

Evaluasi Kegagalan Material pada *Wheel Bogie-Bucket Wheel Excavator* (BWE) Berdasarkan Analisis Deformasi Struktural

Romi Okisyaputra¹, Irza Sukmana¹, dan Rizal Adi Saputra^{1,*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brodjonegoro, No. 1, Gedong Meneng, Bandar Lampung 35145, Indonesia

*) e-mail Corresponding : rizaladisa@eng.unila.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Article history:

Published : 15-05-2025

Kata kunci :

Wheel Bogie;

Bucket Wheel Excavator;

Kegagalan material;

Deformasi;

Analisis spektro;

Alat tambang berbasis *Bucket Wheel Excavator* (BWE) banyak digunakan dalam operasi penambangan berkelanjutan. Salah satu komponen utama pada peralatan ini adalah *Wheel Bogie*, yang berfungsi menopang beban besar selama proses kerja. Komponen tersebut kerap mengalami tekanan signifikan di lapangan sehingga rentan terhadap keausan maupun kerusakan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan material *Wheel Bogie* terhadap beban statis dan dinamis, memastikan kemampuannya menahan beban tanpa mengalami deformasi atau kegagalan struktural, serta mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kerusakan selama pengoperasian. Metode penelitian meliputi pengamatan visual serta uji spektrometri untuk mengetahui komposisi unsur paduan pada material. Berdasarkan pengujian terhadap tujuh sampel *Wheel Bogie*, ditemukan empat jenis kegagalan material, yaitu kelelahan (*fatigue*), keausan (*wear*), korosi (*corrosion*), serta retakan mikro maupun makro. Hasil analisis menegaskan bahwa evaluasi karakteristik material sangat penting untuk menjaga keandalan struktural dan memperpanjang umur pakai komponen. Oleh karena itu, peningkatan kualitas material direkomendasikan untuk mengurangi konsentrasi tegangan dan meningkatkan ketahanan terhadap beban operasional.

1. Pendahuluan

Crawler travel gear (Roda penggerak *crawler*) memiliki keunggulan dibandingkan roda, dalam hal distribusi bobot kendaraan yang kuat di medan lunak. Kelemahan Roda penggerak *crawler* dapat merusak jalan beraspal dan memiliki desain yang rumit sehingga, mengingat beban yang sangat besar yang harus ditanggungnya, keandalannya harus ditentukan dan diverifikasi. Bagian utama dari rakitan ini adalah roda penggerak, yang menggerakkan *crawler*, dan struktur pendukung yang menopang bogie roda empat dan bogie roda dua [1].

Kemungkinan pengujian konstruksi nyata seringkali terbatas, terutama untuk konstruksi berukuran besar. Ide pengujian model adalah untuk membuat model subskala guna mengantisipasi perilaku konstruksi nyata, dengan memperhatikan perilaku model, dengan akurasi yang memadai. pengujian model struktur ekskavator *bucket wheel*, dari aspek kekuatan konstruksi, dimungkinkan. Hasil pencocokan yang tinggi diperoleh dari dua metode eksperimen di satu sisi, dan perhitungan numerik di sisi

lainnya. Model fisik dan eksperimen yang berhasil dilakukan menegaskan bahwa struktur ini dapat diuji modelnya [2].

Analisis struktural struktur besar seperti ekskavator *bucket wheel* (BWE) umumnya dilakukan menggunakan analisis elemen hingga dan dinilai berdasarkan porsi batas luluh material. Akibatnya, suatu struktur dievaluasi hanya berdasarkan tegangan maksimum pada lokasi tertentu [3].

Simulasi FE menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan secara signifikan meningkatkan tegangan *von Mises* dan tekanan kontak, dengan nilai tertinggi pada 1,0 m/s, dan menyebabkan tegangan utama *roller* bergeser dari tekan menjadi tarik. Parameter operasional optimal ditemukan pada kecepatan translasi *roller* ekskavator sebesar 0,75 m/s dan beban tekanan yang diberikan sebesar 200 MPa [4]. Subsistem pengangkut material adalah kontributor tertinggi dalam jumlah total kegagalan mekanis dan listrik, serta dalam total waktu henti berdasarkan pendekatan kuantifikasi risiko yang konsisten untuk *bucket wheel excavators* (BWE) [5].

