



Analysis of disruption factors at PT PLN Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan PGU using a grounded theory approach and pareto analysis of lean kaizen

Giry Sembodo^{1✉}, Rizqy Gumilar Praditya², Nimas Indah Fatimah Sari³, Jerry Heikal⁴

Universitas Bakrie, Jakarta^(1,2,3,4)

DOI: 10.31004/jutin.v7i4.36201

✉ Corresponding author:
[girysembodo89@gmail.com]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Listrik;
PT. PLN;
PLTU;
Grounded theory;
Lean Manufacturing;
Reliability Engineering

Ketersediaan energi listrik yang andal dan efisien merupakan faktor krusial dalam pembangunan ekonomi dan sosial. PT PLN (Persero) melalui *sub holding* PT PLN Indonesia Power bertanggung jawab dalam menyediakan tenaga listrik, termasuk mengoperasikan PLTU Banten 2 Labuan berkapasitas 2x300 MW. Namun, pada tahun 2022, PLTU Banten 2 Labuan mengalami 28 kali gangguan yang menyebabkan penurunan kapasitas produksi dari 4.838,4 GWH menjadi 4.259,716 GWH per tahun. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab gangguan dan penurunan kapasitas produksi energi listrik di PLTU Banten 2 Labuan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode *Grounded Theory* dan melibatkan wawancara mendalam terhadap Asisten Manajer Perencanaan Pengendalian Operasi, Asisten Manager Rencana dan Pengendalian Pemeliharaan, dan Asisten Manager Humas dan CSR PLTU Banten 2 Labuan, observasi lapangan, dan studi dokumen. Melalui *open coding*, *axial coding*, dan *selective coding*, ditemukan tiga tema penyebab gangguan: faktor internal (frekuensi 14), faktor eksternal (frekuensi 9), dan *force majeure* (frekuensi 4). Analisis pareto menunjukkan bahwa faktor internal merupakan faktor paling dominan yang berkontribusi sebesar 51.9% terhadap penyebab gangguan, akar masalah di dalamnya terdapat gangguan peralatan (frekuensi 11) yang merupakan faktor internal paling dominan yang berkontribusi sebesar 40.7% terhadap total gangguan. Sehingga perlu optimalisasi strategi pemeliharaan, peningkatan kompetensi SDM, dan penerapan prinsip-prinsip *Lean Manufacturing* diperlukan untuk meningkatkan keandalan operasional PLTU Banten 2 Labuan dengan dilakukannya *Predictive Maintenance*, *Preventive Maintenance*, *Corrective Maintenance*, dan *Breakdown Maintenance* dalam *Reliability Engineering* dan *Maintenance Management*.

Keywords:

Electricity;
 PT PLN;
 Coal-fired power plant;
 Grounded theory;
 Lean manufacturing;
 Reliability Engineering

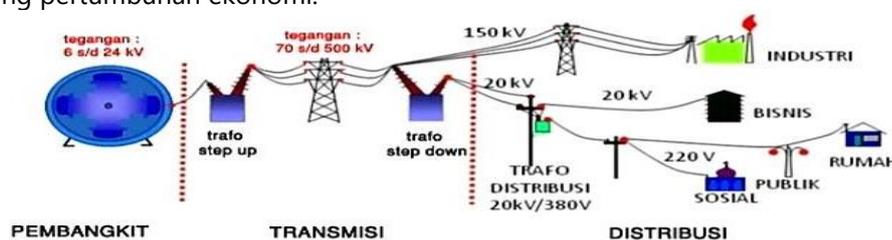
Abstract

The reliable and efficient availability of electricity is a crucial factor in economic and social development. PT PLN (Persero), through its subsidiary PT PLN Indonesia Power, is responsible for providing electricity, including operating the 2x300 MW Banten 2 Labuan coal-fired power plant. However, in 2022, the Banten 2 Labuan plant experienced 28 disruptions, leading to a decrease in production capacity from 4,838.4 GWH to 4,259.716 GWH per year. This study aimed to identify the factors causing these disruptions and the decline in electricity production capacity. A qualitative approach using the Grounded Theory method was employed, involving in-depth interviews with the Assistant Manager of Operation Planning and Control, the Assistant Manager of Maintenance Planning and Control, and the Assistant Manager of Public Relations and CSR of the Banten 2 Labuan plant, as well as field observations and document studies. Through open coding, axial coding, and selective coding, three themes emerged as causes of disruption: internal factors (frequency 14), external factors (frequency 9), and force majeure (frequency 4). Pareto analysis revealed internal factors as the most dominant, contributing to 51.9% of the disruptions, with equipment failure (frequency 11) being the most significant internal factor, contributing 40.7% to the total disruptions. Consequently, optimization of maintenance strategies, improvement of human resource competencies, and the application of Lean Manufacturing principles, including Predictive Maintenance, Preventive Maintenance, Corrective Maintenance, and Breakdown Maintenance within the framework of Reliability Engineering and Maintenance Management, are necessary to enhance the operational reliability of the Banten 2 Labuan power plant.

