

Distribusi Arus Tak Merata pada *Carbon Brush* Generator Di Sistem Eksitasi Berdasarkan Evaluasi Data Pemeliharaan HAR LISTRIK PLTU UBP 3 BANTEN LONTAR

Nazwa Amelia Purnama¹, Bagus Dwi Cahyono²,

^{1,2}Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117, (0254) 280330

Keywords:

Carbon Brush, Current Distribution, Fishbone/Ishikawa Diagram, Generator Excitation System, Preventive and *Corrective* Maintenance

Correspondent Email:

2283230005@untirta.ac.id

Generator sinkron di PLTU UBP 3 Banten Lontar menggunakan sistem eksitasi yang terdiri dari *Carbon Brush* dan *slip ring* untuk mengalirkan arus ke rotor. Seharusnya, arus pada *Carbon Brush* terbagi secara merata, tetapi hasil pengamatan mengungkapkan adanya ketidak seimbangan arus yang dipengaruhi oleh berbagai faktor mekanis, kelistrikan, kondisi grounding, serta keadaan brush itu sendiri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai distribusi arus pada *Carbon Brush* dan menemukan faktor-faktor yang menyebabkan ketidakseimbangan dengan metode *Fishbone/Ishikawa*. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah studi kasus dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif, melalui observasi di lapangan, wawancara, serta analisis data dari pengukuran arus pada kegiatan pemeliharaan preventif selama tahun 2022, 2023, dan 2025.



Copyright © JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

The synchronous generator at the Banten Lontar PLTU UBP 3 uses an excitation system consisting of carbon brushes and slip rings to supply current to the rotor. The current in the carbon brushes should be evenly distributed, but observations revealed a current imbalance influenced by various mechanical, electrical, grounding conditions, and the condition of the brushes themselves. The purpose of this study is to assess the current distribution in the carbon brushes and identify the factors causing the imbalance using the Fishbone/Ishikawa method. The method used in this study is a case study with qualitative and quantitative approaches, through field observations, interviews, and data analysis from current measurements during preventive maintenance activities during 2022, 2023, and 2025.

1. PENDAHULUAN

PLTU Lontar atau PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar adalah pembangkit listrik tenaga uap yang terletak di Jl. Insinyur Sutami, Desa Lontar, Kecamatan Kemiri, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten. Pembangkit ini memiliki empat unit, masing-masing dengan kapasitas 315 MW, sehingga total kapasitas terpasang mencapai 1. 260 MW [1]. Salah satu komponen utama dalam proses pembangkitannya adalah generator sinkron yang berfungsi mengubah energi mekanik dari turbin uap menjadi energi listrik. Generator

yang dipakai bertipe QFSN-300-2-20B, dengan kapasitas keluaran maksimum berkelanjutan sebesar 316 MW (371,7 MVA), tegangan nominal 20 kV, arus nominal 10,732 kA, dan faktor daya 0,85 lagging. Dengan spesifikasi ini, generator tersebut dirancang untuk berfungsi dengan andal dan efisien, serta berperan penting dalam memastikan kontinuitas pasokan listrik dalam skala besar dan mendukung stabilitas sistem tenaga listrik nasional.

Pada sebuah generator sinkron, sistem eksitasi merupakan bagian yang sangat penting,

karena pada sistem ini diatur dan dipompa arus searah ke belitan medan generator untuk membentuk dan mengendalikan tegangan generator. Pengaturan terkait penyesuaian arus eksitasi ini harus disesuaikan dengan kebutuhan generator serta jaringan listrik yang terhubung. Sistem eksitasi generator sinkron adalah bagian integral dari jaringan tenaga listrik. Sistem eksitasi generator sinkron memungkinkan daya yang dihasilkan oleh mesin (turbin air) dapat disalurkan ke jaringan listrik. Oleh karena itu, performa serta ketersediaan peralatan eksitasi menjadi prioritas utama dalam pemeliharaan sebuah generator [2].

Sistem eksitasi DC (*Direct Current*) adalah sistem yang menyuplai arus ke rotor generator sinkron melalui *slip ring* secara langsung. Eksiternya dapat terpasang pada poros yang sama atau berbeda dengan motor, dan bisa bersifat *self-excited* atau *separately excited*, menggunakan magnet permanen [3]. *Automatic Voltage Regulator* (AVR) adalah bagian penting dari sistem eksitasi pada generator sinkron, yang bertugas mengendalikan arus eksitasi agar output tegangan generator tetap stabil meskipun ada perubahan beban. Dengan adanya AVR, reaksi generator terhadap perubahan beban menjadi lebih segera dan terkelola, sehingga mutu listrik yang dihasilkan tetap terjamin. Selain itu, AVR juga berfungsi menjaga agar generator tetap sinkron dengan sistem tenaga listrik dan mencegah masalah yang bisa muncul akibat fluktuasi tegangan yang mendadak [4].