Penyesuaian pemberat pada *bucket wheel stacker reclaimer* sangat penting untuk kapasitas menahan beban,

getaran, dan stabilitas keseluruhan peralatan. Untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan operasional sekaligus mengurangi tingkat kegagalan dan biaya perawatan sehingga memerlukan *Finite Element Analysis* (FEA) dan *Multibody Dynamics* (MBD) *software* untuk mengembangkan model kopling kaku-fleksibel dari *bucket wheel stacker reclaimer* [6].

Prediksi *fatigue* pada *excavator turntables*, komponen kritis yang rentan terhadap kegagalan akibat beban operasional yang bervariasi. Meskipun metode konvensional seperti analisis elemen hingga (FEA) dan kriteria kelelahan multiaksial telah digunakan, metode tersebut dibatasi oleh kompleksitas dan biaya untuk memperoleh spektrum beban operasional yang nyata. Area yang rentan terhadap konsentrasi tegangan dan kelelahan, memberikan wawasan berharga untuk optimasi desain dan peningkatan daya tahan [7].

Bucket ekskavator hidrolik industri merupakan salah satu komponen kunci dalam ekskavator. Mengingat kemampuan konstruksi model yang buruk dari metode simulasi kekuatan dan kelelahan *bucket* ekskavator hidrolik industri saat ini, yang menyebabkan perbedaan besar antara hasil simulasi dan hasil pengukuran, metode simulasi kekuatan dan kelelahan *bucket* baru untuk ekskavator hidrolik industri dirancang. Desain parametrik *bucket* ekskavator hidrolik industri diselesaikan dengan menggunakan teknologi ADAMS/View [8].

Pada penelitian ini dilakukan analisis kegagalan material dan struktural pada *Wheel Bogie*, proses analisis dilakukan dengan cara memilih spesimen *Wheel Bogie* yang mengalami kegagalan material dan struktural.

2. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang pertama yaitu menentukan komponen yang akan dianalisis, selanjutnya analisis material dan kegagalan struktural dilakukan untuk pengambilan data

2.1 Komponen Penelitian

Komponen yang menjadi obyek penelitian yaitu komponen *Wheel Bogie*. Komponen *Wheel Bogie* merupakan pasangan dari *cam drive* yang keduanya dapat berputar secara bersamaan. Pada *Bucket Wheel Excavator* (BWE), penggunaan roda berbentuk *Wheel Bogie* dipilih karena desainnya yang fleksibel dan memiliki keseimbangan yang baik. Untuk mencegah kegagalan mekanis akibat perbedaan sifat mekanik antara *cam drive* dan *Wheel Bogie*, material serta sifat mekanik *Wheel Bogie* dibuat serupa dengan *cam drive*. Hal ini memastikan keselarasan performa dan keandalan komponen selama operasi alat berat tersebut. Komponen *Wheel Bogie* dapat ditunjukkan pada gambar yaitu sebagai berikut,



Gambar 1. *Wheel Bogie*-*Bucket Wheel Excavator* (BWE)

2.2 Material *Wheel Bogie*

Berdasarkan data pada LogBook, material *Wheel Bogie* pada *Bucket Wheel Excavator* (BWE) yaitu menggunakan material berjenis ASTM A387 Grade 11, yaitu baja paduan krom-molibdenum yang dirancang untuk menahan tekanan dan suhu tinggi. Material ini mengalami proses *oil quenching* dan *tempering* untuk memperoleh keseimbangan antara kekerasan dan elastisitas. Dengan kekuatan tarik 485–620 MPa dan kekuatan luluh minimal 310 MPa, material ini mampu menahan beban hingga 554 ton pada sistem 16 *Wheel Bogie* dalam satu unit BWE. Kombinasi sifat mekanis tersebut menjadikan material ini tahan deformasi dan andal dalam kondisi operasi berat.

ASTM A387 Grade 11 merupakan baja paduan rendah yang banyak digunakan pada aplikasi struktural dan komponen alat berat karena memiliki kekuatan tinggi dan ketahanan aus yang baik. Kandungan kromium (Cr), molibdenum (Mo), dan mangan (Mn) di dalamnya meningkatkan kemampuan material dalam menahan beban dinamis serta memperkuat proses pengerasan. Melalui perlakuan panas *quenching* dan *tempering*, baja ini memperoleh sifat mekanis yang unggul, sehingga menjadi material ideal untuk *Wheel Bogie* pada *Bucket Wheel Excavator* (BWE). Adapun komposisi kimia pada material ASTM A387 grade 11 ditunjukkan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 1. Komposisi kimia material ASTM A387 grade 11

