



ANALISIS KEGAGALAN SHAFT PADA GEARBOX FLENDER B2SH10D

Syaipudin Anwar^{1*}, Muhammad Tri Fathulloh¹, An-Nisa Magnolia¹, Arzaq Guruh Dityamri²

¹ Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brodjonegoro, No. 1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, Lampung, 35135, Indonesia

² Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Lampung, Indonesia

*e – mail : syaipudin.anwar@eng.unila.ac.id

Received : 27-11-2025, Accepted : 07-12-2025:

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegagalan *shaft* pada *gearbox Flender B2SH10D* yang digunakan dalam sistem distribusi batu bara. Kegagalan pada *shaft* ini menjadi masalah signifikan yang mengganggu operasional proses pemuatan batu bara. Alat yang digunakan yaitu *Gear Flender B2SH10D* dan Motor CV-305. Hasil analisis menunjukkan bahwa penyebab utama kegagalan *shaft* adalah tingginya beban torsi yang diterima oleh poros output, mencapai 27.679 Nm, yang menyebabkan konsentrasi tegangan tinggi pada *keyway*. Hal ini diperburuk oleh adanya misalignment antara motor dan *gearbox* serta kondisi lingkungan yang lembab, yang mempercepat proses korosi pada *shaft*. Kegagalan yang terjadi adalah jenis *fatigue fracture*, yang diawali dengan retakan mikro pada area konsentrasi tegangan, kemudian berkembang menjadi patah total akibat beban siklik yang berulang. Rekomendasi yang diberikan meliputi penggunaan material *shaft* dengan ketahanan *fatigue* lebih tinggi, penerapan perawatan preventif yang lebih baik, serta penggunaan metode pelumasan yang optimal untuk mencegah kejadian serupa di masa mendatang. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk meningkatkan kinerja dan keandalan *gearbox* di masa depan.

Kata Kunci: Kegagalan *shaft*; *Gearbox Flender B2SH10D*; *Fatigue fracture*; Torsi tinggi.

Abstract

This study aims to analyze shaft failure in the Flender B2SH10D gearbox used in the coal distribution system. Failure of this shaft is a significant problem that disrupts the coal loading process. The results of the analysis show that the main cause of shaft failure is the high torsional load received by the output shaft, reaching 27,679 Nm, which causes high stress concentration on the keyway. This is exacerbated by misalignment between the motor and gearbox and humid environmental conditions, which accelerate the corrosion process on the shaft. The failure that occurred was a fatigue fracture, which began with microcracks in the stress concentration area and then developed into a total fracture due to repeated cyclic loads. The recommendations given include the use of shaft materials with higher fatigue resistance, the implementation of better preventive maintenance, and the use of optimal lubrication methods to prevent similar incidents in the future. This research is expected to serve as a reference for improving the performance and reliability of gearboxes in the future.

Keywords: *Shaft failure; Flender B2SH10D gearbox; Fatigue fracture; High torque.*

1. PENDAHULUAN

Industri pertambangan batu bara memiliki peran vital dalam perekonomian global, khususnya dalam menyediakan energi yang dibutuhkan untuk sektor industri dan pembangkit listrik. Di Indonesia, kebutuhan energi terus meningkat, di mana batu bara menjadi salah satu sumber utama untuk memenuhi permintaan tersebut (Hutapea, 2024). Oleh karena itu, efektivitas dan efisiensi sistem distribusi batu bara sangat penting agar pasokan energi dapat terjaga. Di sinilah sistem mekanis yang melibatkan conveyor dan *gearbox* berperan sebagai komponen integral dalam memastikan kelancaran operasional, mengingat keduanya penting dalam mentransmisikan energi dan mendukung sistem kerja yang lebih luas [1], [2].

Namun, operasional *gearbox* tidak lepas dari tantangan, terutama ketika berfungsi dalam kondisi ekstrem seperti suhu tinggi dan kelembaban yang tinggi. Ketidakstabilan ini bisa memperpendek usia operasional komponen, seperti *gearbox*, yang vital untuk sistem distribusi batu bara. Integritas dan efisiensi *gearbox* menjadi kunci dalam mencegah kerusakan dan gangguan operasional yang dapat mengakibatkan penundaan pengiriman [3]. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana faktor eksternal tersebut berpotensi mengganggu fungsi *gearbox* serta konsekuensi dari kerusakan yang diakibatkan oleh kondisi ekstrem tersebut. Kegagalan *gearbox* dapat dikenali sebagai indikator penting dalam manajemen risiko operasional di sektor ini [4].

