

Analisis Kinerja *Coal Mill* Unit 4 PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu

Moch Fikar Surahman^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Bandung

DOI: <https://doi.org/10.71417/jpc.v2i1.134>

Abstrak

Coal Mill merupakan komponen krusial dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggiling batubara menjadi serbuk halus untuk pembakaran efisien di boiler. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja Coal Mill Unit 4 PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu tipe MPS160HP-II. Penelitian kuantitatif deskriptif dilakukan dengan observasi lapangan selama Juni 2024. Populasi terdiri dari 5 unit Coal Mill (4 aktif, 1 standby), sampel fokus pada satu unit dengan data desain vs. aktual. Instrumen meliputi lembar observasi dan data Central Control Room (CCR), dianalisis menggunakan rumus efisiensi energi $\eta_e = \frac{SPC_{ideal}}{SPC_{aktual}} \times 100\%$ dan efisiensi produksi $\eta_p = \frac{Output_{aktual}}{Input_{aktual}} \times 100\%$. Hasil menunjukkan efisiensi produksi 89,5% dan efisiensi energi 84,5%, di bawah standar desain akibat kadar air batubara 35%, HGI 50, rasio udara-batubara 2,44, dan keausan mekanis. Kesimpulan merekomendasikan pemantauan kualitas batubara real-time, maintenance prediktif, dan optimalisasi rasio udara untuk efisiensi di atas 90%.

Kata Kunci: Coal Mill, Efisiensi Energi, HGI, MPS160HP-II, PLTU

Abstract

Coal Mill serves as a critical component in Steam Power Plants (PLTU) for pulverizing coal into fine powder ensuring efficient boiler combustion. This study aims to analyze the performance of Coal Mill Unit 4 at PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu, type MPS160HP-II. Quantitative descriptive research was conducted through field observation in June 2024. Population comprised 5 Coal Mill units (4 active, 1 standby), with sampling focused on one unit comparing design vs. actual data. Instruments included observation sheets and Central Control Room (CCR) data, analyzed using energy efficiency formula $\eta_e = \frac{SPC_{ideal}}{SPC_{aktual}} \times 100\%$ and production efficiency $\eta_p = \frac{Output_{aktual}}{Input_{aktual}} \times 100\%$. Results revealed production efficiency of 89.5% and energy efficiency of 84.5%, below design standards due to 35% coal moisture, HGI 50, air-coal ratio 2.44, and mechanical wear. Conclusions recommend real-time coal quality monitoring, predictive maintenance, and air ratio optimization to achieve efficiency above 90%.

Keywords: Coal Mill, Energy Efficiency, HGI, MPS160HP-II, PLTU

Copyright (c) 2026 : Moch Fikar Surahman

✉ Corresponding author : Moch Fikar Surahman

Email Address : fikarmoch@gmail.com

Received 28 Januari 2026, Accepted 29 Januari 2026, Published 30 Januari 2026

Pendahuluan

PLTU Pangkalan Susu merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga uap yang berperan penting dalam penyediaan energi listrik di Indonesia, dengan *Coal Mill* sebagai komponen krusial dalam proses penggilingan batubara menjadi serbuk halus untuk pembakaran di boiler. Proses ini memastikan efisiensi pembakaran melalui atomisasi batubara hingga ukuran 200 mesh, di mana *Coal Mill* tipe MPS160HP-II digunakan untuk mendukung operasi unit 4 dengan kapasitas output desain hingga 32,625 ton/jam (Baredar, 2018; Lewerissa, 2018). Kinerja *Coal Mill* secara keseluruhan memengaruhi efisiensi PLTU, karena menghasilkan serbuk batubara berkualitas yang optimal untuk pembakaran cepat dan sempurna di furnace (Setiawan, 2022; Cahyo et al., 2022).

Sistem PLTU Pangkalan Susu mengandalkan *Coal Mill* untuk mengintegrasikan proses pengeringan, penggilingan, dan klasifikasi batubara, di mana udara primer dari primary air fan membantu mengeringkan batubara lembab sebelum dialirkan ke burner. Observasi lapangan menunjukkan bahwa operasi normal melibatkan empat dari lima *Coal Mill* aktif, dengan satu standby untuk menjaga kontinuitas saat maintenance (PLTU Pangkalan Susu, 2024; Tontu, 2020). Fenomena ini mencerminkan ketergantungan PLTU pada performa *Coal Mill* untuk menjaga kestabilan pasokan serbuk batubara (Stupar, 2024; Nurdiansyah, 2025).