1. INTRODUCTION

Ketersediaan energi listrik yang andal, efisien, dan berkelanjutan merupakan fondasi bagi pembangunan ekonomi dan kemajuan sosial suatu negara, yang sebagaimana ditegaskan oleh Ardiansyah (2022) bahwa energi listrik merupakan *enabler* bagi pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kualitas hidup. Di Indonesia, PT PLN (Persero) mengemban amanat vital dalam menyediakan tenaga listrik bagi seluruh lapisan masyarakat. PT PLN Indonesia Power, sebagai salah satu *sub holding* PT PLN (Persero), memiliki fokus utama pada pembangkitan tenaga listrik dan jasa operasi serta pemeliharaan pembangkit listrik yang tersebar di seluruh nusantara (Sembodo, 2020). Peran strategis ini, menurut Heizer *et al.* (2017), menuntut optimalisasi kinerja dan keandalan operasional seluruh unit pembangkit yang dikelola guna memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat dan menjaga stabilitas sistem tenaga listrik, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu tulang punggung sistem kelistrikan di Indonesia (Lulufani, 2020). PLTU mengkonversi energi kimia dalam bahan bakar, terutama batubara dan minyak bakar, menjadi energi listrik melalui proses termodinamika (Syahputra, 2020). *Marine Fuel Oil* (MFO) juga digunakan sebagai bahan bakar untuk proses *start-up* awal (Abbas, 1976). PLTU Banten 2 Labuan Power Generation Unit, diresmikan pada tahun 2010 dengan kapasitas 2x300 MW, merupakan salah satu PLTU vital yang berkontribusi signifikan dalam jaringan interkoneksi Jawa-Bali 150 kV (Robiyah, 2018). PLTU ini menyuplai energi listrik ke wilayah Ibukota Jakarta dan kota-kota sekitarnya seperti Cilegon, Serang, dan Tangerang. Keberadaannya merupakan bagian dari Proyek Percepatan PLTU 10.000 MW yang diamanatkan oleh Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2006 (Sembodo, 2020). Pembangunan PLTU skala besar seperti ini, sebagaimana dijelaskan oleh Faraby (2023), merupakan strategi pemerintah dalam memenuhi kebutuhan energi listrik nasional dan mendorong pertumbuhan ekonomi.



Gambar 1. Proses Listrik samapi dengan Listrik dapat dinikmati

Menurut Rais *et al.* (2024), Proses konversi energi di PLTU melibatkan siklus termodinamika yang kompleks. Siklus diawali dengan pemompaan air ke dalam *boiler*. Di dalam *boiler*, energi kimia dari bahan bakar dikonversi menjadi energi panas melalui proses pembakaran. Energi panas tersebut digunakan untuk memanaskan air hingga menghasilkan uap bertekanan dan temperatur tinggi. Uap bertekanan tinggi ini kemudian dialirkan menuju turbin uap, mengubah energi panas menjadi energi mekanik putaran. Turbin uap yang terkopel dengan generator akan menghasilkan energi listrik. Selanjutnya, uap bekas akan dikondensasi kembali menjadi air di dalam kondensor untuk dialirkan kembali ke boiler. Efisiensi siklus termodinamika ini, menurut Moran *et al.* (2011), sangat dipengaruhi oleh karakteristik termodinamika fluida kerja, disain komponen siklus, dan kondisi operasi.



Gambar 2. Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Skema prinsip kerja PLTU menurut Asyar (2020), Syahputra (2020), dan Rais *et al.* (2024) melibatkan komponen-komponen utama, yaitu *boiler*, turbin, generator, kondensor, dan sistem perpipaan. *Boiler* merupakan bejana bertekanan yang didisain untuk menghasilkan uap dengan parameter tertentu. Turbin uap merupakan mesin rotasi yang mengkonversi energi kinetik uap menjadi energi mekanik. Generator merupakan mesin listrik yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Kondensor berfungsi untuk mengkondensasi uap bekas dari turbin uap menjadi air. Sistem perpipaan berperan dalam menyalurkan fluida kerja (air dan uap) dan bahan bakar ke seluruh bagian pembangkit. Keandalan masing-masing komponen ini sangat penting dalam menjaga kelangsungan operasi PLTU, karena menurut Smith (2005) bahwa kegagalan salah satu komponen kritis dapat menyebabkan gangguan operasi dan menurunkan kapasitas produksi.

Keandalan dan efisiensi operasional PLTU menjadi sangat penting untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik dan meminimalkan biaya produksi. Abbas *et al.* (2019) menyatakan bahwa ketepatan waktu pemeliharaan dan pengoperasian sesuai kapasitas merupakan faktor kunci keberhasilan performa PLTU. Strategi pemeliharaan yang efektif, meliputi *Predictive Maintenance*, *Preventive Maintenance*, *Corrective Maintenance*, dan *Breakdown Maintenance*, sangat diperlukan untuk mencegah gangguan dan meminimalkan *downtime* (Ariwibowo *et al.*, 2014). Penerapan strategi pemeliharaan yang tepat, menurut Mobley (2002), dapat meningkatkan keandalan, memperpanjang umur peralatan, dan mengoptimalkan biaya pemeliharaan.

Namun, dalam operasionalnya, PLTU tidak lepas dari berbagai kendala yang dapat menyebabkan gangguan dan penurunan kapasitas produksi. Data dari PLTU Banten 2 Labuan menunjukkan terjadinya 28 kali gangguan sepanjang tahun 2022 yang berdampak pada penurunan pasokan listrik. Penurunan kapasitas produksi energi listrik juga terjadi akibat penambahan waktu pemeliharaan, sehingga kapasitas produksi turun dari 4.838,4 GWH per tahun menjadi 4.259,716 GWH per tahun. Kejadian gangguan ini, sebagaimana dijelaskan oleh Rausand dan Høyland (2004), dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kerusakan komponen, kesalahan manusia, dan faktor lingkungan. Namun, Fenomena ini mengindikasikan perlunya investigasi mendalam untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab gangguan dan penurunan kapasitas produksi energi listrik di PLTU Banten 2 Labuan.



