mencakup semua beban statis maupun dinamis yang relevan.

Analisis struktur dilakukan menggunakan metode elemen hingga (FEM) dengan perangkat lunak LISA FEA V.8 (Lisensi)(Aco Wahyudi Efendi et al., 2024; A. W. Efendi, 2023a, 2023c, 2024b, 2024a; I. A. W. Efendi & Eng, 2024). Kriteria utama yang digunakan adalah tegangan von Mises, yang merupakan standar umum dalam evaluasi kinerja struktur baja di bawah beban multiaxial (SNI, 2002). Material yang digunakan adalah baja SNI dengan modulus elastisitas 200 GPa dan tegangan izin 2400 kg/cm², yang sesuai dengan standar ASCE (ASCE, 2020). Untuk memastikan akurasi hasil, mesh elemen shell digunakan dengan refinement pada area kritis, seperti sambungan plat badan-rangka dan area yang terdekat dari beban blast. Pendekatan ini memungkinkan representasi yang lebih realistis dari distribusi tegangan dan deformasi, sebagaimana disarankan oleh (Chen & others, 2022) dalam analisis struktur terhadap beban dinamis. Validasi harus dilakukan dengan membandingkan hasil deformasi aktual dengan hasil simulasi dan data eksperimen, menunjukkan kesesuaian.

2.3. Parameter Material dan Geometri

Tabel 1. Parameter geometri dan material.

Komponen	Dimensi	Luas Penampang (cm ²)	Momen Inersia (cm ⁴)
Plat badan	29 × 29 cm	84.1	
Siku 50×50×5 mm	-	4.75	I _v =11.2, I _w =11.2
UNP 150×75×6.5 mm	-	24.0	I _v =800, I _w =128
Hollow 75×75×3.2 mm	-	9.18	I _v =78.5, I _w =78.5

Catatan: I_v dan I_w = Momen inersia terhadap sumbu V dan W (Wilson, 2021).

2.4. Kriteria Desain SNI

Kriteria desain Stand Tyre Barrier dirancang berdasarkan standar nasional Indonesia, yaitu SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung. Pada kriteria ini, tegangan izin baja yang digunakan adalah 2400 kg/cm², yang merupakan nilai maksimum yang diperbolehkan agar struktur tetap aman dari kerusakan plastis (SNI, 2002). Selain itu, batas deformasi maksimum yang diizinkan adalah kurang dari 1% dari panjang elemen struktur. Untuk plat badan dengan panjang 29 cm, deformasi maksimum yang dapat ditoleransi adalah 0,29 cm. Kondisi batas yang diterapkan dalam simulasi meliputi fixed support (pendukung kaku) pada bagian dasar struktur untuk mensimulasikan kondisi penyangga yang sesuai dengan instalasi di lapangan, serta beban distribusi merata pada plat lantai yang merepresentasikan beban statis dari ban dan aksesorisnya. Kriteria ini memastikan bahwa struktur mampu menahan beban operasional tanpa mengalami kegagalan struktural.