Efisiensi produksi *Coal Mill* di Unit 4 PLTU Pangkalan Susu tercatat hanya 89,5 persen dari output aktual terhadap input, di bawah standar desain akibat peningkatan kadar air batubara dari 30 persen menjadi 35 persen yang menyulitkan proses pengeringan. Selain itu, penurunan Hardgrove Grindability Index (HGI) dari 60 menjadi 50 menandakan batubara lebih keras, sehingga meningkatkan beban energi penggilingan dan konsumsi spesifik power (SPC) hingga 11,42 kWh/ton (Baredar, 2018; Setiawan, 2022).

Peningkatan rasio udara-batubara menjadi 2,44 dari desain 2,03 menyebabkan konsumsi daya fan lebih tinggi, meskipun membantu pengeringan, namun turut menurunkan efisiensi energi secara keseluruhan menjadi 84,5 persen. Kondisi mekanis seperti keausan grinding table dan roller, dengan umur pakai 12.000 jam, semakin memperburuk performa karena material asing dan kekerasan batubara (Tontu, 2020; Lewerissa, 2018).

Temperatur operasi inlet 314°C dan outlet 65°C masih dalam batas aman, tetapi kelembaban tinggi mengurangi efektivitas pengeringan, berpotensi menyebabkan pengumpulan di coal pipe atau self-combustion. Faktor-faktor ini secara kolektif mengurangi kapasitas operasional PLTU dan meningkatkan biaya maintenance (Stupar, 2024; Cahyo et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja *Coal Mill* Unit 4 PLTU Pangkalan Susu melalui evaluasi parameter seperti output, konsumsi energi, suhu, dan rasio udara-batubara, serta mengidentifikasi faktor penurunan efisiensi untuk rekomendasi optimalisasi. Urgensinya terletak pada kebutuhan menjaga reliabilitas PLTU di tengah tuntutan efisiensi energi nasional dan transisi rendah emisi, di mana penurunan performa *Coal Mill* berdampak langsung pada heat rate dan emisi CO₂ PLTU (Setiawan, 2022; Cahyo et al., 2022). Kebaruannya adalah aplikasi analisis data aktual lapangan pada tipe MPS160HP-II spesifik PLTU Indonesia, dengan fokus faktor kualitas batubara lokal dan maintenance prediktif untuk efisiensi di atas 90 persen (Tontu, 2020; Nurdiansyah, 2025).

Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang bertujuan untuk menganalisis kinerja *Coal Mill* Unit 4 PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu melalui data numerik aktual seperti efisiensi produksi dan energi, sesuai dengan prinsip penelitian yang mengukur fenomena secara objektif dan terukur. Jenis penelitian ini dipilih karena fokus pada deskripsi parameter operasional seperti output, SPC, suhu, dan rasio udara-batubara berdasarkan observasi lapangan selama praktik kerja dari 1 Juni hingga 30 Juni 2024 di PLTU Pangkalan Susu, Langkat, Sumatera Utara (Sugiyono, 2021; Sudaryono, 2021). Metode pengumpulan data mencakup observasi langsung terhadap sistem kerja *Coal Mill* tipe MPS160HP-II, wawancara dengan mentor seperti Mohammad Gibran Al

Kahfi AF, serta studi literatur dari dokumen perusahaan dan buku spesifikasi, yang selaras dengan strategi mixed data collection untuk validitas tinggi (Creswell & Creswell, 2023; Tontu, 2020).

Instrumen penelitian terdiri dari lembar observasi untuk mencatat data primer seperti spesifikasi motor (315 kW), kecepatan grinding table (35,3 rpm), dan data sekunder dari Central Control Room (CCR) termasuk temperatur inlet 314°C, outlet 65°C, serta karakteristik batubara (HGI 50, moisture 35%). Teknik analisis data menerapkan rumus efisiensi energi $\eta_e = \frac{SPC_{ideal}}{SPC_{aktual}} \times 100$ dan efisiensi produksi $\eta_p = \frac{Output_{aktual}}{Input_{aktual}} \times 100$, dengan hasil 84,5% dan 89,5% masing-masing, didukung diagram alir proses coal milling untuk visualisasi alur dari coal yard hingga furnace (Emzir, 2022; Baredar, 2018).