Gambar 3. Grafik Produksi PLTU Labuan dalam 1 Tahun

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengidentifikasi faktor-faktor gangguan yang menyebabkan penurunan kapasitas produksi energi listrik di PLTU Banten 2 Labuan.; (2) Membentuk klasifikasi kategori dari faktor-faktor gangguan yang teridentifikasi.; (3) Membentuk klasifikasi tema dari kategori yang telah terbentuk untuk mengetahui faktor dominan yang menyebabkan penurunan kapasitas produksi energi listrik di PLTU Banten 2 Labuan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Grounded Theory* untuk mengembangkan teori substantif mengenai faktor-faktor penyebab gangguan di PLTU Banten 2 Labuan. *Grounded Theory* merupakan metodologi penelitian kualitatif yang sistematis dan induktif untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasi data guna membangun teori yang berakar dari data itu sendiri. Penelitian ini, penggunaan *Grounded Theory* memungkinkan eksplorasi mendalam terhadap data kualitatif hasil wawancara di PLTU, catatan perawatan, laporan gangguan, dan data operasional, untuk mengidentifikasi pola, hubungan, dan faktor-faktor kunci yang berkontribusi terhadap gangguan. Strauss dan Corbin (1998) menjelaskan bahwa *Grounded Theory* memungkinkan peneliti untuk mengembangkan teori yang "grounded" dalam data, sehingga lebih relevan dan bermakna dalam konteks yang diteliti.

Proses yang dilakukan dalam tujuan penelitian ini berkorelasi erat dengan konsep-konsep dalam prinsip *Lean Manufacturing*. Prinsip *Lean Manufacturing* diterapkan untuk menganalisis dan meningkatkan keandalan operasional PLTU. *Root Cause Analysis* (Anderson & Fagerhaug, 2000) digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab gangguan, *Lean Six Sigma* (Womack & Jones, 2003) untuk meminimalkan variasi dan pemborosan (*waste*), dan *Toyota Way* (Liker, 2020) dengan *kaizen* untuk mendorong perbaikan berkelanjutan. Penerapan *Total Quality Management* (TQM) dan *Total Productive Maintenance* (TPM) (Nakajima, 1988) melibatkan seluruh karyawan dalam mencapai keandalan operasional dan meminimalkan *downtime* peralatan, sementara *Quality Management* (Goetsch & Davis, 2014) menjamin kualitas operasional dan pemeliharaan PLTU. Prinsip-prinsip *Lean Manufacturing* tersebut akan diterapkan dalam mencari akar masalah penyebab gangguan dan perbaikannya untuk mengeliminasi pemborosan (*waste*) dalam seluruh aspek operasional PLTU, mulai dari pengadaan bahan bakar, proses produksi, hingga pemeliharaan peralatan.

Penelitian ini merupakan kajian dalam bidang *Reliability Engineering* dan *Maintenance Management*. *Reliability Engineering* berfokus pada pengembangan metode dan teknik untuk meningkatkan keandalan sistem dan peralatan. Ebeling (2010) menjelaskan bahwa *Reliability Engineering* bertujuan untuk memprediksi, mencegah, dan mengendalikan kegagalan peralatan. *Maintenance Management* berfokus pada perencanaan, pengorganisasian, dan pengendalian kegiatan pemeliharaan untuk memastikan ketersediaan dan keandalan peralatan. Waeyenbergh dan Pintelon (2002) menjelaskan bahwa *Maintenance Management* bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja peralatan dengan meminimalkan biaya pemeliharaan, termasuk dalam sistem tenaga listrik. Grainger dan Stevenson (1994) menjelaskan prinsip-prinsip dasar sistem tenaga listrik adalah pembangkitan, transmisi, dan distribusi energi listrik.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis bagi PT PLN Indonesia Power dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional PLTU Banten 2 Labuan setelah mengidentifikasi faktor gangguan terbesar dan kemudian mengeliminasinya, sehingga dapat menjamin kontinuitas pasokan listrik kepada masyarakat dan mendukung pertumbuhan ekonomi nasional. Rekomendasi strategis tersebut dapat berupa perbaikan sistem pemeliharaan, penerapan teknologi prediktif untuk mendeteksi potensi gangguan, peningkatan kompetensi SDM melalui program pelatihan khusus, dan optimalisasi proses operasional dengan menerapkan prinsip-prinsip *lean manufacturing* dan *kaizen*.

2. METHODS

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dengan pendekatan kualitatif dengan metode *Grounded Theory* untuk menggali dan menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan gangguan pada PLTU Banten 2 Labuan. Sebagaimana dijelaskan oleh Strauss dan Corbin (1998), *Grounded Theory* adalah metodologi penelitian yang sistematis dan induktif, di mana teori dibangun melalui analisis data secara iteratif dan komparatif. Pendekatan ini, menurut Charmaz (2006), memungkinkan peneliti untuk mengembangkan teori yang "grounded" dalam data, sehingga lebih relevan dan bermakna dalam konteks yang diteliti. *Grounded Theory* memberikan

fleksibilitas bagi peneliti untuk mengeksplorasi data secara mendalam dan membangun teori secara bertahap, tanpa terikat oleh kerangka teori yang ada sebelumnya.