Salah satu masalah utama pada *gearbox* adalah kegagalan *shaft*, yang berfungsi untuk mentransmisikan torques antar elemen dalam sistem. Kegagalan pada *shaft* ini dapat menyebabkan gangguan serius, seperti terhentinya pemuatan batu bara ke dalam kapal, yang sangat berdampak pada efisiensi logistik dan operasional perusahaan. Penelitian menunjukkan bahwa kegagalan *shaft* sering kali disebabkan oleh kombinasi beban siklik yang tinggi, tegangan berlebih, dan kurangnya pemeliharaan yang memadai [5], [6]. Dengan demikian, pemahaman yang lebih baik mengenai faktor penyebab kegagalan *shaft* akan menjadi sangat berguna untuk mencegah dampak kerusakan lebih lanjut di masa depan. Selain itu, terdapat pula risiko munculnya retakan mikro pada *shaft* akibat tegangan berulang yang dapat berkembang menjadi patahan jika tidak terdeteksi. Hal ini sangat dipengaruhi oleh kualitas permukaan *shaft* dan kondisi lingkungan sekitar yang lembab, yang dapat mempercepat proses korosi [7]. Dengan mengidentifikasi faktor-faktor ini, penting untuk merancang sistem pemeliharaan yang dapat melibatkan teknik-teknik canggih untuk memantau kondisi *shaft* secara real-time, sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum kerusakan lebih lanjut [8].

Peningkatan pengetahuan mengenai desain *gearbox* dan material yang digunakan juga sangat relevan. Menggunakan material yang lebih tahan terhadap fatigue dan memperbaiki desain dapat secara signifikan mengurangi risiko kegagalan komponen tersebut di masa depan [9]. Selain itu, sistem pemeliharaan yang lebih proaktif, seperti predictive maintenance, diperlukan agar perusahaan dapat mengantisipasi dan mengurangi terjadinya kegagalan sebelum berlangsung operasional yang lebih luas [10]. Penerapan teknologi baru dalam pemantauan dan diagnosis kerusakan *gearbox* dapat berkontribusi untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi batu bara secara keseluruhan.

Melalui analisis kegagalan *gearbox* dan *shaft* yang terjadi dalam konteks industri pertambangan batu bara, ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman mengenai pentingnya perawatan sistem yang lebih baik agar dapat beroperasi dengan efisien. Pemahaman yang lebih mendalam tentang kondisi, penyebab, dan solusi untuk kegagalan ini dapat berfungsi sebagai pedoman bagi perusahaan pertambangan untuk meningkatkan rutinitas operasional mereka, serta mengurangi biaya pemeliharaan yang tidak terduga [11]. Dengan adanya langkah-langkah tersebut, dapat diharapkan untuk terus meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional dalam sektor pertambangan batu bara di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan *shaft* pada *gearbox Flender B2SH10D*. Pendekatan ini sesuai

dengan tujuan penelitian yang ingin memperoleh pemahaman mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan *shaft* pada sistem *gearbox*, serta memberikan rekomendasi untuk mencegah kegagalan serupa di masa mendatang. Penelitian ini bersifat eksploratif, di mana data dikumpulkan melalui observasi langsung, wawancara dengan teknisi dan operator lapangan, serta analisis dokumentasi teknis yang terkait dengan kondisi operasional dan kegagalan yang terjadi. Desain penelitian ini memungkinkan peneliti untuk menggali informasi secara menyeluruh, mencakup kondisi teknis, faktor lingkungan, serta proses perawatan yang dilakukan. Spesifikasi dan Gambar Gear *Flender* B2SH10D ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1 sebagai berikut,



Gambar 1. Gearbox *Flender* B2SH10D

Tabel 1. Tabel Spesifikasi *Gearbox Flender* B2SH10D

Tipe	<i>Flender</i> B2SH10D
Daya Input Motor	185 kW
Putaran <i>Input</i>	1480 rpm
Rasio Reduksi	25:1
Putaran <i>Output</i>	60 rpm
Berat	3250 kg
Jenis <i>Gear</i>	<i>Helical Gear</i>
Efisiensi <i>Gearbox</i>	94% (0.94)
Sistem Pelumasan	<i>Oil bath</i> dengan pendingin