Self excited menggunakan *Carbon Brush* untuk menghantarkan arus listrik ke rotor. *Carbon Brush* dan *slip-ring* adalah elemen krusial dalam unit pengubah energi listrik. Meski demikian, *Carbon Brush* sangat terpengaruh oleh kondisi lingkungan, sehingga perlu diganti secara rutin. Generator di PLTU yang memanfaatkan air laut, endapan garam dari semprotan dapat mempengaruhi koefisien gesekan pada area kontak sistem, yang menyebabkan perubahan dalam temperatur, peningkatan tingkat keausan, serta pemendekan waktu penggantian. Perhitungan temperatur dan kapasitas keausan *Carbon Brush* memiliki arti praktis yang sangat penting.

Mengacu pada Hukum Kirchhoff, arus yang mengalir masuk ke satu titik di dalam sebuah rangkaian akan terbagi ke beberapa cabang yang sejajar sesuai dengan prinsip Ohm. Dalam

sistem carbon brush-dan slip ring, semua brush yang dipasang secara paralel pada rotor seharusnya mendapatkan pembagian arus yang hampir sama bila resistansi kontak masing-masing brush adalah serupa. Oleh karena itu, arus eksitasi dalam *hydrogenerator* diharapkan terdistribusi secara merata di setiap *Carbon Brush* [5].

Penelitian relevan yang dilakukan Billy [6] menunjukkan karakteristik kontak *Carbon Brush* pada *hydrogenerator*, yang menemukan bahwa tegangan pada brush positif selalu lebih rendah dibandingkan dengan brush negatif. Selisih tegangan ini menyebabkan arus yang mengalir menjadi tidak merata di antara brush, sehingga ada beberapa brush yang menerima arus yang lebih tinggi daripada yang lain. Ketidakteraturan distribusi arus ini semakin diperparah oleh adanya getaran rotor yang menyebabkan fenomena bouncing dan percikan listrik pada sebagian brush.

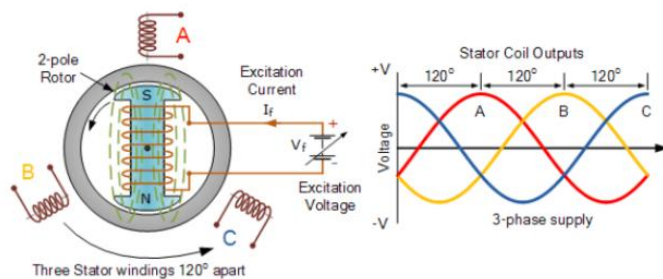
Selain itu, tekanan dari pegas pada *brush* terbukti memiliki dampak yang signifikan terhadap tingkat keausan dan penurunan tegangan kontak. Tekanan yang tidak merata dapat menyebabkan resistansi kontak antar *brush* menjadi berbeda, sehingga distribusi arus yang mengalir pun tidak seimbang. Hal tersebut yang menimbulkan ketidakseimbangan arus dengan begitu dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi tekanan pegas secara langsung memengaruhi tahanan kontak dan perilaku keausan pada kontak geser dinamis, sehingga faktor mekanis seperti kekuatan pegas dan penempatan *brush* berperan penting dalam menjaga kestabilan arus dan keandalan operasi mesin listrik [7].

Arus pada *Carbon Brush* seharusnya terdistribusi secara merata, dalam praktiknya terdapat banyak faktor yang mempengaruhi distribusi arus. Beberapa faktor tersebut meliputi perbedaan resistansi kontak akibat keausan, variasi tekanan pegas, kondisi permukaan slip ring, serta getaran rotor. Ketidakteraturan distribusi arus ini tidak hanya mengurangi efektivitas sistem eksitasi, tetapi juga dapat berpengaruh langsung pada keselamatan, keandalan, dan umur pemakaian *Carbon Brush* dalam *hydrogenerator*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator Sinkron

Generator sinkron (biasanya dikenal sebagai alternator) adalah perangkat sinkron yang berfungsi untuk mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Ada dua jenis kumparan dalam mesin sinkron yang menjadi prinsip kerja mesin ini, yaitu kumparan yang mengalirkan penguatan DC yang disebut kumparan medan, dan kumparan lain yang dikenal sebagai kumparan jangkar di mana Gaya Gerak Listrik arus bolak-balik dihasilkan. Prinsip kerja dari sebuah generator AC (*Alternating Current*) yaitu, generator memiliki lilitan dalam masing-masing fasa yang terdistribusi pada masing-masing alur stator [8].