Pemilihan responden dilakukan dengan teknik *purposive sampling*. Responden dipilih berdasarkan pengetahuan dan pengalaman mereka terkait operasional dan pemeliharaan PLTU Banten 2 Labuan. Kriteria utama dalam pemilihan responden adalah memiliki informasi yang relevan dengan fokus penelitian, yaitu faktor-faktor penyebab gangguan pada PLTU. Sebagaimana disampaikan oleh Creswell (2014), bahwa *purposive sampling* memungkinkan peneliti untuk memilih informan yang dianggap paling mampu memberikan data yang kaya dan mendalam terkait fenomena yang diteliti. Patton (2002) menambahkan bahwa *purposive sampling* sangat sesuai untuk penelitian kualitatif yang bertujuan untuk memahami makna dan interpretasi individu terhadap suatu fenomena.

Pengumpulan data dilakukan melalui triangulasi sumber, yaitu dengan menggabungkan data dari berbagai sumber untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif dan memvalidasi temuan penelitian. Denzin (1978) mengemukakan bahwa triangulasi sumber dapat meningkatkan kredibilitas dan dependabilitas penelitian kualitatif. Sumber data dalam penelitian ini meliputi wawancara mendalam, observasi, dan dokumen.



Gambar 4. Triangulasi sumber data

Wawancara mendalam dilakukan dengan Asisten Manajer Perencanaan Pengendalian Operasi, Asisten Manajer Rencana dan Pengendalian Pemeliharaan, dan Asisten Manajer Humas dan CSR PLTU Banten 2 Labuan. Wawancara ini bertujuan untuk mengeksplorasi perspektif dan pengalaman mereka terkait faktor-faktor penyebab gangguan pada PLTU. Kvale (1996) menjelaskan bahwa wawancara mendalam memungkinkan peneliti untuk memahami makna subjektif yang diberikan oleh individu terhadap pengalaman dan situasi mereka.

Observasi lapangan dilakukan untuk mengamati secara langsung proses operasional dan pemeliharaan PLTU, serta mengidentifikasi kondisi fisik peralatan dan lingkungan kerja. Spradley (1980) menjelaskan bahwa observasi partisipan memungkinkan peneliti untuk memperoleh pemahaman yang mendalam tentang konteks sosial dan budaya di mana fenomena yang diteliti terjadi.

Studi dokumen meliputi analisis terhadap laporan gangguan, catatan pemeliharaan, data operasional, dan dokumen lainnya yang relevan. Yin (2003) menekankan pentingnya studi dokumen dalam penelitian kualitatif untuk memvalidasi data dari sumber lain dan memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang fenomena yang diteliti.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan teknik *coding* yang dikembangkan dalam *Grounded Theory*. Proses *coding* meliputi *open coding*, *axial coding*, dan *selective coding*. *Open coding* atau biasa disebut hanya *coding* saja, merupakan tahap awal analisis data di mana data dipecah menjadi unit-unit yang lebih kecil dan diberi kode awal. *Axial coding* atau kategori, merupakan tahap selanjutnya di mana kode-kode awal dikelompokkan menjadi kategori-kategori yang lebih luas dan diidentifikasi hubungan antar kategori. *Selective coding* atau tema, merupakan tahap akhir di mana kategori-kategori diintegrasikan menjadi sebuah teori substantif yang menjelaskan fenomena yang diteliti dalam beberapa tema (Glaser, 1978).

Setelah tema terbentuk, penelitian ini akan menerapkan analisis Pareto untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab gangguan yang paling dominan. Analisis Pareto, diperkenalkan oleh Vilfredo Pareto dan dipopulerkan oleh Joseph M. Juran (Juran & Godfrey, 1999), yang merupakan teknik statistik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan faktor-faktor penyebab masalah yang paling signifikan. Dengan menerapkan analisis Pareto, penelitian ini dapat memfokuskan upaya perbaikan pada faktor-faktor penyebab gangguan yang memiliki dampak terbesar terhadap penurunan kapasitas produksi PLTU Banten 2 Labuan.

Hasil analisis data kualitatif, yang diperkaya dengan analisis Pareto dan statistik deskriptif, kemudian diinterpretasi untuk mengembangkan rekomendasi strategis bagi PT PLN Indonesia Power dalam meningkatkan

keandalan dan efisiensi operasional PLTU Banten 2 Labuan. Teori ini akan menjelaskan hubungan antar faktor-faktor penyebab gangguan, serta implikasinya terhadap keandalan dan efisiensi operasional PLTU.

3. RESULT AND DISCUSSION

Tahap awal analisis data dilakukan dengan menerapkan *open coding* terhadap transkrip wawancara, catatan lapangan, dan dokumen-dokumen terkait. *Open coding* merupakan proses pemecahan, pemeriksaan, perbandingan, konseptualisasi, dan pengkategorian data. Dalam tahap ini, setiap data diurai menjadi unit-unit yang lebih kecil, diberi label awal yang merepresentasikan makna dari unit data tersebut, dan dikelompokkan berdasarkan kemiripan dan perbedaannya. Proses ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi konsep-konsep kunci dan dimensi-dimensi tentang faktor-faktor penyebab gangguan pada PLTU Banten 2 Labuan.