Pada penelitian ini juga menggunakan motor penggerak dengan spesifikasi dan gambar yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 2 sebagai berikut,



Gambar 2. Motor CV-305

Tabel 2. Tabel Spesifikasi Motor Penggerak	
Tipe	CV-305
Daya Output	185 kW
Jumlah Fasa	3 Fasa
Tegangan	380 V
Berat Motor	1480 Kg
Putaran	1480 rpm
Frekuensi	50 Hz
Rangka	D315M

Selanjutnya dilakukan perhitungan pada alat *Gearbox Flender B2SH10D*. Rumus yang digunakan untuk menghitung torsi input, torsi output, dan tegangan yang dihasilkan yaitu :

2.1 Torsi Input Gearbox

Torsi input pada *gearbox* dihitung dengan menggunakan rumus dasar yang menghubungkan daya input motor (P) dengan putaran motor (n). Rumus perhitungan torsi input adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{\{9550 \times P\}}{\{n\}} \quad (1)$$

2.2 Daya Output Gearbox

Daya output dapat dihitung dengan memperhitungkan efisiensi *gearbox*. Daya yang masuk ke *gearbox* akan mengalami kerugian karena gesekan dan faktor lainnya, sehingga daya output lebih kecil daripada daya input. Rumus yang digunakan untuk menghitung daya output adalah:

$$P_{out} = P \times \eta \quad (2)$$

2.3 Torsi Output Gearbox

Torsi output pada *gearbox* dihitung dengan memperhatikan rasio reduksi antara input dan output. Rasio reduksi ini mengubah kecepatan putaran pada output *shaft*, sementara torsi output akan meningkat sesuai dengan rasio tersebut. Rumus yang digunakan adalah:

$$T = \frac{9550 \times P_{out}}{n_{out}} \quad (3)$$

2.4 Tegangan pada Shaft

Tegangan yang terjadi pada *shaft* dapat dihitung dengan menggunakan rumus-rumus yang mempertimbangkan gaya torsi dan momen lentur yang bekerja pada *shaft*. Berikut adalah rumus untuk menghitung tegangan geser akibat torsi:

$$\tau = \frac{T \times r}{J} \quad (4)$$

$$\sigma = (M \times y)/I \quad (5)$$

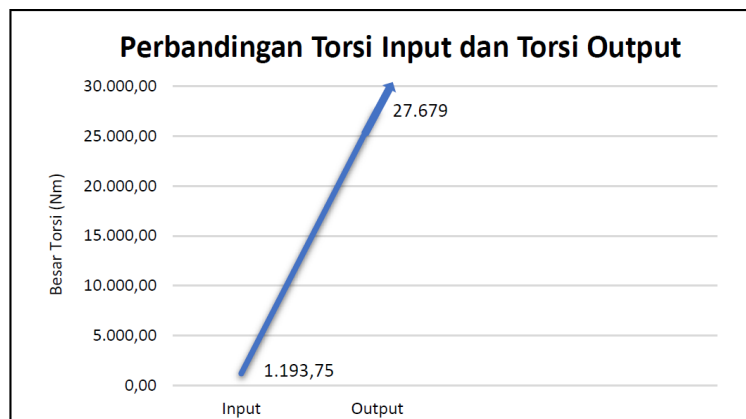
2.5 Tegangan Von Mises

Tegangan Von Mises dihitung untuk mengetahui apakah kombinasi tegangan geser dan lentur pada *shaft* melebihi batas kekuatan material, yang dapat menyebabkan kegagalan. Rumus untuk tegangan ekuivalen adalah:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