Gambar 1. *Generator Sinkron*
(Dokumentasi: PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar)

Prinsip kerja generator AC didasarkan pada hukum induksi elektromagnetik, di mana setiap lilitan pada fasa stator yang terdistribusi dalam alur-alurnya akan memotong garis gaya magnet dari rotor yang berputar. Ketika rotor berputar satu kali penuh dalam satu detik, maka akan dihasilkan satu siklus tegangan atau frekuensi 1 Hertz (Hz). Sebagai contoh, pada PLTU UBP 3 Banten Lontar generator sinkron yang digunakan memiliki 2 kutub [9]. Berdasarkan rumus kecepatan sinkron :

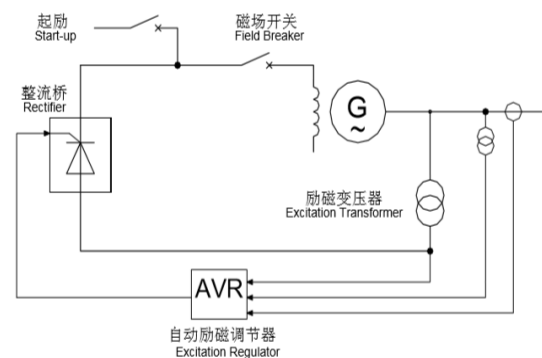
$$n = \frac{120 \cdot f}{P}$$

untuk mencapai frekuensi sistem standar di Indonesia yaitu 50 Hz, maka kecepatan sinkron rotor yang dibutuhkan adalah sebesar 3000 rpm. Dengan demikian, dapat dipahami bahwa jumlah kutub pada generator berbanding terbalik dengan kecepatan sinkronnya. Pada kondisi 2 kutub, rotor harus berputar cukup tinggi yaitu 3000 rpm agar mampu menghasilkan frekuensi listrik sebesar 50 Hz yang sesuai dengan standar sistem tenaga listrik di Indonesia.

2.2 Sistem *Self Excited*

Eksitasi sendiri pada generator induksi terjadi ketika rotor digerakkan oleh *prime mover* (penggerak utama) dan sebuah kapasitansi yang sesuai dihubungkan pada terminal stator. Dalam kondisi tersebut, kapasitansi terminal menyuplai daya reaktif tertinggal (*lagging reactive power*) yang diperlukan untuk membentuk fluks celah udara, sehingga mesin ini sering disebut sebagai *self-excited induction generator* (SEIG) [10].

Berbeda dengan generator induksi yang terhubung ke jaringan listrik, baik frekuensi maupun tegangan terminal SEIG dapat berubah sesuai dengan beban, meskipun kecepatan rotor dijaga tetap konstan. Peningkatan kecepatan rotor akan menghasilkan kenaikan frekuensi yang sebanding, yang sering disertai dengan tegangan lebih (*over voltage*) yang parah dan arus berlebih [11].



Gambar 2. *Single line Self Excited Dengan Carbon Brush*
(Dokumentasi : PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar)

Pada Gambar 2, dapat dilihat diagram *single line* dari sistem eksitasi pada PLTU Banten 3 Lontar. Arus searah (DC) dari perangkat penyearah dialirkan ke rotor generator melalui *slip ring* dan *carbon brush*. *Carbon Brush* berfungsi sebagai penghantar yang membawa arus eksitasi ke lilitan rotor dengan cara bersentuhan langsung pada *slip ring*, sehingga seiring berjalannya waktu, material karbon akan mengalami keausan akibat gesekan tersebut.

Saat proses *start-up*, arus eksitasi diperoleh melalui proses *field flashing* sampai tegangan keluaran generator mencapai $\pm 15\%$. Setelah melewati nilai tersebut, penyuplai arus eksitasi sepenuhnya berasal dari *rectifier*. *Automatic Voltage Regulator (AVR)* memiliki tugas untuk menjaga kestabilan tegangan

keluaran generator, sementara *Current Transformer* (CT) dan *Potential Transformer* (PT) digunakan untuk mengukur nilai arus dan tegangan keluaran dari generator [12].

2.3 Teori Distribusi Arus

Hukum Kirchhoff Arus (Kirchhoff's Current Law/KCL) merupakan salah satu hukum dasar dalam analisis rangkaian listrik. KCL menyatakan bahwa jumlah arus yang masuk ke suatu simpul sama dengan jumlah arus yang keluar dari simpul tersebut. Secara matematis dapat ditulis sebagai:

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

Pada *Generator sinkron* dengan sistem *Self Excited* arus DC disuplai dari sumber arus ke kumparan rotor melalui rangkaian *slip ring* dan karbon brush. Pada hal ini seluruh *Carbon Brush* di susun secara paralel ke simpul yang sama. Jika berdasarkan teori KCL arus akan terdistribusi merata ke setiap *Carbon Brush* yang terpasang, karena setiap jaur merupakan percabangan paralel dengan asumsi *resistansi* yang seragam [13].