Tabel 1. di bawah ini menyajikan hasil *open coding* yang meliputi kutipan dari responden, di mana kode awal yang diberikan pada setiap kutipan, dan klasifikasi kategori dari kode-kode awal tersebut. Kategori-kategori yang terbentuk meliputi gangguan peralatan, keterbatasan tim *expert*, energi primer, alam, lingkungan, *human error*, dan jadwal pemeliharaan. Pengkategorian ini memudahkan peneliti dalam mengelompokkan data yang sejenis dan mengidentifikasi pola-pola yang muncul dari data. Selanjutnya, peneliti melakukan *axial coding* untuk menemukan hubungan antar kategori yang telah terbentuk pada tahap *open coding*. *Axial coding* merupakan proses menghubungkan kategori-kategori dengan subkategorinya. Dalam tahap ini, peneliti menganalisis hubungan antar kategori dengan menggunakan paradigma *coding* yang terdiri dari kondisi kausal, konteks, strategi aksi/interaksi, dan konsekuensi. Proses ini memungkinkan peneliti untuk memahami bagaimana kategori-kategori tersebut saling berhubungan dan mempengaruhi satu sama lain dalam menjelaskan fenomena gangguan pada PLTU. Dalam penelitian ini, kategori "gangguan peralatan" (frekuensi 11) dipilih sebagai kategori inti karena merupakan penyebab dominan dari gangguan pada PLTU. Kategori lainnya, seperti keterbatasan tim *expert* (frekuensi 2), energi primer (frekuensi 4), faktor alam (frekuensi 4), isu lingkungan (frekuensi 3), *human error* (frekuensi 1), dan jadwal pemeliharaan (frekuensi 2), justru tidak dominan.

Tabel 1. Brainstorming Open Coding dan Axial Coding (Kategori dari tiap Coding)

Responden	Coding	Kategori						
		Gangguan peralatan	Keterbatasan tim expert	Energi Primer	Faktor Alam	Isu Lingkungan	Human Error	Jadwal Pemeliharaan
Asisten Manajer Perencanaan dan Pengendalian Operasi	Waktu pemeliharaan terlambat						1	
	Penurunan kualitas kondisi peralatan	1						
	Membutuhkan expert dari luar negeri untuk pemeliharaan		1					
	Pasokan batubara kadang terlambat datang			1				
	Batubara yang datang kualitas tidak baik			1				
	Sering terjadi gempa di sekitar PLTU				1			
	Sering terjadi demo di lingkungan PLTU					1		
	Gangguan pada Boiler	1						
	Gangguan pada Turbin	1						
	Gangguan pada sistem Pendingin	1						
	Gangguan pada Air Bersih	1						
	Kegagalan Change Over mill	1						
	Kebutuhan pengambilan sample data untuk efisiensi penggunaan batubara			1				
	Gangguan peningkatan Temperature pada peralatan	1						
	Gangguan pada sistem pengisian Batubara	1						
	Isu terkait meningkatnya polusi udara akibat Pembangkit PLTU					1		
	Asisten Manajer Perencanaan dan Pengendalian Operasi	Faktor Kualitas peralatan yang dibawah standar saat pertama beroperasinya PLTU	1					
Beberapa kali jadwal pemeliharaan PLTU Labuan mundur dikarenakan kondisi sistem tenaga listrik							1	
Ada Beberapa pemeliharaan yang menggunakan tenaga ahli dari luar negeri			1					
Kerusakan Van Belt dan Gear Box diluar jadwal Pemeliharaan		1						
Gangguan Air Pre Heater (APH)		1						
Asisten Manajer Humas PLTU Labuan	Gempa Bumi pernah menjadi salah satu penyebab terganggunya PLTU Labuan menyebabkan Turbin Vibrasi				1			
	Tsunami menyebabkan salah satu unit PLTU Labuan Gangguan				1			
	Faktor Human Error salah satu faktor penyebab terganggunya PLTU Labuan						1	
	Isu Polusi Udara yang diakibatkan oleh PLTU					1		
	Faktor cuaca berpengaruh terhadap supply batubara ke PLTU Labuan				1			
	Harga Batubara pernah menjadi penyebab menurunnya pasokan listrik PLTU Labuan			1				
Total		11	2	4	4	3	1	2

Berdasarkan hasil *axial coding*, peneliti kemudian melakukan *selective coding* untuk mengintegrasikan kategori-kategori menjadi sebuah teori substantif yang menjelaskan faktor-faktor penyebab gangguan pada PLTU Banten 2 Labuan. *Selective coding* merupakan proses memilih satu kategori sebagai kategori inti, menghubungkan kategori inti dengan kategori lainnya, memvalidasi hubungan tersebut, dan mengisi kategori yang belum jenuh. Hasil *selective coding* ditunjukkan pada Tabel 2. di bawah ini yang merepresentasikan sintesis dari kategori-kategori yang terbentuk pada tahap *axial coding* ke dalam tiga tema utama yang menjelaskan sumber faktor-faktor penyebab gangguan pada PLTU Banten 2 Labuan. Tema-tema tersebut adalah faktor internal, faktor eksternal, dan *force majeure*. Faktor internal, dengan total frekuensi 14 poin, mencakup aspek-aspek yang berasal dari dalam PLTU itu sendiri, seperti gangguan peralatan, *human error*, dan jadwal pemeliharaan. Faktor eksternal (total frekuensi 9 poin) mencakup aspek-aspek yang berasal dari luar PLTU, seperti kualitas dan suplai energi primer, serta kondisi lingkungan sekitar, dan juga keterbatasan tim *expert*.