Unsur	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo
Max	0,05	0,5	0,4	-	-	1	0,45
Min	0,17	1	0,65	0,035	0,035	1,5	0,65

Sifat material ASTM A387 grade 11 berdasarkan data logbook yaitu ditunjukkan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 2. Sifat Mekanik Material ASTM A387 grade 11

<i>Tensile Strength</i>	<i>Hardness Brinell</i>	<i>Yield Strength</i>
415-585 MPa	25 HB	240 MPa

Berdasarkan tabel 1 dan tabel 2 menjadi bahan referensi sebagai analisis data lebih lanjut untuk dijadikan studi kasus dilapangan sebagai obyek penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan yaitu komponen *Wheel Bogie* pada *Bucket Wheel Excavator* (BWE) yang berada di workshop Satuan Kerja Rekayasa Engineering dan Manufaktur (REM) PT Bukit Asam menggunakan material ASTM A387 Grade 11 sebagai bahan utama, karena kemampuan menahan beban konstan, serta menopang beban bogie dan poros (shaft). Material ini juga melalui proses forging untuk meningkatkan ketahanan pada area yang menerima beban tinggi. Proses tersebut menyebabkan penurunan kadar karbon pada lapisan permukaan luar, sehingga material menjadi lebih ulet dan mampu menahan deformasi.

Komponen *Wheel Bogie* mengalami keausan akibat gesekan terus-menerus antara permukaan logam dan partikel keras, yang secara visual tampak sebagai hilangnya material pada penampang. Dalam penerapannya pada *Bucket Wheel Excavator* (BWE), dibutuhkan material dengan kekerasan dan ketahanan aus tinggi agar mampu bekerja optimal di lapangan. Unsur paduan seperti Mn dan Cr meningkatkan kekerasan dan wear resistance, sedangkan Mo, Ni, dan Si turut memperkuat daya tahan material terhadap deformasi dan kerusakan permukaan.

Di lingkungan tambang, ketahanan terhadap korosi juga sangat penting. Unsur Cr, Mo, Ni, dan Cu memberikan perlindungan yang lebih baik, terutama pada material LDX 2101 dengan filler ER307 atau ER2209, dibandingkan dengan ASTM A387 Grade 11. Peningkatan kekerasan dan ketahanan aus harus diimbangi dengan perlindungan korosi untuk mencegah degradasi jangka Panjang.



Gambar 2. *Wheel Bogie*-*Bucket Wheel Excavator* (BWE)

3.1. Analisis Material

Material yang digunakan pada *Wheel Bogie* ini adalah ASTM A387 Grade 11, dengan kadar karbon sebesar 2,29% dimana material ini merupakan *cast iron*. Berikut merupakan komposisi kimia pada material *Wheel Bogie* setelah dilakukan pengujian spektro, hasil komposisi kimia ditunjukkan pada tabel 1 yaitu sebagai berikut,

Tabel 3. Komposisi Kimia Material *Wheel Bogie*

Material	Fe%	C%	Mn%	Cr%	Mo%	Si%	Ni%	Cu%
ASTM A387 Grade 11	94.81	2.29	0.621	0.875	0.702	0.44	0.191	ND

Perbandingan sesuai dengan data *logbook* didapatkan data komposisi kimia ditunjukkan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 4. *Chemical Properties* Material per Standar

Properties	Jumlah Kadar Min - Max
C	0.05 – 0.17
Mn	0.4 – 0.65
Cr	1 – 1.5
Mo	0.45 – 0.65
Si	0.5 – 0.8
S	0.025
P	0.025
Cu	0.35
Ni	0.30

Selanjutnya pada hasil pengujian data *mechanical properties* menggunakan uji tarik yang ditunjukkan pada tabel sebagai berikut,

Tabel 5. *Mechanical Properties* Material per Standar

Properties	Nilai
<i>Tensile Strenght</i>	520 MPa
<i>Yield Strenght</i>	260 MPa
<i>Modulus Elastisitas</i>	1,5 GPa

Selanjutnya hasil data pengujian tarik dibandingkan dengan referensi *logbook* pada material *Wheel Bogie* yaitu sebagai berikut,

Tabel 6. Sifat Mekanik Material ASTM A387 grade 11

<i>Tensile Strength</i>	<i>Hardness Brinell</i>	<i>Yield Strength</i>
415-585 MPa	25 HB	240 MPa