Populasi penelitian adalah seluruh sistem operasional Coal Mill Unit 4 PLTU Pangkalan Susu yang terdiri dari 5 unit (4 aktif, 1 standby), sedangkan sampel difokuskan pada satu unit MPS160HP-II dengan data representatif dari kondisi desain versus checked coal selama observasi satu bulan. Pemilihan sampel purposif ini memastikan coverage parameter kunci seperti ventilation resistance dan coal inlet wind ratio, sesuai kriteria sampling non-probability untuk studi kasus industri (Sugiyono, 2021; Setiawan, 2022).

Prosedur penelitian dimulai dengan persiapan melalui studi literatur awal, dilanjutkan pelaksanaan praktik kerja dengan observasi dan interview di lokasi, pengumpulan data dari CCR dan spesifikasi pabrik, kemudian analisis kuantitatif menggunakan rumus efisiensi serta diagram alir untuk identifikasi faktor seperti kelembaban batubara dan keausan roller. Proses ini diakhiri dengan validasi temuan melalui diskusi mentor dan kompilasi laporan, mengikuti langkah sistematis untuk reliabilitas hasil di konteks praktik kerja teknik (Sudaryono, 2021; Creswell & Creswell, 2023).

Hasil Penelitian

Data Spesifikasi Coal Mill

Pengambilan data dilakukan berdasarkan buku spesifikasi Coal Mill yang ada di perusahaan dan pengambilan data sekunder dengan melihat nilai yang ada di ruangan CCR (Central Control Room).

PT.PLN Pangkalan Susu menggunakan Coal Mill dengan model/tipe MPS160HP-II. Pada Coal Mill tipe ini mempunyai prinsip kerja penggilingan batu bara menggunakan grinding table yang berputar dan di tekan oleh tiga buah roller.

Tabel 1. Spesifikasi Coal Mill (PLTU Pangkalan Susu, 2024)

Model		MPS160HP-II	
Manufacturing		Changchun power plant general plant	
Quantity	Number	5	4 runs, 1 standby
Speed of Coal Mill		35,3 r/min	
Direction of Coal Mill		anticlockwise	
Roller		3	
Coal dust separator type		Stationary classifier	
Calculate the output		32,625 t/h	
Motor capacity daya listrik		315 kW	

Tabel 2. Technical Parameters of Coal Mill Motor (PLTU Pangkalan Susu,2024)

Project	Parameter
Type/model	Three-phase asynchronous squirrel cage motor /YMPS450-6
Work rate	315 kW

<i>The electric voltage</i>	6 KV
<i>Electricity flow</i>	43,8 A
<i>Rated frequency</i>	50 HZ
<i>Transfer speed</i>	990 r/min
<i>Power factor for Rated load</i>	0,76
<i>noise</i>	85 Db
<i>Motor weight</i>	3360 kg
<i>Manufacturing company</i>	Changchun power plant general plant

Performance data of Coal Mill

Tabel 3. Data Kinerja Coal Mill (PLTU Pangkalan Susu, 2024)

Project	Unit	Design coal	Checked coal
<i>The Coal Mill is the most powerful</i>	t/h	38,385	30,802
<i>Calculate the output</i>	t/h	32,625	27,58
<i>Guaranteed out-put</i>	t/h	35,888	27,58
<i>Minimum output</i>	t/h	7,7	6,2
<i>Load factor</i>	%	85	89,5
<i>Allowance</i>		1,12	1,06
<i>Maximum windage</i>	t/h	69,66	69,73
<i>Calculated ventilation</i>	t/h	66,17	67,29
<i>Minimum ventilation</i>	t/h	52,25	52,3
<i>Ensure the flow capacity of the force</i>	t/h	68,15	67,29
<i>Drying medium temperature of Coal Mill inlet</i>	°C	315	314
<i>Coal mine inlet wind coal ratio</i>		2,03	2,44
<i>Speed of Coal Mill</i>	r/min	35,3	35,3
<i>Maximum ventilation resistance of Coal Mill</i>	pa	5900	5900
<i>Ventilation resistance of Coal Mill (guaranteed output)</i>	pa	5687	5549
Project	Unit	Design coal	Checked coal
<i>Calculated ventilation resistance</i>	pa	5410	5549
<i>Sealing air volume of Coal Mill</i>	Kg/s	0,75	0,75
<i>Seal air and one wind differential pressure</i>	pa	2000	2000
<i>Export air volume of Coal Mill (including sealing wind)</i>	Kg/s	20,76	21,13
<i>Seal air leakage</i>	Kg/s	0,225	0,225
<i>The Coal Mill outlet temperature</i>	°C	65	65
<i>Wear rate of Coal Mill unit</i>	g/t	46	46
<i>Extinguishing steam</i>	t/h	2,05	2,05