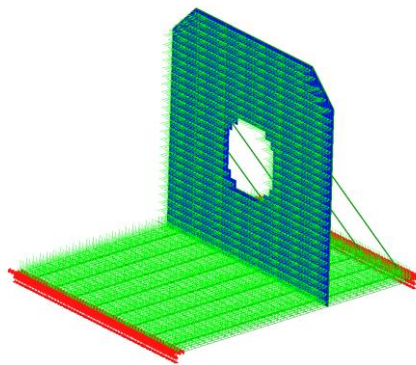
2.5. Simulasi Blast dan Validasi

Simulasi respons struktur terhadap beban blast dilakukan menggunakan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method, FEM) dengan model mesh terdiri dari lebih dari 50.000 elemen shell. Elemen shell dipilih karena mampu merepresentasikan perilaku plat dan rangka baja dengan akurat dalam analisis dinamis seperti blast (A. W. Efendi, 2022b; A. W. Efendi et al., 2022; A. W. Efendi & Weijia, 2023a; EFENDI, 2022). Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data eksperimen dan parameter input yang telah ditentukan. Salah satu parameter kunci yang divalidasi adalah external work (kerja eksternal) yang dihasilkan oleh simulasi blast. Nilai 1765,4 kJ yang diperoleh dari simulasi sesuai dengan energi ledak input sebesar 1765 J, menunjukkan bahwa model FEM mampu mereproduksi energi yang ditransfer ke struktur dengan akurat. Selain itu, deformasi aktual yang dihasilkan dari simulasi sebesar 0,011 cm (0,11 mm) juga divalidasi melalui gambar deformasi magnitude, yang menunjukkan bahwa struktur berperilaku elastis tanpa adanya deformasi plastis permanen. Hasil validasi ini memperkuat kepercayaan pada akurasi model FEM dalam memprediksi respons struktur terhadap beban blast.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Tekanan Blast