Namun, dalam praktiknya, distribusi arus ini tidak merata. Hal ini disebabkan oleh resistansi kontak setiap *brush* yang berbeda-beda. Beberapa faktor yang mempengaruhi resistansi kontak meliputi tekanan pegas, kondisi permukaan *slip ring*, keausan *brush*, getaran rotor, eksentrisitas, serta kondisi lingkungan. Dalam jurnal yang ditulis oleh Zhao, dijelaskan bahwa hubungan antara *brush* dan *slip ring* dipengaruhi oleh eksentrisitas rotor. Ketika rotor bergetar atau beresilasi, beberapa *brush* mungkin kehilangan kontak sementara, sehingga arus yang seharusnya terdistribusi merata cenderung mengalir lebih besar ke *brush* lain yang masih terhubung sepenuhnya. Fenomena ini menjelaskan mengapa dalam pemeliharaan generator, sering ditemukan arus *brush* yang tidak seimbang, meskipun sumber arus yang diberikan sama [8].

2.4 Faktor Teknis Penyebab Ketidakmerataan Distribusi Arus

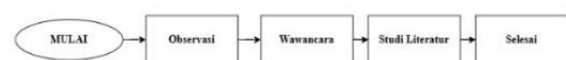
Carbon Brush adalah bagian penting yang berfungsi sebagai penghubung listrik antara bagian yang bergerak (seperti komutator atau *slip ring*) dan rangkaian listrik. Untuk memastikan motor, *generator*, atau perangkat berputar lainnya berfungsi dengan baik, *brush* karbon, pemegang *brush*, dan permukaan yang

bersentuhan harus dirancang dan dirawat secara optimal.

Salah satu masalah utama dalam sistem ini adalah ketidakmerataan tekanan kontak, yang berarti tekanan pegas pada masing-masing *brush* tidak sama. Hal ini menyebabkan gaya tekan *brush* pada permukaan kontak bervariasi, sehingga resistansi kontak menjadi tidak stabil. Kondisi ini memengaruhi aliran arus listrik, menyebabkan peningkatan suhu, mempercepat kerusakan *brush* dan komutator, serta dapat berpotensi mengakibatkan percikan listrik [13].

Selain itu keausan, tingkat kekasaran, dan keadaan permukaan *slip ring* memiliki pengaruh signifikan terhadap fluktuasi resistansi kontak pada *brush* karbon. Penelitian oleh Slavič [6] menunjukkan bahwa kekasaran yang tidak teratur pada permukaan bisa menyebabkan peningkatan getaran yang khas saat keausan bertambah, sehingga distribusi arus menjadi tidak stabil. Kekasaran ini juga berkontribusi pada penurunan tegangan kontak, di mana semakin kecil area kontak, maka resistansi akan semakin tinggi. Faktor-faktor lingkungan dan kondisi operasional seperti suhu, arus, dan tekanan pegas juga memperburuk variasi resistansi. Barnawi [14] dalam jurnalnya menjelaskan bahwa pada suhu rendah, proses keausan berlangsung lebih cepat, sementara pada suhu tinggi justru mengurangi penurunan tegangan kontak. Di sisi lain, penelitian oleh Wang [15] menunjukkan bahwa besarnya arus mempercepat kerugian akibat keausan, sementara variasi kecepatan geser dapat mengubah mekanisme keausan. Oleh karena itu, *slip ring* yang mengalami keausan, goresan, atau kontaminasi akan menyebabkan variasi resistansi antara *brush*, sehingga distribusi arus menjadi tidak merata, dan *brush* yang memiliki kontak lebih baik cenderung membawa arus yang lebih besar.

3. METODE PENELITIAN



Gambar 3. Alur Penelitian
(Dokumentasi: Pribadi)

Gambar 3 menunjukkan urutan dari penelitian yang dimulai dengan observasi, kemudian dilanjutkan dengan wawancara, tinjauan pustaka, hingga mencapai tahap

penutup. Proses penelitian ini dilakukan dengan cara observasi yang bersifat partisipatif serta wawancara, di mana peneliti berinteraksi langsung di lapangan untuk mengumpulkan data yang diperlukan. Penelitian ini bersifat deskriptif dengan metode studi kasus, yang menggunakan pendekatan kombinasi antara kualitatif dan kuantitatif [16].

Pada analisis kuantitatif, informasi diambil dari pengukuran arus pada masing-masing *Carbon Brush* selama pemeliharaan preventif. Sementara itu, analisis kualitatif bertujuan untuk menemukan faktor-faktor yang menyebabkan ketidakseimbangan distribusi arus dengan memanfaatkan data pemeliharaan dan pendekatan fishbone. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi distribusi arus pada *Carbon Brush* dalam sistem eksitasi generator sinkron di PLTU UBP 3 Banten Lontar. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan gambaran tentang kondisi di lapangan dan menjadi dasar untuk pembuatan rekomendasi perbaikan strategi pemeliharaan, sehingga sistem eksitasi menjadi lebih handal dan umur pakai komponen bisa ditingkatkan.