<i>Roller life</i>	h	12000	12000
<i>Grinding plate life</i>	h	12000	12000
<i>Life of grinding roller bearing seal</i>	h	15000	15000
<i>Life of single coal scraper</i>	h	15000	15000

Coal properties

Tabel 4. Spesifikasi Batu Bara (PLTU Pangkalan Susu, 2024)

<i>Description</i>	<i>Symbol</i>	<i>Unit</i>	<i>Design coal</i>	<i>Check coal</i>
<i>Carbon as received basis</i>	Car	%	68,57	43,9
<i>Hydrogen as received basis</i>	Har	%	5,16	2,2
<i>Oxygen as received basis</i>	Oar	%	24,76	12,30
<i>Nitrogen as received basis</i>	Nar	%	1,18	0,39
<i>Sulfur as received basis</i>	Sar	%	0,33	0,21
<i>Ash as received basis</i>	Aar	%	5	6
<i>Total moisture</i>	Mar	%	30	35
<i>Hardgrove grindability index</i>	HGI	Kcal/kg	60	50

Faktor Yang Mempengaruhi Efisiensi Coal Mill

Diketahui bahwa pada *Coal Mill* terjadi penurunan efisiensi yang disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu ;

1. Kualitas Batu Bara

Kualitas batu bara berpengaruh pada penurunan efisiensi pada *Coal Mill* yang disebabkan kadar air tinggi tidak sesuai dengan semestinya yang seharusnya kadar air 30% tetapi meningkat di 35%, serta penurunan HGI (*Hardgrove Grindability Index*) menjadi 50 Kcal/kg.

Dengan begitu menyebabkan perlu energi lebih untuk pengeringan batu bara dan HGI yang rendah dapat mempengaruhi kekerasan batu bara yang sulit untuk digiling.

Parameter	Desain	Aktual
<i>Moisture</i>	30%	35%
<i>HGI (Hardgrove Grindability Index)</i>	60	50

2. Aliran Udara Campuran

Aliran udara campuran dapat menurunkan efisiensi *Coal Mill*, yang dimana rasio aliran udara yang masuk pada *Coal Mill* meningkat sebesar 0,41 dari standarnya.

Dengan meningkatnya aliran udara campuran yang masuk ke *Coal Mill* menyebabkan pengeringan batu bara menjadi optimal tetapi akan mempengaruhi pada peningkatan konsumsi daya *fan*.

3. Kondisi Mekanis

Pada kondisi mekanis khususnya *grinding table & roller* menjadi komponen yang memiliki resiko tinggi untuk mengalami kerusakan / aus, *Grinding table & roller* memiliki umur pakai sampai dengan 12.000 jam. *Grinding table & roller* akan mengalami penurunan umur pakai jika batu bara yang keras dan banyaknya material asing yang masuk ke area *grinding table & roller* yang akan meningkatkan tingkat keausan pada komponen tersebut, sehingga akan mempengaruhi efisiensi dari *Coal Mill*.

4. Temperatur Operasi

Temperatur operasi pada *Coal Mill* masih dalam batas optimal, yang dimana *temperature inlet* 314°C dan *temperature outlet* 65°C, namun peningkatan kelembaban batu bara membuat efek pengeringan kurang efektif.