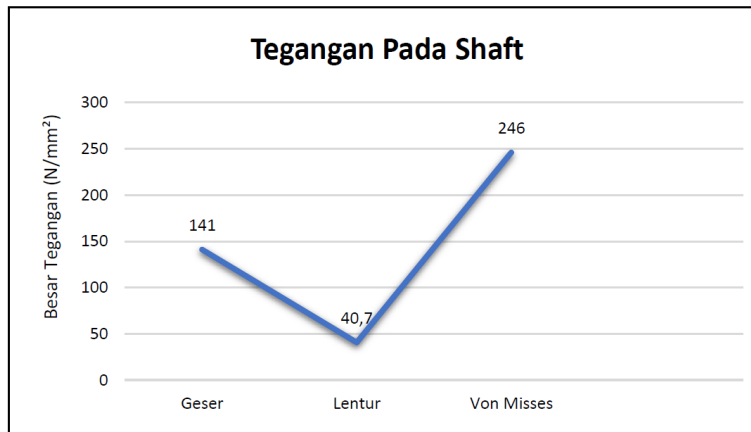
Data hasil didapatkan pada alat Gear *Flender* B2SH10D dengan Motor CV-305. Data yang didapatkan dilakukan perhitungan torsi input *gearbox*, daya output *gearbox*, torsi output *gearbox*, tegangan pada *shaft*, tegangan von mises. Berdasarkan hasil perhitungan teknis yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa torsi input *gearbox* yaitu sebesar 1.193,75 Nm pada putaran 1480 rpm berhasil ditransmisikan menjadi daya output sebesar 173,9 kW dengan efisiensi sistem 94%. Namun, melalui proses reduksi rasio 25:1, sistem *gearbox* menghasilkan torsi output yang sangat besar sebesar 27.679 Nm, meningkat 23,2 kali dari torsi input. Dapat dilihat pada grafik gambar 3 sebagai berikut,



Gambar 3. Grafik Perbandingan Torsi *Input* dan Torsi *Output*

Grafik di atas menunjukkan perbandingan torsi input dan output, yang menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan. Di sisi input, torsi hanya sebesar 1.193,75 Nm. Namun, setelah melewati transmisi, nilai ini melonjak drastis menjadi 27.679 Nm di sisi output. Angka ini menunjukkan bahwa torsi telah meningkat hampir 23 kali lipat dari nilai awalnya. Peningkatan luar biasa ini merupakan hasil dari sistem rasio reduksi 25:1, di mana terdapat pertukaran fundamental antara kecepatan dan torsi: penurunan drastis pada putaran poros output berbanding terbalik dengan peningkatan daya torsi yang dihasilkan. Peningkatan dramatis pada torsi ini bukan sekadar keunikan mekanis; hal ini memiliki implikasi signifikan terhadap kinerja dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Misalnya, kemampuan untuk mencapai output torsi tinggi pada kecepatan input relatif rendah memungkinkan percepatan dan pengiriman daya yang lebih baik dalam aplikasi mulai dari otomotif hingga mesin industri.

Selain itu, pemahaman hubungan antara daya input dan torsi output dapat membantu insinyur mengoptimalkan desain *gearbox* untuk meminimalkan kerugian energi, sehingga meningkatkan efisiensi sistem. Hal ini terutama relevan saat mempertimbangkan motor listrik, di mana peningkatan torsi yang sedikit pun dapat menghasilkan perbaikan signifikan dalam efektivitas operasional, seperti yang terlihat pada tingkat efisiensi yang menonjol dalam berbagai aplikasi motor listrik [12][13]. Selain itu, integrasi strategi kontrol canggih dapat lebih mengoptimalkan kinerja sistem ini, memastikan bahwa sistem beroperasi pada efisiensi puncak di bawah kondisi beban yang bervariasi [14]. Peningkatan torsi yang signifikan ini juga konsisten dengan temuan penelitian yang menunjukkan bahwa efisiensi *gearbox* dapat mencapai hingga 99,870% pada kondisi tanpa beban pada 210 volt. Peningkatan efisiensi ini menyoroti pentingnya memilih tegangan yang tepat dalam aplikasi motor listrik, di mana efisiensi dapat menurun pada tegangan yang lebih rendah.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Torsi *Input* dan Torsi *Output*

Dapat dilihat pada grafik gambar 5.6 diatas bahwa pada kondisi inilah yang memicu timbulnya tegangan geser tinggi sebesar 141 N/mm² pada *shaft* output, jauh lebih dominan dibandingkan tegangan lentur yang hanya 40,7 N/mm². Menunjukkan bahwa beban torsi merupakan faktor utama dalam desain *shaft*. Perbandingan tegangan geser dan lentur 3,5 : 1 mengindikasikan bahwa *shaft* lebih banyak mengalami pembebanan torsional dibandingkan pembebanan lentur. Kombinasi kedua tegangan tersebut menghasilkan tegangan ekuivalen Von Mises sebesar 246 N/mm² yang mendekati batas kekuatan material baja karbon menengah (200-250 N/mm²).