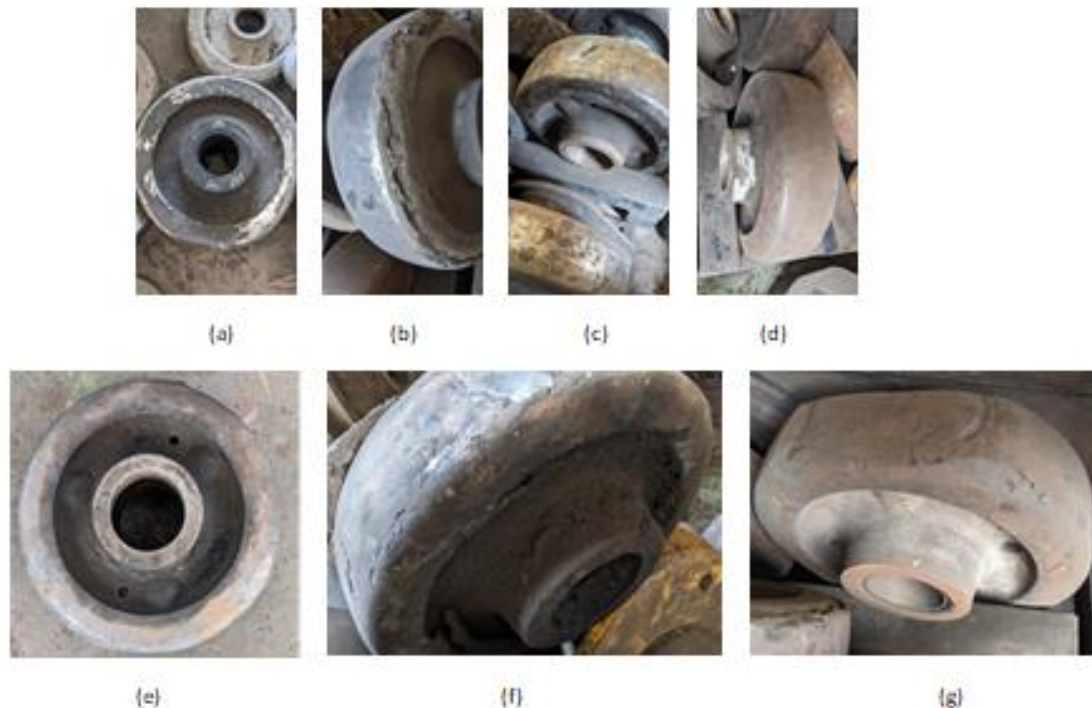
3.2. Pembahasan

Analisis data kegagalan dilakukan untuk mengidentifikasi dan memahami penyebab kerusakan yang terjadi pada *Wheel Bogie Bucket Wheel Excavator* (BWE) di bengkel fabrikasi. Proses analisis diawali dengan pengumpulan laporan kegagalan yang terdokumentasi selama operasi dan pemeliharaan alat. Selanjutnya, dilakukan pengambilan dan pengumpulan sampel komponen *Wheel Bogie* yang mengalami kerusakan guna dilakukan pemeriksaan visual dan identifikasi jenis kegagalan yang terjadi pada materialnya.

Dari hasil pengumpulan dan pengamatan terhadap sampel, diketahui bahwa terdapat empat jenis kegagalan utama yang terjadi pada *Wheel Bogie*, yaitu keausan (*wear*), keretakan (*crack*), korosi (*corrosion*), dan deformasi (*deformation*). Keausan umumnya terjadi akibat gesekan berulang antara permukaan logam dengan lintasan atau partikel abrasif selama proses operasi. Keretakan muncul sebagai akibat dari beban dinamis yang berulang atau tegangan sisa yang tinggi pada material.

Korosi disebabkan oleh reaksi kimia antara logam dengan lingkungan sekitar, khususnya pada area yang terpapar kelembapan atau bahan kimia. Deformasi terjadi karena beban berlebih atau distribusi gaya yang tidak merata pada struktur *Wheel Bogie*. Setiap bentuk kegagalan tersebut memberikan indikasi mengenai kondisi operasional dan tingkat keandalan material yang digunakan. Oleh karena itu,

identifikasi ini menjadi langkah awal yang penting untuk menentukan strategi perawatan, perbaikan, maupun peningkatan desain komponen agar dapat mengurangi risiko kegagalan serupa di masa mendatang. Berikut ini ditampilkan gambar sampel *Wheel Bogie* yang menunjukkan berbagai jenis kegagalan material yang teridentifikasi pada hasil pengamatan lapangan..