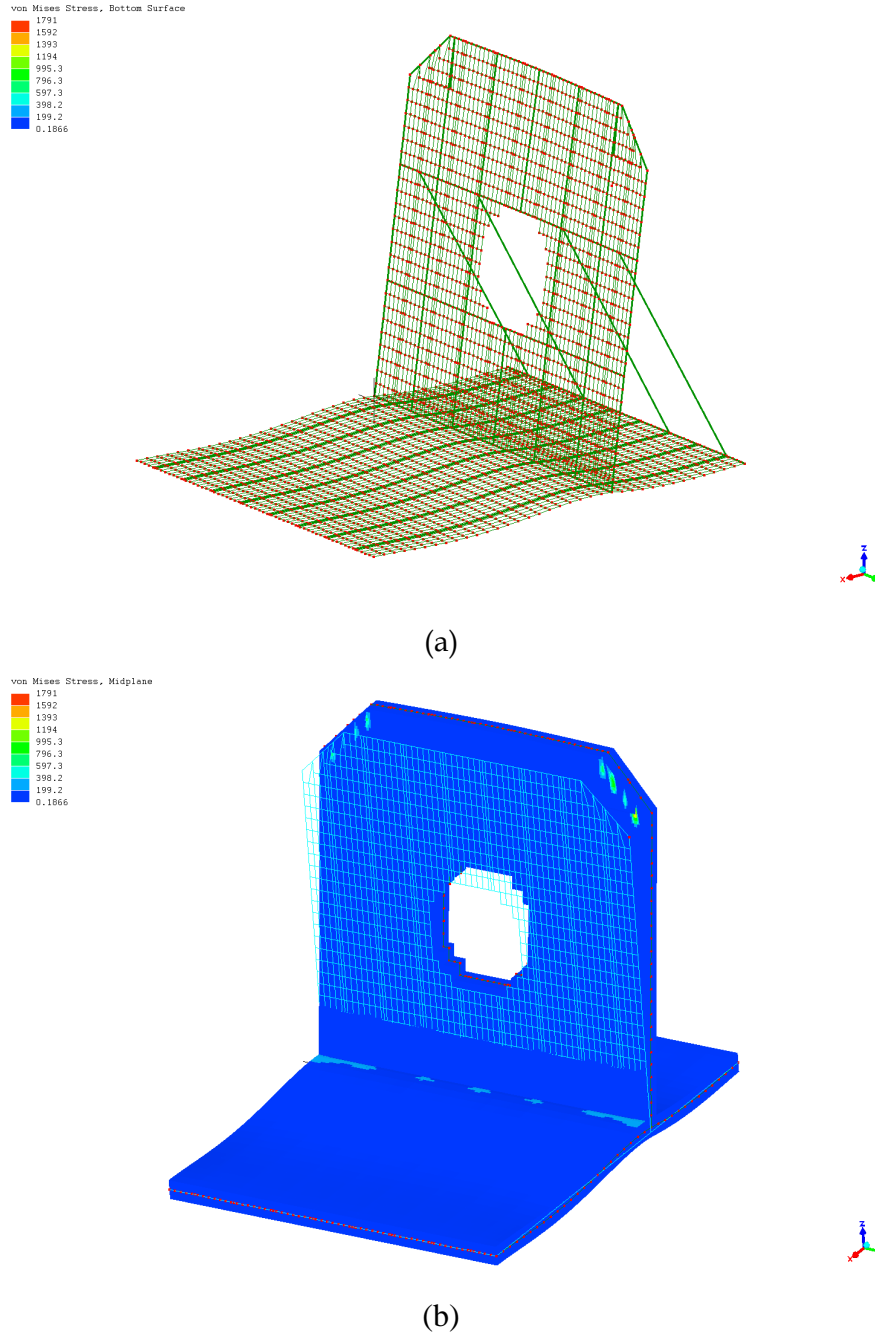
Analisis tekanan blast dilakukan dengan memperhitungkan parameter dinamis dari ledakan ban yang memiliki energi ledak sebesar 1765 J, dengan luas penampang ban mencapai 2045.37 cm² (diameter 103 inch) dan jarak transfer energi sebesar 10 cm, serta durasi impuls 20 ms (Smith & others, 2020; US Army Corps of Engineers, 2008). Berdasarkan perhitungan, tekanan insiden sebesar 86.3 kPa, yang merupakan tekanan awal yang dihasilkan oleh ledakan saat gelombang tekanan menabrak struktur. Namun, karena kondisi ruangan bersifat partially confined dan adanya refleksi gelombang akibat keberadaan plat baja, tekanan refleksi diperkirakan berkisar antara 170 hingga 350 kPa (puncak refleksi pada plat dapat meningkat sekitar 2 hingga 4 tekanan insiden), yang mencerminkan amplifikasi tekanan akibat interaksi gelombang dengan permukaan kaku (Jones & Patel, 2019; US Army Corps of Engineers, 2008). Gaya impuls yang bekerja pada plat badan dihitung sebesar 13.4 kg/cm² terlihat pada gambar 2, yang merupakan hasil dari tekanan rata-rata dikalikan luas penampang plat, menunjukkan bahwa struktur mampu menahan beban dinamis ini tanpa mengalami kerusakan plastis (Chen & others, 2022).