Berdasarkan analisis menyeluruh yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *gearbox* berhasil melakukan transformasi torsi yang sangat efektif melalui rasio reduksi 25:1, meskipun disertai dengan sedikit penurunan daya output akibat losses efisiensi sebesar 6%. Namun, transformasi torsi yang ekstrem ini menimbulkan konsekuensi kritis pada *shaft* output, dimana tegangan geser yang mencapai 141 N/mm² dan tegangan ekuivalen Von Mises sebesar 246 N/mm² telah mendorong material hingga mendekati batas kemampuannya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun daya output telah mengalami reduksi akibat losses efisiensi, transformasi torsi yang ekstrem dalam sistem *gearbox* menciptakan kondisi pembebanan kritis pada *shaft* yang berujung pada kegagalan fatigue. Kondisi ini menunjukkan pentingnya pemantauan dan evaluasi berkala terhadap desain *shaft* untuk mencegah potensi kegagalan akibat pembebanan yang berlebihan dan kelelahan material. Oleh karena itu, langkah-langkah pencegahan seperti penguatan desain dan pemilihan material yang tepat sangat diperlukan untuk mengurangi risiko kegagalan pada *shaft* output. Dengan demikian, penelitian ini menekankan pentingnya pemahaman mendalam mengenai interaksi antara torsi dan tegangan dalam desain *gearbox* untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem secara keseluruhan [15].

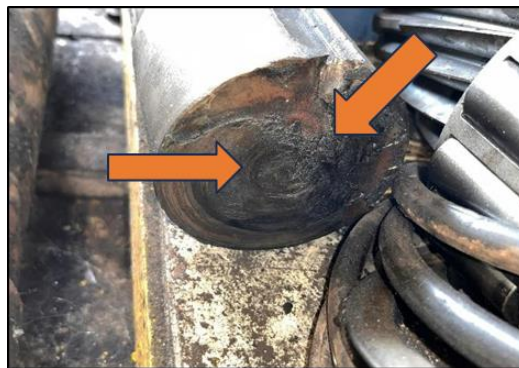


Gambar 5. *Shaft* Mengalami Kegagalan Patah

Dapat dilihat pada Gambar 5 *shaft* mengalami patah, faktor mekanis turut berkontribusi terhadap terjadinya kegagalan *shaft*. Salah satu faktor penting adalah adanya konsentrasi tegangan pada *keyway*. Bagian *keyway* berfungsi untuk menghubungkan poros dengan elemen transmisi lain seperti

gear atau pulley. Namun, bentuk alur pasak pada *keyway* menyebabkan terjadinya peningkatan tegangan lokal sehingga area ini sering menjadi titik awal munculnya retakan. Selain itu, kondisi misalignment antara motor dan *gearbox* juga dapat menyebabkan beban tambahan yang tidak merata pada *shaft*. Misalignment menghasilkan getaran berlebih yang mempercepat timbulnya retakan akibat beban siklik [16]. Penting untuk melakukan analisis menyeluruh terhadap kondisi *keyway* dan misalignment, karena kedua faktor ini dapat memperburuk risiko kegagalan pada *shaft*, terutama dalam aplikasi yang melibatkan beban siklik yang tinggi.

Faktor operasional juga berpengaruh terhadap umur pakai *shaft*. *Gearbox Flender B2SH10D* bekerja pada lingkungan pelabuhan yang memiliki tingkat kelembaban tinggi. Kondisi ini mempercepat terjadinya korosi pada permukaan *shaft*, yang pada akhirnya menurunkan kekuatan material. Selain itu, sistem conveyor di pelabuhan beroperasi secara kontinu dengan beban fluktuatif. Siklus beban yang berulang inilah yang mempercepat proses fatigue. Retakan mikro yang muncul akibat tegangan berulang akan terus berkembang hingga akhirnya menimbulkan kegagalan patah pada *shaft*.