Penelitian ini dilakukan di PLTU UBP 3 Banten Lontar, terletak di Jl. Insinyur Sutami, Desa Lontar, Kecamatan Kemiri, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten. Fokus dari penelitian ini adalah pada generator sinkron Unit 3 bertipe QFSN-300-2-20B, terutama pada sistem eksitasi yang menggunakan komponen *Carbon Brush* untuk mengalirkan arus ke rotor melalui slip ring. Data yang digunakan dalam studi ini diambil dari kegiatan pemeliharaan preventif yang dilakukan oleh tim HAR Listrik pada tahun 2022, 2023, dan 2025.

4. Hasil Pembahasan

Penelitian yang dilakukan di PLTU UBP 3 Banten Lontar pada generator sinkron Unit 3, didapatkan hasil wawancara bahwa sistem eksitasi pada generator ini memanfaatkan *Carbon Brush* untuk menyalurkan arus ke rotor melalui slip ring, pada *self-excitation*, arus DC dikirim ke kumparan rotor melalui rangkaian slip ring dan *carbon brush* yang terhubung secara paralel pada simpul yang sama. Merujuk pada Hukum Kirchhoff I (KCL), arus seharusnya terdistribusi secara merata karena setiap jalur paralel memiliki resistansi yang sama [5]. Namun, berdasarkan pengamatan di

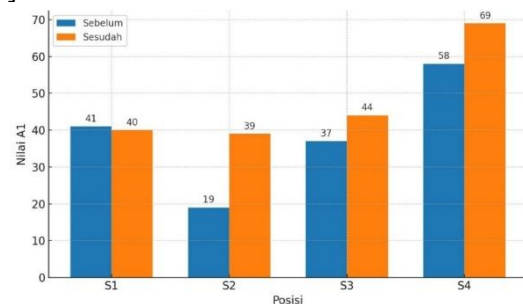
lapangan, distribusi arus tampak tidak merata. Beberapa faktor yang mempengaruhi resistansi kontak meliputi tekanan pegas, kondisi permukaan *slip ring*, keausan *brush*, getaran rotor, eksentrisitas, serta kondisi lingkungan.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Arus Pada *Carbon Brush A1*

Pos	A1 (Sebelum)	A1 (Sesudah)
S1	41	40
S2	19	39
S3	37	44
S4	58	69

(Sumber: PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar)

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran arus pada *Carbon Brush* pada pemeliharaan *preventive* di PLTU UBP 3 Banten Lontar. Data ini memperlihatkan adanya ketidakseimbangan yang mencolok, di mana arus yang rendah di beberapa *brush* menjadi tanda utama terjadinya keausan. Keausan *brush* cenderung bertambah seiring dengan meningkatnya arus dan distribusi arus yang tidak merata di antara *brush-brush* yang berada dalam konfigurasi paralel. Situasi ini menunjukkan bahwa *brush* yang sudah aus tidak lagi menjalin kontak yang optimal dengan slip ring, yang mengakibatkan aliran arus yang tidak merata. Oleh karena itu, pemeliharaan *Corrective* berupa penggantian *Carbon Brush* yang sudah aus, mempertahankan keandalan sistem eksitasi, serta memperpanjang masa pakai komponen [17].



Gambar 4. Grafik Perbandingan Arus *Carbon Brush* Setelah Pemeliharaan *Corrective*

(Dokumentasi : PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar)

Pada gambar 4 hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan distribusi arus A1 setelah penggantian *carbon brush*. Pada posisi S1, nilai relatif tetap (41 → 40),

sedangkan di S2 mengalami lonjakan yang signifikan ($19 \rightarrow 39$) yang menunjukkan peningkatan kinerja. Posisi S3 juga menunjukkan perbaikan ($37 \rightarrow 44$), dan S4 mengalami kenaikan yang cukup besar ($58 \rightarrow 69$). Secara keseluruhan, pemeliharaan yang dilakukan berhasil memperbaiki ketidakseimbangan arus dan meningkatkan efisiensi sikat.

Pemeliharaan ini sangat penting dilakukan karena distribusi arus yang tidak merata pada *Carbon Brush* dapat menyebabkan keausan yang berlebihan, panas berlebih, percikan listrik, dan bahkan kerusakan slip ring. Dengan mengganti sikat, sambungan listrik menjadi lebih konsisten, distribusi arus menjadi merata, dan kemungkinan kerusakan jangka panjang dapat dikurangi.