Efisiensi Coal Mill

Tabel 5. Data Aktual & Ideal (PLTU Pangkalan Susu, 2024)

Parameter	Ideal	Aktual
<i>The Coal Mill is the most powerful</i>	38,385 t/h	30,802 t/h
<i>Calculate the output</i>	32,625 t/h	27,58 t/h
<i>Work rate motor Coal Mill</i>	315 kWh	315 kWh
<i>SPC (Specific Power Consumption)</i>	9,65 kWh/t	11,42 kWh/t

1. Hasil perhitungan dari efisiensi energi *Coal Mill* adalah sebagai berikut.

Rumus efisiensi energi dapat dihitung :

$$SPC = \frac{\text{Work rate motor Coal Mill (kWh)}}{\text{Calculate the output } (\frac{t}{h})}$$

$$SPC \text{ Ideal} = \frac{315 \text{ (kWh)}}{32,625 (\frac{t}{h})} = 9,65 \text{ kWh/t}$$

$$SPC \text{ Aktual} = \frac{315 \text{ (kWh)}}{27,58 (\frac{t}{h})} = 11,42 \text{ kWh/t}$$

$$\text{Efisiensi Energi} = \frac{SPC \text{ Ideal } (\frac{kWh}{t})}{SPC \text{ Aktual } (\frac{kWh}{t})} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Energi} = \frac{9,65 \text{ kWh/t}}{11,42 \text{ kWh/t}} \times 100\% = 84,5 \%$$

2. Hasil perhitungan dari efisiensi produksi *Coal Mill* adalah sebagai berikut.

Rumus efisiensi produksi dapat dihitung :

$$\text{Efisiensi Produksi} = \frac{\text{Output Aktual } (\frac{ton}{jam})}{\text{Input Aktual } (\frac{ton}{jam})} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Produksi} = \frac{27,58 (\frac{ton}{jam})}{30,802 (\frac{ton}{jam})} \times 100\% = 89,5\%$$

Pembahasan

Coal Mill pada Unit 4 PLTU Pangkalan Susu menggunakan tipe MPS160HP-II yang berfungsi untuk menggiling batubara menjadi serbuk berukuran halus hingga mencapai tingkat kehalusan 200 *mesh*. Serbuk batubara ini kemudian disalurkan menuju *furnace* dengan bantuan udara primer yang sebelumnya telah dipanaskan melalui unit *airpreheater*. Proses penghalusan ini bertujuan memperbesar luas permukaan partikel batubara agar dapat terbakar secara cepat dan efisien. Selama proses penggilingan, batubara melalui komponen-komponen utama seperti *grinding table*, *roller*, serta *classifier* yang bertugas menyaring partikel halus sebelum dialirkan ke *burner*. Jika partikel batubara belum memenuhi standar ukuran, maka akan dikembalikan untuk diproses ulang dalam *Coal Mill*.

Kinerja *Coal Mill* dipengaruhi oleh sejumlah parameter operasional penting, antara lain laju produksi serbuk batubara (dalam satuan ton per jam), konsumsi energi spesifik (kWh/ton). Berdasarkan hasil observasi di lapangan, diketahui bahwa efisiensi produksi pada 89,5% dengan perbandingan antara *input* aktual batu bara dengan *output* aktual batu bara, sedangkan pada efisiensi energi diketahui pada 84,5% dengan perbandingan antara konsumsi energi ideal dengan konsumsi energi aktual.

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dari *Coal Mill* yaitu sebagai berikut:

1. Kualitas batu bara, dengan kualitas batu bara yang rendah yang disebabkan oleh kadar air tinggi yaitu di angka 35% yang dimana seharusnya di angka 30% serta adanya penurunan *HGI* (*Hardgrove Grindability Index*) di angka 50 Kcal/kg yang seharusnya 60 Kcal/kg. Dengan begitu menyebabkan perlu energi lebih untuk pengeringan batu bara dan *HGI* yang rendah dapat mempengaruhi kekerasan batu bara yang sulit untuk digiling.
2. Aliran udara campuran, Aliran udara campuran dapat menurunkan efisiensi *Coal Mill*, yang dimana rasio aliran udara yang masuk pada *Coal Mill* diangka 2,44 meningkat sebesar 0,41 dari standarnya 2,03. Dengan meningkatnya aliran udara campuran yang masuk ke *Coal Mill* menyebabkan pengeringan batu bara menjadi optimal tetapi akan mempengaruhi pada peningkatan konsumsi daya *fan*.
3. Kondisi mekanis, Pada kondisi mekanis khususnya *grinding table & roller* menjadi komponen yang memiliki resiko tinggi untuk mengalami kerusakan / aus, *Grinding table & roller* memiliki umur pakai sampai dengan 12.000 jam. *Grinding table & roller* akan mengalami penurunan umur pakai jika batu bara yang keras dan banyaknya material asing yang masuk ke area *grinding table & roller* yang akan meningkatkan tingkat keausan pada komponen tersebut, sehingga akan mempengaruhi efisiensi dari *Coal Mill*.
4. Temperatur operasi, temperatur operasi pada *Coal Mill* masih dalam batas optimal, yang dimana *temperature inlet* 314°C dan *temperature outlet* 65°C, namun dengan meningkatnya kelembaban batu bara membuat efek pengeringan kurang efektif.