Gambar 6. Kepatahan Terlihat Dari Dekat

Dari sisi *maintenance*, terdapat indikasi bahwa sistem pelumasan belum optimal. *Gearbox* menggunakan sistem oil bath dengan pendingin eksternal, namun pada kondisi tertentu kualitas dan volume pelumas tidak terjaga dengan baik. Kekurangan pelumas dapat meningkatkan gesekan dan suhu kerja, sehingga mempercepat keausan dan menurunkan ketahanan fatigue *shaft*. Selain itu, kegiatan pemeriksaan preventif yang seharusnya dilakukan secara berkala belum maksimal, khususnya pemeriksaan non-destructive test (NDT) untuk mendeteksi adanya retakan mikro. Akibatnya, kerusakan baru diketahui setelah *shaft* benar-benar patah dan menyebabkan penghentian operasi [17].

Secara keseluruhan, kegagalan *shaft* pada *gearbox Flender B2SH10D* di PT. Bukit Asam Tbk Unit Pelabuhan Tarahan dapat disimpulkan sebagai kegagalan yang didominasi oleh fatigue failure. Kegagalan ini dipicu oleh kombinasi antara tingginya beban torsi, konsentrasi tegangan pada *keyway*, misalignment, kondisi lingkungan yang lembab, serta sistem *maintenance* yang kurang optimal. Untuk mencegah kejadian serupa, diperlukan peningkatan kualitas desain *shaft* dengan material yang lebih kuat terhadap fatigue, penerapan metode pelumasan yang lebih baik, serta penerapan monitoring getaran dan inspeksi NDT secara rutin.

4. KESIMPULAN

Analisis kegagalan *shaft* pada sistem *gearbox* ini menunjukkan bahwa kegagalan utama disebabkan oleh tingginya beban torsi pada poros output yang mencapai 27.679 Nm, yang berakibat pada konsentrasi tegangan di area *keyway* dan adanya misalignment antara motor dan *gearbox*. Tegangan ekuivalen Von Mises yang mendekati batas kekuatan material baja karbon menengah (200–250 N/mm²) menyebabkan *shaft* bekerja pada batas kritis, sehingga mengalami kegagalan akibat fatigue (fatigue fracture). Retakan awal diperkirakan muncul di area *keyway* dan berkembang akibat beban