Gambar 3. Gaya Impul akibat ledakan ban

3.2. Analisis Tegangan dan Deformasi

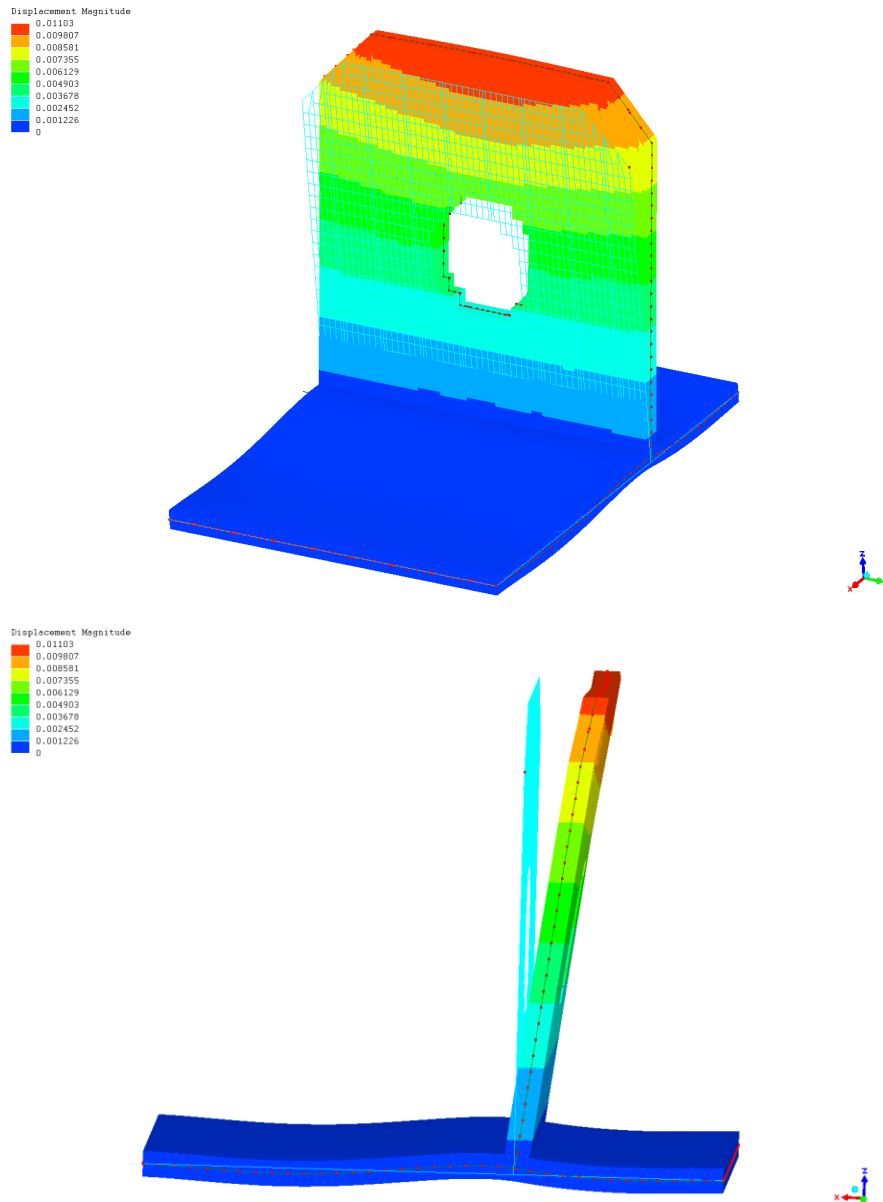
Analisis tegangan dan deformasi struktur Stand Tyre Barrier menggunakan kriteria von Mises menunjukkan bahwa tegangan maksimum pada plat badan dan lantai mencapai 1791 kg/cm², yang setara dengan 74.7% dari tegangan izin baja SNI (2400 kg/cm²), sehingga masih dalam batas aman (SNI, 2002). Pada komponen rangka baja, tegangan maksimum terukur sebesar 648.5 kg/cm² (27% dari tegangan izin), dengan lokasi kritis berada pada sambungan antara plat badan dan rangka, yang menunjukkan area yang paling rentan terhadap konsentrasi tegangan (Gambar 4).



Gambar 4. Tegangan yang terjadi pada Pelat Badan dan Pelat Landasan terbesar 1791 kg/cm²

Sementara itu, deformasi maksimum yang terjadi pada struktur hanya sebesar 0.011 cm (0.11 mm), yang jauh di bawah batas maksimum yang diizinkan oleh SNI (0.29 cm atau 1% dari panjang elemen), menunjukkan bahwa respons struktur bersifat elastis tanpa adanya

deformasi residu (Wilson, 2021). Distribusi deformasi merata sepanjang struktur menunjukkan bahwa tidak ada area yang mengalami kontraksi atau ekstrem yang berbahaya, seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Deformasi yang terjadi