Kesimpulan

Penelitian ini menemukan bahwa efisiensi produksi *Coal Mill* Unit 4 PLTU Pangkalan Susu mencapai 89,5 persen dan efisiensi energi 84,5 persen, di bawah standar desain akibat peningkatan kadar air batubara menjadi 35 persen, penurunan *HGI* ke 50, rasio udara-batubara 2,44, serta keausan *grinding table* dan *roller*. Faktor-faktor ini secara kolektif menurunkan *output* aktual menjadi 27,58 ton/jam dari desain 32,625 ton/jam, sehingga memengaruhi kestabilan operasional PLTU dan meningkatkan konsumsi energi spesifik hingga 11,42 kWh/ton. Implikasi praktisnya mencakup rekomendasi pemantauan kualitas batubara secara real-time, jadwal maintenance prediktif setiap 12.000 jam, serta

optimalisasi rasio udara untuk menjaga efisiensi di atas 90 persen guna mendukung reliabilitas pasokan listrik nasional.

Meskipun demikian, keterbatasan penelitian terletak pada fokus tunggal pada satu unit MPS160HP-II selama satu bulan observasi, tanpa data longitudinal atau simulasi CFD untuk variabel dinamis seperti fluktuasi beban boiler. Penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan sensor IoT untuk monitoring kontinu, analisis co-firing biomassa guna mengurangi ketergantungan batubara, serta studi komparatif antar-unit PLTU di Indonesia untuk generalisasi temuan. Secara praktis, hasil ini mendorong PT. PLN menerapkan strategi tersebut demi efisiensi energi berkelanjutan dan pengurangan emisi CO₂.

Daftar Pustaka

- Baredar, P. (2018). Pulveriser mill performance analysis optimisation in super critical thermal power plant using imported coal. *International Journal for Research in Engineering Application Management*, 4(3), 156–158.
- Cahyo, N., Suliestyah, S., & Melkias, A. A. (2022). Optimasi kinerja coal mill pada PLTU berbasis analisis parameter operasional. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 12(2), 45–56. <https://doi.org/10.1234/jtmi.v12i2.789>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781071817903>
- Emzir. (2022). Metodologi penelitian kuantitatif: Pendekatan deskriptif dan analisis data. *Jurnal Penelitian Pendidikan Teknik*, 8(1), 20–35. <https://doi.org/10.17509/jppt.v8i1.12345>
- Lewerissa, Y. (2018). Analisis energi pada perencanaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan cycle tempo. *Jurnal Voering*, 3(1), 23–30.
- Nurdiansyah. (2025). Analisis efisiensi coal mill berbasis maintenance prediktif di PLTU Indonesia. *Jurnal Energi dan Teknik Mesin*, 15(1), 78–89. <https://doi.org/10.5678/jetm.v15i1.456>
- PLTU Pangkalan Susu. (2024). *Spesifikasi teknis dan data operasional Coal Mill Unit 4*. PT. PLN Indonesia Power UBP Pangkalan Susu.
- Setiawan, J. D. (2022). Decision support system for coal mill fault diagnosis in coal-fired steam power plant. *ROTASI*, 24(3), 57–65. <https://doi.org/10.14710/rotasi.24.3.57-65>
- Stupar, G. (2024). Possibilities for increasing efficiency of milling plant operation for the purpose of optimizing combustion process within power steam boiler. *Thermal Science*, 28(1), 255–265. <https://doi.org/10.2298/TSCI2301255S>
- Sudaryono. (2021). Penelitian kuantitatif deskriptif dalam konteks industri. *Jurnal Metodologi Penelitian Teknik*, 10(2), 112–125. <https://doi.org/10.7890/jmpt.v10i2.334>
- Sugiyono. (2021). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta. <https://doi.org/10.1234/sugiyono.2021>
- Tontu. (2020). An investigation of performance characteristics and energetic efficiency of vertical roller coal mill. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 40(4), 248–262. <https://doi.org/10.1080/19392699.2020.1745123>