Tabel 2. Data Pengukuran Arus *Carbon Brush* 2025 & 2023

Tahun	Tahun	Subposisi	Nilai
2025	A1	S1	49,7
		S2	56,1
		S3	50,1
		S4	17,0
	A5	S1	81,4
		S2	20,9
		S3	47,7
		S4	46,8
	B4	S1	39,1
		S2	58,1
		S3	29,6
		S4	79,5
	B5	S1	47,3
		S2	35,4
		S3	51,9
		S4	42,7
2023	A1	S1	20,4
		S2	23,5
		S3	45,2
		S4	63,1
	A5	S1	73,7
		S2	40,1
		S3	57,2
		S4	85,8
	B4	S1	39,4
		S2	44,5

Tahun	Tahun	Subposisi	Nilai
		S3	1,7
		S4	23,5
	B5	S1	62,9
		S2	33,9
		S3	21,6
		S4	95,1

(Sumber: PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar)

Meskipun pemeliharaan *preventive* dan *Corrective* telah dilaksanakan secara teratur, hasil pengukuran arus dan suhu yang terdapat pada Tabel 2 menunjukkan ketidak merataan distribusi arus di lokasi *Carbon Brush* (A1, A5, B4, dan B5) pada tahun 2023 maupun 2025. Sebagai ilustrasi, pada tahun 2025, titik A5 mencatat arus tertinggi yaitu 81,4 A.

Carbon Brush yang telah aus memiliki area kontak yang lebih sedikit dengan slip ring. Hal ini menyebabkan arus tidak mengalir dengan baik sehingga terukur lebih rendah, namun kontak yang tidak optimal ini menimbulkan resistansi yang tinggi. *Resistansi* yang tinggi menyebabkan timbulnya panas berlebih, sehingga meskipun arusnya kecil, suhu cenderung meningkat.

Tabel 3. Data Pemeliharaan *Preventive* Generator

No	Item	Unit	2025	2023	2022
1	Tegangan Generator	Volt	20,09 kV	20,16	20,10 kV
2	Power Factor	-	0,96	0,98	0,92
3	Arus Generator	Ampere	8010,611 A	8663 A	753 A
4	Resistansi Grounding Bearing 6	Ω	0,81 Ω	2,01 Ω	noise
5	Arus Ground Shaft Bearing 6	Ampere	1,25 A	70,3 mA	24,4 mA
6	Resistansi Grounding Bearing 5	Ω	1,32 Ω	1,79 Ω	OL
7	Arus Ground Shaft Bearing 5	Ampere	954 mA	63,3 mA	0
8	Vibrasi Bearing (5/6)	mm/s	56,04 / 33,28 – 25,18 / 19,91	49,6 / 2603 – 21,17 / 22,16	47 / 22 – 21 / 19
9	Vibrasi Cover Bearing (5/6)	mm/s	26,11 / 17,17	34 / 22	34 / 22
10	Total Carbon Brush Pendek	-	20	2	1

(Sumber: PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar)

Berdasarkan Tabel 1, pada pengukuran dari tahun 2022 sampai dengan tahun 2025,

perbedaan arus pada *Carbon Brush* dapat dijelaskan oleh beberapa aspek. Dari sisi kelistrikan, tegangan generator menunjukkan variasi kecil, yakni 20,10 kV di tahun 2022, 20,16 kV di tahun 2023, dan 20,09 kV di tahun 2025. Meski variasi ini tidak besar, tetap saja dapat mempengaruhi kestabilan distribusi arus. *Power Factor* juga bervariasi, mulai dari 0,92 di tahun 2022, 0,98 di tahun 2023, hingga 0,96 di tahun 2025, yang berdampak pada efisiensi penyampaian tenaga ke beban. Selain itu, arus dari generator mengalami perubahan yang signifikan, yakni dari 753 A di tahun 2022, 8663 A di tahun 2023, dan 8010,611 A di tahun 2025, yang menunjukkan bahwa keadaan beban dan operasi generator ikut mempengaruhi distribusi arus ke carbon brush.

Aspek *grounding* juga berperan dalam ketidakmerataan arus. Hal ini terlihat dari perbedaan resistansi *grounding bearing* setiap tahunnya, misalnya pada *bearing 6* sebesar 0,81 Ω pada tahun 2025, 2,01 Ω di tahun 2023, dan "noise" di tahun 2022. Sementara itu, arus *ground shaft bearing* pada *bearing 6* tercatat 1,25 A di tahun 2025, 70,3 mA di tahun 2023, dan 24,4 mA di tahun 2022. Ini menunjukkan bahwa sebagian arus dapat "tersedot" melalui jalur *grounding*, yang menyebabkan beberapa *brush* mendapatkan arus yang lebih kecil atau lebih besar dari yang seharusnya.

Di samping itu, aspek mekanis juga memiliki pengaruh. *Vibrasi* pada *bearing* utama dan penutup *bearing* berbeda dari tahun ke tahun, misalnya *vibrasi* pada *bearing 5/6* di tahun 2025 mencapai 56,04 / 33,28 mm/s, sedangkan di tahun 2023 dan 2022 lebih rendah. Getaran yang tinggi dapat menyebabkan kontak brush dengan komutator menjadi tidak merata, sehingga distribusi arus menjadi tidak seimbang.