siklik serta kondisi lingkungan yang lembab dan korosif. Untuk mencegah kegagalan serupa di masa depan, perbaikan desain, material, dan sistem perawatan perlu dilakukan. Penggunaan material dengan ketahanan fatigue yang lebih tinggi seperti baja paduan AISI 4140 atau 4340, serta penerapan perlakuan panas untuk meningkatkan ketahanan kelelahan, dapat meningkatkan daya tahan *shaft*. Selain itu, penggunaan coupling fleksibel untuk mengurangi misalignment dan penerapan program perawatan preventif seperti monitoring getaran dan uji non-destruktif (NDT) sangat penting untuk mendeteksi potensi retakan sebelum menyebabkan kegagalan total pada *shaft*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung dan pihak peneliti sehingga riset ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Razi, "Dampak Aktivitas Pertambangan Batubara Terhadap Lingkungan Dan Masyarakat Kalimantan Timur," 2022, doi: 10.31219/osf.io/ea65p.
- [2] S. Ming, "Perubahan Iklim: Tinjauan Holistik Sektor Batubara," *Pedr*, vol. 1, no. 2, pp. 116–130, 2023, doi: 10.26593/pedr.v1i2.6672.
- [3] A. A. Solikah and B. Bramastia, "Systematic Literature Review : Kajian Potensi Dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru Dan Terbarukan Di Indonesia," *J. Energi Baru Dan Terbarukan*, vol. 5, no. 1, pp. 27–43, 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.21742.
- [4] F. Lusiyana and R. M. Prasetyo, "Analisis Daya Saing Renewable Energy Dan Fossil Energy (Studi Pada Ekspor Batu Bara Dan Biodiesel Indonesia)," *Welf. J. Ilmu Ekon.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–11, 2023, doi: 10.37058/wlfr.v4i1.6289.
- [5] J. A. Then, R. V. Pratikno, and J. M. Y. Pattinussa, "Implementasi Hasil Konferensi Perubahan Iklim Ke-26 (COP26) Terhadap Pengembangan Sektor Pertambangan Dan Kebijakan Lingkungan Di Indonesia [The Implementation of the 26th Climate Change Conference (COP26) Towards the Development of Mining Sector and Environmental Policy in Indonesia]," *Verit. J. Ilm. Hub. Int. (International Relations Journal)*, vol. 16, no. 31, pp. 21–40, 2024, doi: 10.19166/verity.v16i31.8692.
- [6] R. F. Ciptaswara and S. Sulistiowati, "Implementasi Hilirisasi Mineral Dan Batu Bara Dalam Rangka Mewujudkan Kedaulatan Energi Dan Daya Saing Industri Nasional," *Mimb. Huk. - Fak. Huk. Univ. Gadjah Mada*, vol. 34, no. 2, pp. 521–558, 2022, doi: 10.22146/mh.v34i2.3490.
- [7] E. F. Ilva, G. Gusnardi, and F. Trisnawati, "Pengaruh Kinerja Keuangan Terhadap Harga Saham Perusahaan Sektor Pertambangan Sub Sektor Batu Bara Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia Periode 2018-2022," *Jiip - J. Ilm. Ilmu Pendidik.*, vol. 7, no. 6, pp. 5609–5617, 2024, doi: 10.54371/jiip.v7i6.4587.
- [8] S. Juniarti, V. A. Diporini, and P. Avati, "Pengaruh Profitabilitas, Kebijakan Dividen Dan Kebijakan Utang Terhadap Nilai Perusahaan (Studi Pada Perusahaan Sektor Pertambangan Batu Bara Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia Tahun 2021-2024)," *J. Innov. Res. Knowl.*, vol. 5, no. 3, pp. 3335–3344, 2025, doi: 10.53625/jirk.v5i3.10954.
- [9] F. Mukarrom, H. Sidiq, and H. Purnomo, "Copper and Manganese Heavy Metal Ions From Acid Mine Drainage Using Bontang Clay," *Innofarm J. Inov. Pertan.*, vol. 25, no. 1, 2023, doi: 10.33061/innofarm.v25i1.8646.
- [10] L. H. Fauziah and A. Hidayatullah, "Studi Literatur: Pemanfaatan Teknologi Biogas Dari Limbah Organik Di Indonesia," *J. Pengelolaan Lingkung. Berkelanjutan (Journal Environ. Sustain. Manag.)*, pp. 1–18, 2023, doi: 10.36813/jplb.7.1.1-18.
- [11] U. Ulfahimayati, D. Herman, M. Basyar, and F. Anggrainyi, "Coal Workers' Pneumoconiosis at PT. A Sawahlunto and the Influencing Factors," *J. Respirologi Indones.*, vol. 41, no. 1, pp. 51–63, 2021, doi: 10.36497/jri.v41i1.157.

- [12] P. Yericen, "Analisa Efisiensi *Gearbox* Pada Motor Penggerak Listrik Kapal Nelayan= Analysis of *Gearbox* Efficiency in Fisherman Ship Electric Driving Motors." Universitas Hasanuddin, 2023.
- [13] P. P. Marpaung, "Analisis Putaran Puli Roda Gigi Flywheel Penggerak Beban Putaran Roda Gigi Transmisi Otomotif," *J. Integr.*, vol. 14, no. 2, pp. 140–144, 2022.
- [14] F. Nouredine, B. A. Houssein, and S. Abid, "Optimization of *Gearbox* Ratio and Transient Behavior in Induction Motor-Driven Systems for Enhanced Performance," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, 2025.
- [15] B. A. Prasetyo and H. Yudiono, "Analisis Desain Poros Dan Docta Eksentrik Untuk *Gearbox* Rotogravure Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 7, no. 2, pp. 127–141, 2022.
- [16] I. K. Daging, H. Sukismo, I. G. Wardana, and J. P. Siahaan, "Fatigue Failure Analysis of *Shaft* in As-developed Wind Turbine with Reinforced-welding Elbow," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2022, vol. 2344, no. 1, p. 12008.
- [17] M. Haghshenas and W. Savich, "A case study on fatigue failure of a transmission *gearbox* input shaft," *J. Fail. Anal. Prev.*, vol. 17, no. 6, pp. 1119–1125, 2017.



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