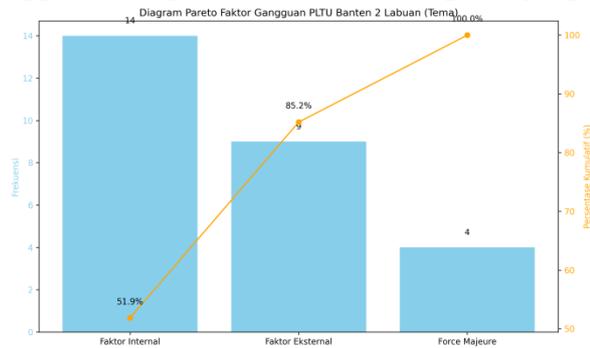
Force majeure (total frekuensi 4 poin) mencakup faktor-faktor yang bersifat *uncontrollable* seperti faktor alam atau bencana alam.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa "faktor internal" merupakan sumber faktor dominan penyebab gangguan pada PLTU Banten 2 Labuan, dengan skor frekuensi sebesar 14 poin dari hasil *coding* data wawancara, di mana Gangguan peralatan menduduki peringkat tertinggi di antara faktor-faktor internal, dengan skor frekuensi 11 poin, yang mengindikasikan perlunya perhatian khusus pada strategi pemeliharaan peralatan. *Human error* dan jadwal pemeliharaan juga berkontribusi terhadap terjadinya gangguan, meskipun dengan proporsi yang lebih kecil dalam faktor internal tersebut. Kemudian, Faktor eksternal dan *force majeure* juga merupakan faktor yang perlu diperhatikan, namun tidak se-dominan faktor internal dalam mempengaruhi keandalan operasional PLTU Banten 2 Labuan.

Tabel 2. Brainstorming Selective Coding (Tema Hasil Coding)

Kategori	Score	Tema		
		Internal	Eksternal	Force major
Gangguan peralatan	11	11		
Keterbatasan tim expert	2		2	
Energi Primer	4		4	
Faktor Alam	4			4
Isu Lingkungan	3		3	
Human Error	1	1		
Jadwal Pemeliharaan	2	2		
Total	27	14	9	4

Diagram Pareto disajikan pada gambar 5 di bawah ini dan memberikan visualisasi yang jelas dan informatif mengenai distribusi dan akumulasi frekuensi faktor-faktor penyebab gangguan pada PLTU Banten 2 Labuan. Diagram ini memudahkan dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang memiliki kontribusi terbesar terhadap terjadinya gangguan, sehingga memungkinkan prioritas penanganan yang lebih efektif.



Gambar 5. Diagram Pareto Tema

Penerapan prinsip-prinsip *Lean Manufacturing* di PLTU Banten 2 Labuan untuk mengetahui faktor paling dominan penyebab masalah, diagram Pareto ini menyajikan analisis penyebab gangguan dengan membagi faktor-faktor gangguan ke dalam tiga kategori utama, yaitu faktor internal, faktor eksternal, dan *force majeure*. Sumbu vertikal sebelah kiri menunjukkan frekuensi kejadian gangguan, sedangkan sumbu vertikal sebelah kanan menunjukkan persentase kumulatif dari total gangguan. Pengendalian gangguan merupakan bagian penting dari *Total Productive Maintenance* (TPM) untuk meningkatkan keandalan, efisiensi dan produktivitas PLTU.

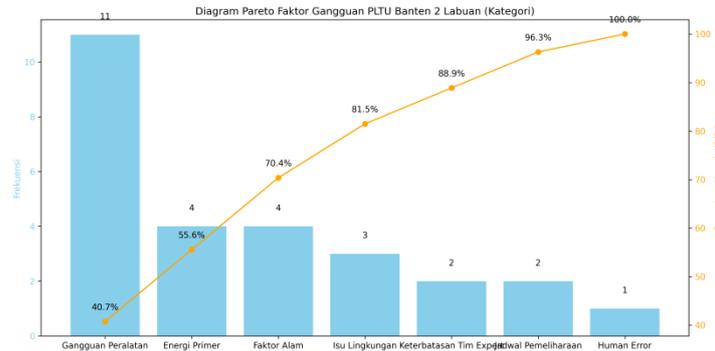
Faktor internal mendominasi sebagai penyebab gangguan dengan frekuensi absolut sebesar 14 poin, yang berkontribusi sebesar 51.9% dari total gangguan berdasarkan diagram Pareto yang terbentuk. Hal ini mengindikasikan bahwa lebih dari separuh gangguan yang terjadi di PLTU Banten 2 Labuan bersumber dari masalah internal yang terlihat pada tabel 1 dan tabel 2, seperti gangguan peralatan, *human error*, dan jadwal pemeliharaan. Sehingga penerapan prinsip *Kaizen*, dengan fokus pada perbaikan berkelanjutan, dapat diimplementasikan untuk menganalisis dan mengurangi gangguan yang disebabkan oleh faktor internal.