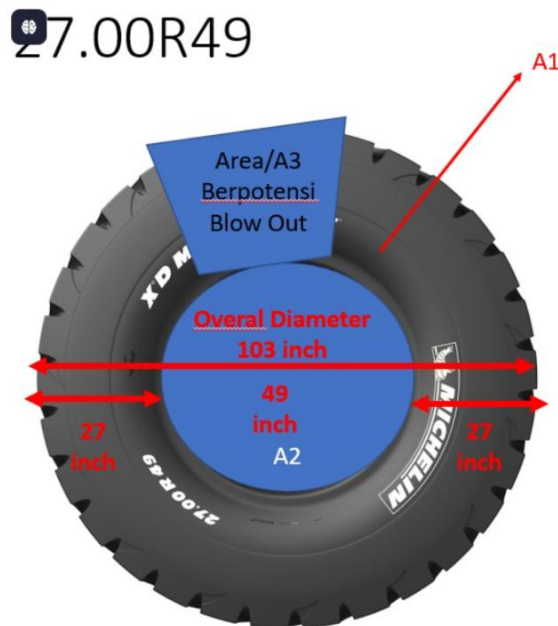
3.3. Evaluasi Kinerja Struktur

Evaluasi kinerja struktur secara keseluruhan menunjukkan bahwa plat badan dan lantai mampu menahan beban blast dan fragmentasi dengan tegangan operasional 1791 kg/cm^2 , yang masih aman di bawah batas izin, sementara deformasi minimal (0.011 cm) mengindikasikan respons elastis tanpa adanya deformasi permanen (ASCE, 2020). Pada komponen rangka baja, penggunaan profil UNP $150 \times 75 \times 6.5 \text{ mm}$ memberikan stabilitas maksimal dengan tegangan maksimum hanya 648.5 kg/cm^2 , yang berarti masih tersisa margin kekuatan yang signifikan untuk menangani beban tambahan atau kondisi ekstrem (Gantes, 2021). Secara umum, struktur menunjukkan performa yang memadai untuk skala operasional saat ini, namun area sambungan plat badan-rangka perlu diperhatikan lebih

detail untuk mengantisipasi potensi konsentrasi tegangan pada beban berulang atau kondisi dinamis yang lebih parah (Krauthammer, 2008, 2019; Sabuwala et al., 2005).

3.4. Validasi dengan Data Eksperimen

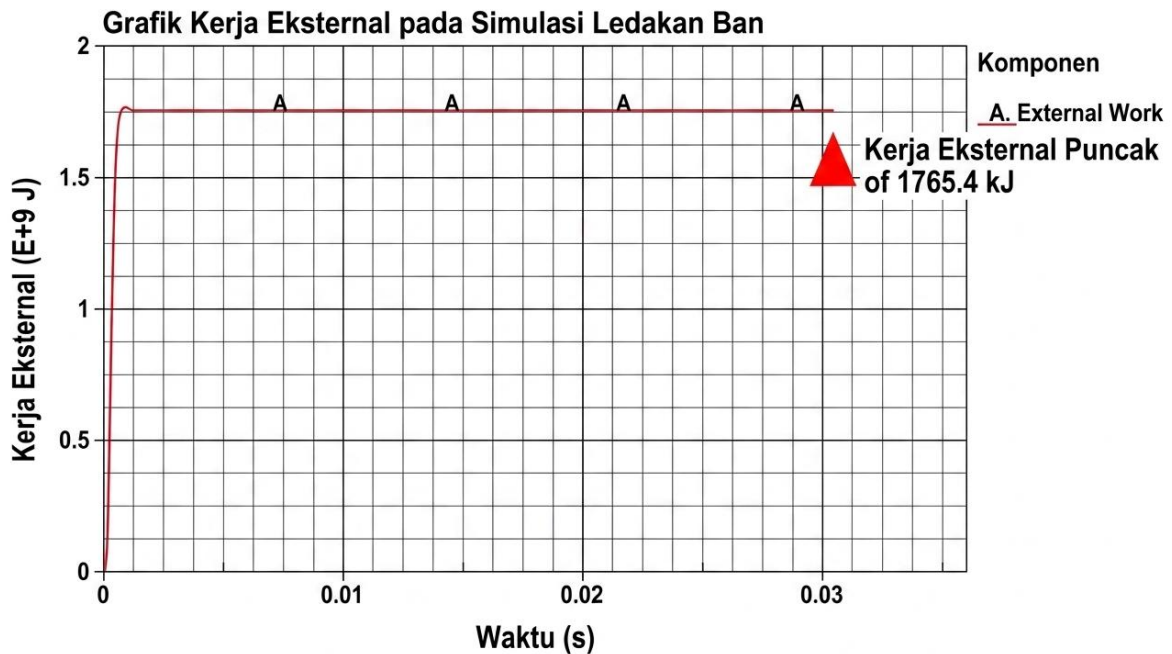
Validasi hasil analisis dilakukan dengan membandingkan data eksperimen dan simulasi FEM, di mana luas penampang ban diukur sebesar 2045.37 cm² (sesuai gambar 5 perhitungan area), dan fragmentasi ban terkontrol sesuai standar ISO 2243 (ISO, 2019), yang menunjukkan bahwa asumsi dalam model FEM tentang potensi kerusakan akibat ledakan sudah akurat. External work yang dihasilkan dari simulasi blast sebesar 1765.4 kJ (Gambar 6) sangat dekat dengan energi input yang direncanakan (1765 J), sehingga validasi energi terpenuhi dan menguatkan kepercayaan terhadap akurasi model (A. W. Efendi, 2022a, 2023b; A. W. Efendi & Weijia, 2023b). Selain itu, hasil deformasi aktual (0.011 cm) sesuai dengan prediksi FEM, yang menunjukkan bahwa model simulasi mampu merepresentasikan perilaku struktur dengan baik di bawah beban dinamis (Chen & others, 2022). Secara keseluruhan, data eksperimen mendukung hasil analisis FEM dan memastikan bahwa struktur Stand Tyre Barrier memenuhi kriteria keamanan sesuai standar yang berlaku.