Gambar 3. Sampel Kegagalan *Wheel Bogie*

Pada gambar diatas menunjukkan sampel – sampel pada *Wheel Bogie* yang mengalami kegagalan. Dari 7 material yang dikumpulkan, terdapat 4 sampel yang mengalami kegagalan pada material. Kegagalan tersebut dapat terjadi akibat beberapa faktor. Berikut adalah beberapa faktor terjadinya kegagalan material pada *Wheel Bogie*.

1. Kelelahan pada material, dapat terjadinya kegagalan akibat siklus beban berulang yang menyebabkan mikroretakan pada permukaan material. Mikroretakan ini dapat berkembang menjadi retakan makro hingga akhirnya menyebabkan kegagalan struktural, faktor yang mempercepat kelelahan material antara lain yaitu variasi beban yang tidak terduga dan kualitas material kurang baik

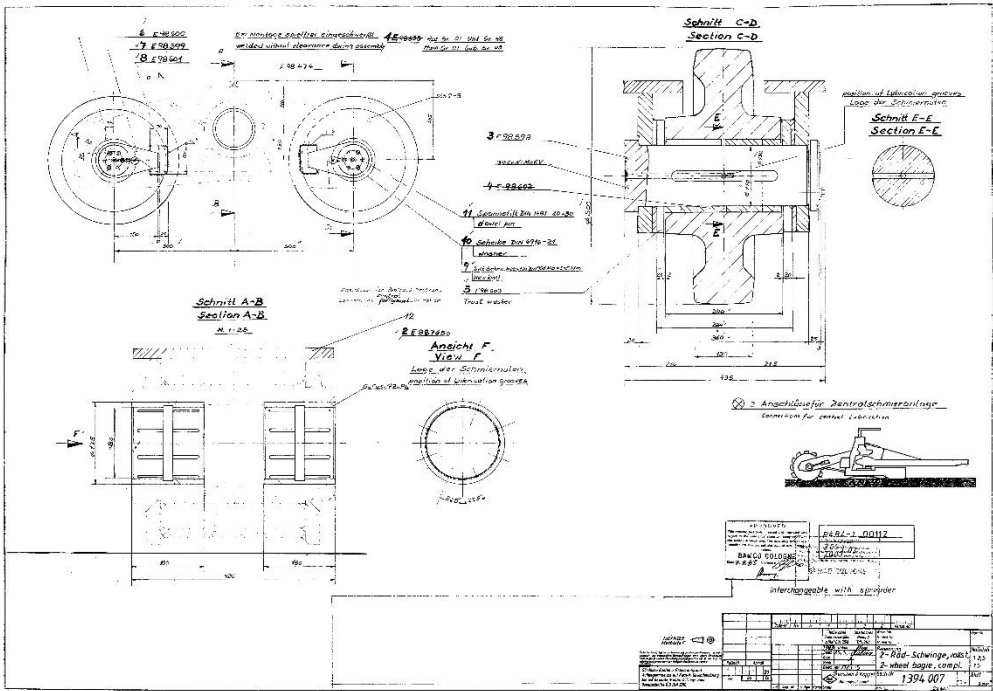
2. Korosi dan degradasi material, pada paparan lingkungan yang ekstrim, seperti kelembaban yang tinggi, paparan bahan kimia, dan penggunaan unsur paduan, mempercepat korosi pada *Wheel Bogie*. Korosi dapat

mengurangi ketebalan pada material, yang berkontribusi pada menurunnya kekuatan struktural dan mempercepat kegagalan akibat kelelahan pada material.

3. Deformasi dapat menyebabkan distribusi beban yang tidak merata pada *Wheel Bogie* menyebabkan tegangan tinggi di area tertentu. Beban dinamis yang terus menerus melebihi kapasitas desain material, menyebabkan perubahan bentuk permanen. Deformasi berlebih juga dapat menurunkan efisiensi pergerakan dan meningkatkan gesekan antar komponen.

4. Keausan, terjadi pada permukaan *Wheel Bogie* yang bergesekan terus-menerus dengan *crawler track* sehingga menyebabkan *Wheel Bogie* menjadi aus.

Setelah dilakukan analisis kegagalan material pada *Wheel Bogie*, langkah selanjutnya adalah mengukur diameter dari *Wheel Bogie* yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keausan dan kerusakan yang terjadi pada *Wheel Bogie*.