Faktor eksternal, yang mencakup gangguan dari luar sistem PLTU seperti terlihat pada tabel 1 dan 2 yakni seperti keterbatasan tim *expert*, energi primer, dan isu lingkungan, berada di urutan kedua dengan frekuensi 9 poin. Meskipun frekuensinya lebih rendah daripada faktor internal, namun faktor eksternal tetap berkontribusi secara signifikan terhadap total gangguan, yaitu sebesar 33.3%. Sehingga perlu identifikasi dan mitigasi risiko terkait faktor eksternal yang dapat dilakukan melalui analisis risiko dan perencanaan kontingensi.

Force majeure, yang merujuk pada kejadian di luar kendali manusia seperti faktor alam yakni bencana contohnya gempa bumi atau tsunami dan lainnya, merupakan penyebab gangguan dengan frekuensi paling

rendah, yaitu 4 poin, dan hanya berkontribusi sebesar 14.8% terhadap total gangguan. Meskipun sulit dikendalikan, dampak dari *force majeure* dapat diminimalkan melalui perencanaan kesiapsiagaan bencana dan sistem pemulihan yang cepat, sejalan dengan prinsip TPM dalam memastikan keandalan operasional.

Sehingga, faktor paling dominan penyebab gangguan adalah faktor internal, yang berkontribusi sebesar 51.9% terhadap penyebab gangguan, dengan jumlah frekuensi sebesar 14 poin, yang berasal dari gangguan peralatan (frekuensi 11), jadwal pemeliharaan (frekuensi 2) dan *human error* (frekuensi 1). Berdasarkan prinsip Pareto dan filosofi *Lean Manufacturing*, dengan memfokuskan upaya perbaikan dan pencegahan pada faktor internal maka PLTU Banten 2 Labuan berpotensi mengurangi sebagian besar gangguan yang terjadi.



Gambar 6. Diagram pareto kategori

Gangguan peralatan merupakan faktor internal paling dominan penyebab gangguan pada PLTU Banten 2 Labuan yang terlihat pada diagram pareto pada gambar 6., menunjukkan permasalahan dalam keandalan dan pemeliharaan komponen-komponen utama PLTU, seperti *boiler*, *turbin*, *generator*, *condenser*, dan sistem perpipaan., dimana gangguan pada komponen-komponen tersebut berkontribusi sebesar 40.7% terhadap total gangguan. *Boiler* merupakan bejana bertekanan yang didesain untuk menghasilkan uap dengan parameter tertentu, turbin uap adalah mesin rotasi yang mengkonversi energi kinetik uap menjadi energi mekanik, *generator* adalah mesin listrik yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik, *condenser* berfungsi untuk mengkondensasi uap bekas dari turbin uap menjadi air, dan sistem perpipaan berperan dalam menyalurkan fluida kerja (air dan uap) dan bahan bakar ke seluruh bagian pembangkit. Gangguan peralatan dapat diidentifikasi melalui pemantauan parameter operasional PLTU, seperti tekanan, temperatur, aliran, level, dan komposisi gas. Sistem kontrol yang baik dapat membantu mengatur dan mengontrol proses operasional PLTU, seperti pengaturan pembakaran bahan bakar, pengaturan bukaan katup, dan sinkronisasi generator dengan jaringan, sehingga meminimalkan *human error*. Sistem proteksi yang handal dapat melindungi peralatan PLTU dari kerusakan, seperti proteksi *overload*, proteksi *short circuit*, dan proteksi gangguan sistem, sehingga mengurangi frekuensi gangguan peralatan. Sehingga dari akar masalah tersebut, perlu untuk melakukan pemeliharaan yang tepat untuk mencegah gangguan dan meminimalkan *downtime*. Strategi pemeliharaan yang efektif dari akar masalah penyebab gangguan tersebut perlu dilakukannya *Predictive Maintenance*, *Preventive Maintenance*, *Corrective Maintenance*, dan *Breakdown Maintenance*, untuk menjaga keandalan dan efisiensi operasional PLTU. Penerapan prinsip *Kaizen*, dengan fokus pada perbaikan berkelanjutan, harus diimplementasikan untuk menganalisis dan mengurangi gangguan yang disebabkan oleh faktor internal.

4. CONCLUSION

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi faktor-faktor penyebab gangguan yang berdampak pada penurunan kapasitas produksi energi listrik di PLTU Banten 2 Labuan. Melalui pendekatan *Grounded Theory*, ditemukan bahwa faktor internal merupakan sumber faktor dominan penyebab gangguan, dengan skor frekuensi sebesar 14 poin dari hasil *coding* data wawancara. Gangguan peralatan menduduki peringkat tertinggi di antara faktor-faktor internal, dengan skor frekuensi 11 poin, yang mengindikasikan perlunya perhatian khusus pada strategi pemeliharaan peralatan. *Human error* dan jadwal pemeliharaan juga berkontribusi terhadap terjadinya gangguan, meskipun dengan proporsi yang lebih kecil. Faktor eksternal dan *force majeure* juga merupakan faktor yang perlu diperhatikan, namun tidak se-dominan faktor internal dalam mempengaruhi keandalan operasional PLTU Banten 2 Labuan.