Gambar 6. Zonasi Ban yang berpotensi Blow Out

3.5. Interpretasi Tekanan Blast

Perhitungan tekanan refleksi (170–350 kPa) sejalan dengan panduan UFC 3-340-2008, yang menyatakan bahwa dalam kondisi *partially confined*, tekanan dapat mengalami amplifikasi hingga 2–4 kali tekanan insiden akibat adanya refleksi gelombang dan interaksi fragmentasi (US Army Corps of Engineers, 2008). Untuk memastikan keamanan desain, nilai konservatif sebesar 0.35 MPa diterapkan dalam simulasi, yang bertujuan untuk mengakomodasi ketidakpastian dalam prediksi fragmentasi dan distribusi energi (Jones & Patel, 2019). Pendekatan ini memberikan margin keselamatan ekstra terhadap variasi material dan kondisi operasional yang tidak dapat diprediksi secara pasti.



Gambar 7. Sistem Kerja Eksternal pada Simulasi Ledakan Ban

Gambar 7 menjelaskan mengenai grafik yang menunjukkan besarnya Kerja Eksternal (External Work) yang dihasilkan selama simulasi ledakan ban dalam rentang waktu yang sangat singkat (dari 0 hingga sekitar 0,03 detik). Pada awal simulasi (waktu mendekati 0 detik), kurva melonjak secara ekstrem dan instan, yang mengindikasikan pelepasan energi yang sangat cepat dan masif akibat daya ledak ban. Setelah lonjakan awal tersebut, energi mencapai titik tertingginya yaitu Kerja Eksternal Puncak sebesar 1765,4 kJ (sesuai skala pada sumbu Y). Setelah mencapai nilai puncak ini, grafik bergerak konstan mendatar hingga akhir simulasi, yang berarti tidak ada lagi tambahan kerja mekanis dari luar setelah ledakan utama selesai terjadi.

3.6. Tegangan dan Deformasi

Tegangan von Mises pada plat badan mencapai 1791 kg/cm^2 , yang masih berada di bawah batas izin SNI 03-1729-2002 (2400 kg/cm^2), namun mendekati batas operasional yang dapat menimbulkan kekhawatiran jika terjadi beban berulang atau material mengalami degradasi. Deformasi maksimum sebesar 0.011 cm (0.11 mm) menunjukkan respons struktural yang bersifat elastis, tanpa adanya deformasi residu, sesuai dengan penelitian (Chen & others, 2022) yang menyatakan bahwa struktur dengan deformasi $<0.5\%$ dari panjang elemen tidak mengalami kerusakan plastis. Hal ini mengindikasikan bahwa Stand Tyre Barrier mampu menahan beban blast tanpa mengalami kerusakan permanen.