Gambar 4. Gambar Desain Wheel Bogie

Pada tabel dibawah menunjukkan hasil analisis kegagalan dari 7 sampel mengalami kegagalan pada material yang ditunjukkan pada gambar 4.3, maka didapatkan hasil sebagai berikut,

Tabel 7. Jenis Spesifikasi Kegagalan

Spesimen	D1 (mm)	D2 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	Kegagalan
	500	477	150	147	Material termakan
	500	488	150	148	Terjadinya keausan pada material
	500	491	150	148	Terjadinya korosi pada material
	500	492	150	145	Terjadinya korosi pada material

	500	493	150	142	Terjadinya retakan pada material
	500	488	150	145	Terjadinya retakan pada material
	500	483	150	144	Material termakan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengolahan, pembahasan, dan analisa data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa analisis kegagalan material terhadap beban statis dan dinamis sangat penting untuk memastikan bahwa *Wheel Bogie* pada BWE mampu menahan beban kerja tanpa mengalami deformasi berlebihan atau kegagalan struktural. Material yang digunakan harus memiliki ketahanan yang tinggi terhadap tegangan, kelelahan, serta dampak beban berulang agar *Wheel Bogie* dapat beroperasi secara optimal dalam jangka panjang. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan pendekatan yang mencakup pemilihan material yang lebih tahan lama, optimasii desain, penerapan sistem pemantauan kondisi, serta perawatan rutin yang efektif.

Dengan menerapkan metode ini, maka umur pakai *Wheel Bogie* dapat diperpanjang dan efisiensi operasi pada BWE dapat ditingkatkan dan faktor yang dapat mempengaruhi keausan dan kerusakan pada *Wheel Bogie* selama proses penambangan berlangsung, antara lain beban yang berlebih, gesekan dan keausan, korosi dan mikroretakan atau makro retakan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada PT. Bukit Asam Tbk. yang telah memberi kesempatan untuk menyelesaikan penelitian.

Daftar pustaka

- [1]. Vulovic, S., Zivkovic, M., Pavlovic, A., Vujanac, R., & Topalovic, M. Strength Analysis of Eight-Wheel Bogie of Bucket wheel Excavator. *Metals*, Vol. 13, No. 3, Pp. 466. (2023). <https://doi.org/10.3390/met13030466>
- [2]. Petrovic, Ana & Ignjatović, Dragan & Sedmak, Simon & Milosevic-Mitic, Vesna & Momčilović, Nikola & Trisovic,

Natasa & Jeremic, Lazar. Model analysis of *Bucket Wheel Excavator* SchRs 630 strength. *Engineering Failure Analysis*. Vol. 126, Pp. 105451. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105451>

- [3]. Ana Petrovića, Nikola Momčilovićb, Simon Sedmak. Reliability-based structural analysis of a *bucket wheel* excavator's load-bearing steel structure. *ScienceDirect. Procedia Structural Integrity*. Vol. 42, Pp. 236–243. (2022). <http://www.sciencedirect.com/>
- [4]. Anubhav Singh, C. Sendil Kumar, Prosenjit Das, Finite element modelling of deformation behaviour and failure analysis of roller and pin assembly in *bucket wheel* excavators used in opencast coal mines, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 164, Pp. 108677. (2024). ISSN 1350-6307, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108677> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630724007234>)
- [5]. Milorad P. Pantelić, Srđan M. Bošnjak, Mirjana Z. Misita, Nebojša B. Gnjatović, Aleksandar Z. Stefanović, Service FMECA of a *bucket wheel* excavator, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 108, Pp. 104289, ISSN 1350-6307, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104289> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630719300779>)
- [6]. Wang, X., Qin, Y., & Chen, L. Dynamics and Failure Analysis on Rigid-Flexible Coupling Structure to *Bucket wheel* Stacker Reclaimer. *Machines*, Vol. 13, No. 3, Pp. 209. (2025). <https://doi.org/10.3390/machines13030209>.

- [7]. Xian, C., Zhang, H., Kim, Y. C., Zhang, H., & Liu, Y. Programmed system for fatigue life prediction of excavator turntables based on multi-body dynamics and finite element analysis. *Heliyon*, Vol. 10, No. 12, e33126. (2024).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33126>
- [8]. Pan W. A simulation study on strength and fatigue analysis of hydraulic excavator *buckets*. *Front. Mech. Eng.* 11:1591320. (2025).
<https://doi.org/10.3389/fmech.2025.1591320>



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).