Diagram Pareto yang dihasilkan dari penelitian ini memberikan visualisasi yang jelas dan informatif mengenai distribusi dan akumulasi frekuensi faktor-faktor penyebab gangguan. Diagram Pareto tema menunjukkan bahwa faktor internal berkontribusi sebesar 51.9% terhadap total gangguan, sementara diagram

Pareto kategori menunjukkan bahwa gangguan peralatan berkontribusi sebesar 40.7% terhadap total gangguan. Hal ini menegaskan bahwa gangguan peralatan merupakan faktor internal utama yang perlu mendapatkan perhatian dalam upaya meningkatkan keandalan operasional PLTU Banten 2 Labuan.

Berdasarkan temuan ini, direkomendasikan kepada PT PLN Indonesia Power untuk memfokuskan upaya perbaikan pada optimalisasi strategi pemeliharaan peralatan dan peningkatan kompetensi SDM. Strategi pemeliharaan yang efektif adalah perlu dilakukannya *Predictive Maintenance*, *Preventive Maintenance*, *Corrective Maintenance*, dan *Breakdown Maintenance*, untuk menjaga keandalan dan efisiensi operasional PLTU Banten 2 Labuan dalam *Reliability Engineering* dan *Maintenance Management*. Penerapan prinsip-prinsip *Lean Manufacturing*, *Kaizen*, *Root Cause Analysis*, dan *Lean Six Sigma*, dapat diimplementasikan untuk menganalisis dan mengurangi gangguan yang disebabkan oleh faktor internal. Selain itu, Strategi mitigasi risiko terhadap faktor eksternal dan *force majeure* juga perlu dikembangkan untuk mengantisipasi potensi gangguan yang berasal dari luar PLTU Banten 2 Labuan.

5. REFERENCES

- Abbas, H., Jamaluddin, & Arif, M. (2019). Analisa pembangkit tenaga listrik dengan tenaga uap di PLTU. *ILTEK*, 14(01), 2024–2028.
- Anderson, B., & Fagerhaug, T. (2000). *Root cause analysis: Simplified tools and techniques*. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Ardiansyah, H. (2022). Hydropower technology: Potential, challenges, and the future. In H. Ardiansyah & P. Ekadewi (Eds.), *Indonesia post-pandemic outlook: Strategy towards net-zero emissions by 2060 from the renewables and carbon-neutral energy perspectives* (pp. 89–107). BRIN Publishing.
- Aribowo, D., Wiryadinata, R., & Alexander, D. (2014). Care and maintenance system generator transformer 20KV-150KV. *Jurnal Electrician*, 8(1), 1–6.
- Asyar, M. T. (2020). *Pengoperasian generator pembangkit listrik tenaga uap PT Indonesia Power PLTU Barru OMU 2x50 MW* (Kuliah Kerja Praktek, Politeknik ATI Makassar). Kementerian Perindustrian R.I.
- Charmaz, K. (2006). *Constructing grounded theory: A practical guide through qualitative analysis*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Denzin, N. K. (1978). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods*. New York: McGraw-Hill.
- Ebeling, C. E. (2010). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. Long Grove, IL: Waveland Press.
- Faraby, M. Z. A. (2023). Dampak kebijakan pemerintah dalam keberlanjutan PLTU Batang terhadap visi Indonesia 2024 terkait pengelolaan lingkungan. *Perkara: Jurnal Ilmu Hukum dan Politik*, 1(4), 59–76.
- Glaser, B. G. (1978). *Theoretical sensitivity: Advances in the methodology of grounded theory*. Mill Valley, CA: Sociology Press.
- Goetsch, D. L., & Davis, S. B. (2014). *Quality management for organizational excellence*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power system analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Operations management: Sustainability and supply chain management*. Pearson Education. Upper Saddle River, NJ.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Kvale, S. (1996). *Interviews: An introduction to qualitative research interviewing*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Liker, J. K. (2020). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Lulufani, R. (2020). *Dampak ekonomi dan lingkungan keberadaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Tanjung Jati B terhadap masyarakat di Desa Tubanan Kecamatan Kembang Kabupaten Jepara* (Skripsi). Jurusan Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi, Universitas Negeri Semarang.
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance*. Boston: Butterworth-Heinemann.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2011). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research & evaluation methods*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Rais, M., Ritnawati, Wahyu, R. P., Syarif, I., Dahri, A. T., Aminuddin, R., Erdawaty, Sarman, R., Rauf, R., & Berlianti, R. (2024). *Pembangkit energi listrik: Instalasi dan prinsip kerja*. Yayasan Kita Menulis. Medan.
- Robiyah, S. (2018). *Analisis proteksi relay over current pada generator transformator unit I PLTU Banten 2 Labuan dengan kapasitas 300 MW* (Skripsi). Jurusan Teknik Elektro, Unjani, Cimahi.
- Sembodo, G. (2020). *Digitalisasi proses penerbitan berita acara emergency (BAE) dan letter of intent (LOI) melalui aplikasi Proemergency (Proem) untuk kondisi emergency di PLTU Banten 2 Labuan OMU*. Project assignment supervisory education (SE). PT PLN (Persero).
- Smith, R. (2005). *Reliability, maintainability and risk: Practical methods for engineers*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Spradley, J. P. (1980). *Participant observation*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Syahputra, R. (2020). *Teknologi pembangkit tenaga listrik*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Trochim, W. M. K. (2006). *The research methods knowledge base*. Cincinnati, OH: Atomic Dog Publishing.
- Waeyenbergh, G., & Pintelon, L. (2002). A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 77(3), 299–313.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York, NY: Simon and Schuster.
- Yin, R. K. (2003). *Case study research: Design and methods*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.