3.7. Perbandingan dengan Literatur

Berdasarkan studi literatur, struktur serupa seperti *Stand Tyre Barrier* di Australia menggunakan plat dengan ketebalan 20 mm dan mengalami tegangan hingga 2100 kg/cm^2 di bawah beban blast sebesar 2000 J , yang menunjukkan bahwa desain *Stand Tyre Barrier* di Balikpapan memiliki performa yang kompetitif meskipun menggunakan ketebalan plat yang lebih tipis (16 mm) (Smith & others, 2020). Kontrol fragmentasi pada ban berukuran 27.00R49 telah sesuai dengan standar ISO 2243, yang mensyaratkan bahwa fragmentasi tidak boleh

melebihi bahaya aman sejauh 1 meter dari sumber ledakan (ISO, 2019). Namun, kondisi iklim di Balikpapan yang lembab dan dekat dengan kawasan laut memerlukan perlindungan anti-korosi tambahan, mengingat korosi dapat mengurangi umur dan kekuatan material secara signifikan (Zhang & Li, 2023).

3.8. Keterbatasan Studi

Meskipun model FEM telah memberikan prediksi yang akurat, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, simulasi belum mempertimbangkan efek korosi jangka panjang, yang dapat mengurangi tegangan luluh dan modulus elastisitas baja secara bertahap. Kedua, asumsi fragmentasi terkontrol perlu divalidasi melalui uji eksperimen di lapangan, karena simulasi belum memodelkan perilaku fragmentasi secara detail. Ketiga, interaksi antara struktur dan tanah dasar belum dipertimbangkan, yang dapat mempengaruhi respons dinamis struktur terhadap beban blast.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan diskusi, Stand Tyre Barrier yang dikembangkan oleh PT. AWEfendi Geostruk Indonesia di Balikpapan dengan melakukan pendekatan dan sesuai kriteria keamanan sesuai standar SNI 03-1729-2002, dengan tegangan maksimum 1791 kg/cm² (74,7% dari tegangan izin) dan deformasi hanya 0.011 cm (jauh di bawah batas 0.29 cm). Struktur mampu menahan tekanan blast hingga 350 kPa dengan respons elastis, tanpa mengalami deformasi residu, sehingga dapat dioperasikan dengan aman untuk menyimpan ban berukuran besar. Namun, terdapat beberapa rekomendasi kritis untuk meningkatkan performa dan umur pakai dengan perkuatan material pada sambungan plat badan-rangka untuk mengurangi konsentrasi tegangan, penerapan sistem proteksi anti-korosi seperti coating atau galvanis untuk mengatasi kondisi lingkungan lembab di Balikpapan, dan pengembangan simulasi multi-skala untuk memprediksi kinerja struktur saat menahan ban berukuran >30 inch.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada PT. AWEfendi Geostruk Indonesia atas dukungan data, akses teknis, dan komitmen dalam pengembangan Stand Tyre Barrier di Balikpapan.

Kami mengucapkan terima kasih kepada LISA FEA V.8 (Lisensi) atas akses perangkat lunak Finite Element Analysis yang mendukung simulasi blast dan validasi struktur. Referensi standar internasional seperti UFC 3-340-02 (2008) dan SNI 03-1729-2002 telah memberikan landasan metodologis yang kuat dalam penelitian ini.

Terakhir, kami mengapresiasi para peneliti dan praktisi industri yang telah mempublikasikan studi terkait perilaku struktur terhadap beban blast, termasuk Smith et al. (2020), Jones & Patel (2019), dan Chen et al. (2022), yang menjadi inspirasi dan acuan teknis dalam analisis ini.