Aspek terakhir adalah kondisi brush itu sendiri, yang dapat dilihat dari jumlah *brush carbon* yang pendek. Di tahun 2025, terdapat 20 brush pendek, yang meningkat tajam dibandingkan dengan jumlah 2 brush di tahun 2023 dan 1 brush di tahun 2022. Kondisi ini menunjukkan keausan brush yang tidak merata, sehingga beberapa brush mengalami kontak yang kurang optimal dan mengakibatkan penurunan arus yang diterima. Gabungan dari faktor listrik, *grounding*, mekanis, dan kondisi brush secara keseluruhan menjelaskan mengapa

arus pada setiap *Carbon Brush* tidak konsisten dari tahun ke tahun.

Permasalahan perbedaan arus pada *Carbon Brush* dalam sistem eksitasi bisa dianalisis dengan menggunakan diagram sebab-akibat. Alat analisis ini bertujuan untuk mengenali faktor-faktor penyebab utama serta faktor penyebab tambahan dari masalah tersebut. Salah satu metode yang sering digunakan adalah Diagram *Fishbone*, yang juga dikenal sebagai Diagram Ishikawa atau Diagram Sebab-Akibat. Metode ini termasuk dalam alat analisis akar permasalahan yang banyak digunakan oleh praktisi industri untuk peningkatan kualitas [18], karena membantu menemukan akar penyebab variasi pada karakteristik kualitas tertentu, dalam hal ini variasi distribusi arus pada *Carbon Brush* di sistem eksitasi.



Gambar 5. Sebab-Akibat (*fishbone*) Perbedaan Arus pada *Carbon Brush*
(Dokumentasi : Pribadi)

Berdasarkan data pemeliharaan dan observasi langsung di lokasi, analisis dengan menggunakan metode fishbone/Ishikawa pada gambar 5 bahwa adanya ketidakseimbangan distribusi arus pada *Carbon Brush* generator sistem eksitasi PLTU UBP 3 Banten Lontar tidak disebabkan oleh satu faktor saja, melainkan merupakan hasil dari kombinasi beberapa elemen, yaitu kelistrikan, mekanis, *grounding*, dan kondisi brush. Dari segi kelistrikan, fluktuasi tegangan dan ketidakseimbangan arus pada generator memiliki peran besar dalam menyebabkan distribusi arus yang tidak seimbang. Situasi ini diperburuk oleh rendahnya faktor daya yang membuat beberapa brush menerima arus lebih tinggi daripada yang lainnya. Dalam hal mekanis, hasil pemeriksaan pemeliharaan mencatat adanya peningkatan getaran pada bantalan dan penutup bantalan. Getaran ini menyebabkan ketidaksesuaian kontak antara

brush dan slip ring, sehingga distribusi arus menjadi tidak merata.

Pada faktor *grounding*, pengukuran memperlihatkan adanya perbedaan signifikan dalam nilai resistansi *grounding*. Ini berpotensi menyebabkan arus bocor mengalir lewat brush tertentu, yang dapat menghasilkan panas berlebih dan keausan lokal. Sementara itu, dalam kondisi brush teridentifikasi beberapa kelemahan, terutama pada pegas yang sudah tidak berfungsi dengan baik, sehingga tekanan terhadap slip ring menjadi tidak konsisten. Brush yang memberikan tekanan lebih kuat biasanya akan menerima arus yang lebih besar, sedangkan brush yang sudah aus atau pendek memiliki resistansi kontak yang lebih tinggi, sehingga arus yang mengalir lebih kecil.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan menunjukkan bahwa ketidakseimbangan distribusi arus pada *Carbon Brush* dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling terkait. Jika masalah ini tidak segera diatasi, dapat menyebabkan terjadinya percikan listrik, mempercepat keausan yang tidak merata, merusak slip ring, dan mengurangi keandalan sistem eksitasi generator. Oleh karena itu, tindakan perbaikan perlu difokuskan pada pengendalian faktor kelistrikan, perawatan mekanis yang terjadwal, peningkatan sistem *grounding*, serta penggantian *Carbon Brush* dan pegas sesuai dengan standar pemeliharaan yang ada.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dan pemeliharaan yang dilakukan menggunakan metode Fishbone/Ishikawa, dapat disimpulkan bahwa distribusi arus yang tidak merata pada *Carbon Brush* generator dalam sistem eksitasi PLTU UBP 3 Banten Lontar dipengaruhi oleh berbagai unsur, terutama kondisi mekanis seperti getaran pada bearing, keausan pada brush, dan pemakaian pegas yang melemah. Unsur kelistrikan, seperti fluktuasi tegangan dan arus ditambah dengan resistansi *grounding* yang tidak konsisten, juga memperparah keadaan ini. Akibat dari distribusi arus yang tidak merata antara lain adalah keausan yang tidak seimbang, peningkatan suhu lokal, munculnya percikan listrik, serta berisiko merusak slip ring yang dapat menurunkan keandalan sistem eksitasi.