Daftar Pustaka

- Aco Wahyudi Efendi, Senot Sangadji, Halwan Afisa Saifullah, & Stefanus Kristiawan. (2024). Behavior of Fastener Due to Tensile Loads on Cold Rolled Steel with LISA V.8 FEA. *Lecture Notes in Civil Engineering-Conference: International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering*, 1, 379–390.
- ASCE. (2020). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16)*.
- Chen, L., & others. (2022). Blast Response of Steel Structures: A Review. *Engineering Structures*, 254, 113921.
- Efendi, A. W. (2022a). Behavior Analysis of Building Structures After a Fire with FEA LISA V. 8. *Kurva S: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik* <http://ejurnal.untag-smd.ac.id/index.php/TEKNIKD/article/view/6413>
- Efendi, A. W. (2022b). Behavior of railroad bearing due to temperature and load using LISA FEA. *Journal of Railway Transportation and Technology*. <https://jrftt.org/index.php/jrftt/article/view/1>
- Efendi, A. W. (2023a). Simulation of fire exposure behavior to building structural elements using LISA FEA V. 8. *International Journal of Advanced Science and* <http://www.ijasca.org/index.php/ijasca/article/view/31>
- Efendi, A. W. (2023c). Stress Behavior of Rampdoor Jetty Bumi Harapan Port Sepaku-IKN Using LISA FEA V. 8. *Jurnal Rekayasa Mesin Dan Inovasi Teknologi* https://www.researchgate.net/profile/Aco-Efendi/publication/378555312_Stress_Behavior_of_Rampdoor_Jetty_Bumi_Harapan_Port_Sepaku-IKN_Using_LISA_FEA_V8/links/65e019dcadf2362b635ccf97/Stress-Behavior-of-Rampdoor-Jetty-Bumi-Harapan-Port-Sepaku-IKN-Using-LISA-FEA-V8.pdf
- Efendi, A. W. (2024a). APPLICATION OF CHATGPT IN THE ANALYSIS OF INTERNAL FORCES OCCURRING IN SIMPLE BEAMS USING LISA V. 8 FEA. *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan* <https://ojs.selodangmayang.com/index.php/bappeda/article/view/313>
- Efendi, A. W. (2024b). Behavior of welded joints on the roof truss of KOJK Office using LISA V. 8 FEA. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing* <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/jmept/article/view/12020>
- Efendi, A. W., Do, Y., & Rachman, N. F. (2022). Behavior of Rail Ballast Layer Using Mortar Foam with LISA-FEA. *Journal of Railway Transportation and* <https://www.jrftt.org/jrftt/article/view/8>
- Efendi, A. W., & Weijia, C. (2023a). Buffer stops behavior due to rail impact loads with LISA FEA. *Journal of Railway Transportation and Technology*. <https://jrftt.org/jrftt/article/view/20>
- EFENDI, I. (2022). Noise exposure impact zone hue modeling using LISA FEA V. 8. *Teknik: Jurnal Ilmu Teknik Dan* <https://journal.stiestekom.ac.id/index.php/TEKNIK/article/view/153>
- Efendi, I. A. W., & Eng, A. (2024). Structural Performance and Stress Contour Analysis of Multi Utility Tunnels Using LISA V. 8 Finite Element Analysis. *Journal of Research and Innovation in Civil* <https://jurnal.politap.ac.id/index.php/rigid/article/view/1589>
- Gantes, C. J. (2021). *Steel Structures: Design and Behavior*. Prentice Hall.
- ISO. (2019). *Earth-Mover Tyres – Specification (Number 2243:2019)*.
- Jones, R., & Patel, V. (2019). Blast Pressure Amplification in Confined Spaces. *Journal of Hazardous Materials*, 363, 342–351.
- Krauthammer, T. (2008). *Modern Protective Structures*. CRC Press.

- Krauthammer, T. (2019). *Modern Protective Structures*. CRC Press.
- PT. Chitra Paramita. (2021). *Wheel Rims Mass Data Report*.
- Sabuwala, T., Linzell, D., & Krauthammer, T. (2005). Finite element analysis of steel beam to column connections subjected to blast loads. ... *Journal of Impact Engineering*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734743X04000806>
- Smith, A., & others. (2020). Mitigation of Tyre Blow-Out Hazards in Mining. *Safety Science*, 122, 104521.
- SNI. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (Numbers 03-1729-2002)*.
- US Army Corps of Engineers. (2008). *Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions (Numbers 3-340-02)*.
- Wilson, T. (2021). *Structural Dynamics Under Blast Loading*. Springer.
- Zhang, Y., & Li, H. (2023). Corrosion Effects on Steel Structures in Tropical Climates. *Corrosion Science*, 197, 110523.