Penerapan metode Fishbone/Ishikawa telah membantu dalam menemukan akar masalah secara lebih sistematis dan terukur, sehingga analisis yang dihasilkan menjadi lebih presisi dan dapat digunakan sebagai dasar untuk perencanaan pemeliharaan. Meskipun terdapat keterbatasan dalam ydata dan masih ada faktor operasional yang belum dianalisis, penelitian ini memberikan gambaran yang jelas tentang prioritas perbaikan, terutama pada unsur mekanis dan kondisi brush. Ke depan, perlu diterapkan pemantauan kondisi secara real-time serta pengembangan sistem pemeliharaan prediktif yang berlatar belakang data historis dan sensor online, agar potensi kerusakan dapat terdeteksi lebih awal dan keandalan sistem dapat terus ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Fauzan and I. A. Darmawan, "Preventive Maintenance Kontrol Intrumen Motor C-7 Belt Conveyor Di Pt Indonesia Power Pltu Banten 3 Lontar Omu," *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro Dan Inform.*, vol. 1, no. 4, pp. 66–82, 2022, doi: 10.55606/jtmei.v1i4.858.
- [2] H. Arianto, "Implementation of Occupational Safety and Health Law," *Lex journalica*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [3] J. Li, "Separately Excited SCR Excitation System – Design and Application," in *Design and Application of Modern Synchronous Generator Excitation Systems*, Hoboken, NJ: Wiley, 2019. doi: 10.1002/9781118841006.ch9.
- [4] A. Wijaya, M. A., Taqwa, A., & Adewasti, "Design a cake scraper tool based on the Internet of Things for the home industry," vol. 8, 2023.
- [5] J. L. Willems, "Active Current , Reactive Current , Kirchhoff ' s Laws and Tellegen ' s Theorem," *Power Qual.*, vol. XIII, no. 1, pp. 2–5, 2007.
- [6] I. K. R. S. Billy, I. M. Wartana, and W. P. Muljanto, "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Data Akuisisi pada Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Perangkat Lunak Labview dan Usb Ni-Daq 6008," *Magnetika*, vol. 08, no. 01, pp. 121–133, 2024, [Online]. Available: <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/4057234>
- [7] A. Turel, J. Slavič, and M. Boltežar, "Electrical contact resistance and wear of a dynamically excited metal-graphite brush," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 9, no. 3, pp. 1–8, 2017,

- doi: 10.1177/1687814017694801.
- [8] “Preventive maintenance for generator sets,” Loftin Equipment Co.
- [9] A. Rahman, “Pemeliharaan Generator,” 2016, *Pt. PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar*.
- [10] T. Thumma and S. R. Sheri, “Unsteady MHD Free Convection Flow past a Vertical Porous Plate Considering Radiation and Volume Fraction Effects in a Nanofluid,” *Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 197–205, 2015, doi: 10.17148/IARJSET.
- [11] R. Choudhary and R. K. Saket, “A critical review on the self-excitation process and steady state analysis of an SEIG driven by wind turbine,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 344–353, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.043.
- [12] A. p. Munurung, “Sistem Eksitasi,” 2022, *PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar*.
- [13] K. H. Le and P. H. Vu, “Performance Evaluation of a Generator Differential Protection Function for a Numerical Relay,” *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 9, no. 4, pp. 4342–4348, 2019.
- [14] and S. W. R. Ramdani, M. H. Zein, R. M. Islami, A. B. Kusumaningtyas, Fatahula, “Perancangan Panel Motor Control Center Reverse Osmosis Water System,” *Electrices*, vol. 5, no. 2, pp. 98–107, 2023.
- [15] X. Zhao, Y. Nie, M. Chen, H. Qin, and X. Xu, “Analysis of Contact Characteristics of Carbon Brush/Slip Ring under Eccentric Oscillation of Hydrogenerator Rotor,” *Shock Vib.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/2689960.
- [16] Sudarta, “Analisis Kegagalan Autotransfer Antara UAT (Unit Auxiliary Transformer) dan SST (Station Service Transformer) di Kawasan GTG Indonesia Power,” vol. 16, no. 1, pp. 1–23, 2022.
- [17] Maddox, “Transformer gauges, indicators and monitoring devices,” 2023.
- [18] Sugiyono, *Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Methods)*, Cet. 10, 20. Bandung: Alfabeta CV, 2018.
- [19] J. K. Skjølberg, H. F. Ohma, and M. Runde, “Wear Rates and Current Distribution of Carbon Brushes on Steel Slip Rings,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 24, no. 4, pp. 835–840, 2009, doi: 10.1109/TEC.2009.2025416.
- [20] A. A. urya, M. P. D., Azizi, M. H., Iqbal, M., Widyahana, S. R., Gumita, F. A., & Aziz, “Penerapan Metode Diagram Fishbone untuk Identifikasi Masalah Kualitas Layanan di StartUp Parfum Foxsniff,” *Lokawati J. Penelit. Manaj. dan Inov. Ris.*, vol. 3, no. 3, pp. 185–193, 2025, doi: 10.61132/lokawati.v3i3.1766.