BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kejadian *overheating* pada *brush exciter* ini juga terjadi pada generator di PLTA Tulungagung. PLTA Tulungagung merupakan unit pembangkit yang dimiliki dan dikelola oleh PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Brantas beralamat di Dukuh Sidem, Dusun Popoh, Desa Besole, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur 66275, Indonesia. Berdasarkan lokasi yang ditampilkan pada Google Maps, PLTA Tulungagung berada pada koordinat sekitar 8°18′32″ Lintang Selatan (LS) dan 111°43′11″ Bujur Timur (BT) atau dalam format desimal −8,3089; 111,7198 yang memiliki dua unit generator dengan daya mampu sebesar 35,72 MW (2×18MW). Tepatnya pada tanggal 27 September 2022, Unit Pembangkit PLTA Tulungagung mengalami gangguan internal serius yang mengakibatkan unit mengalami *trip* atau *forced shutdown*. Insiden tersebut disebabkan oleh terbakarnya serta melelehnya *brush holder* pada sistem eksitasi generator. Setelah kejadian tersebut, dilakukan penelusuran oleh teknisi dan investigasi lapangan. Berdasarkan parameter historis (*historical parameter*), didapatkan hasil bahwa pada bagian *brush exciter* dan *slip ring* terdapat kenaikan suhu berlebih (*overheating*) hingga lebih dari 180°C.

Untuk mencegah kejadian tersebut berulang, dilakukan beberapa langkah perbaikan. Salah satunya melalui penggantian material *carbon brush* dari jenis *hard graphite* merek Morgan menjadi *soft graphite* dengan merek Carbon Elektrikal. Penggantian ini terbukti mampu menurunkan suhu kerja pada sistem eksitasi, namun memiliki konsekuensi terhadap masa pakai komponen yang menjadi lebih singkat dibandingkan dengan material sebelumnya. Ketidaksesuaian desain *brush holder* terhadap karakteristik material *carbon brush* menyebabkan gangguan mekanis pada kabel penghantar arus. Kondisi tersebut menimbulkan ketidakstabilan kontak antara *brush* dan *slip ring* yang memicu *electrical arcing* serta distribusi arus yang tidak merata. Akibatnya, distribusi arus eksitasi sebesar 832 A yang terbagi ke 20 buah *carbon brush* menjadi tidak merata. Hal ini mengakibatkan sebagian *brush* menanggung arus berlebih dan memicu kenaikan temperatur ekstrem yang menyebabkan *overheating* hingga *trip* pada

unit pembangkit.

Melalui analisis, didapatkan bahwa kenaikan tegangan kontak dan arus listrik yang berlebih pada *brush exciter* dikarenakan meningkatnya resistansi kontak listrik antara *brush* dan *slip ring*. Peningkatan resistansi ini timbul karena ausnya *carbon brush* dan *slip ring*. Selain itu, kondisi kekasaran (*roughness*) *slip ring* yang buruk serta tekanan pegas pada *holder* yang tidak optimal juga dapat menyebabkan terjadinya *overheating*, sesuai dengan penelitian terdahulu [1]**.** Jenis *brush metal graphite* dengan arus eksitasi yang berubah-ubah dapat menyebabkan perubahan resistansi kontak, yang nantinya berpengaruh pada meningkatnya rugi daya kontak dan mempercepat naiknya suhu permukaan *brush*.

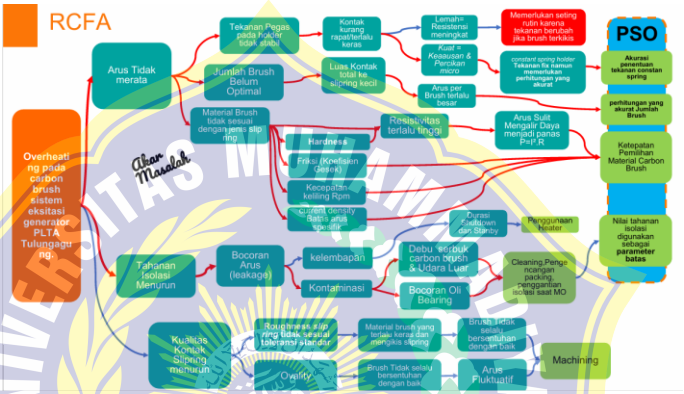
Berikut adalah gambar milestone tahapan penanganan *over heating carbon brush* PLTA Tulungagung.



Gambar 1.1 Milestone Tahapan Penanganan Overheating Carbon Brush PLTA Tulungagung

Dari Gambar 1.1, dapat diketahui bahwa beberapa upaya telah dilakukan, namun semua proses penanganan perbaikan tersebut baru berdasarkan pengalaman uji coba di lapangan tanpa mempertimbangkan analisis secara akademik dalam menyelesaikan permasalahan *overheating* pada *brush*. Akibatnya, hasil yang didapatkan kurang maksimal dan membutuhkan waktu yang lama. Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan baru yang mengombinasikan data lapangan dengan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) berdasarkan penelitian terdahulu [2] [3] [4] [5] [6] untuk menganalisis fenomena *overheating* pada *carbon brush* sistem eksitasi generator PLTA Tulungagung. PSO dipilih mengungguli metode lain seperti GA, SA, GWO, dan DE karena paling selaras dengan batasan penelitian ini: formulasinya paling simpel (hanya tiga parameter), stabil secara

matematis, paling cepat menyelesaikan masalah tiga variabel, dan sudah terbukti sukses di pembangkit listrik. Metode ini mengevaluasi data lapangan beserta perhitungan matematis dari variabel tekanan pegas, jumlah *brush*, jenis material, tahanan isolasi, nilai *roundness*, serta *roughness* untuk mengidentifikasi kombinasi kondisi paling efisien demi menjaga stabilitas suhu dan pemerataan arus. Sebagai penjelas, *Root Cause Failure Analysis* dilampirkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 1.2 *Root Cause Failure Analysis*

Dengan membandingkan variabel data di lapangan, diharapkan penelitian ini dapat mendapatkan hasil yang maksimal. Penelitian terdahulu membahas pengaruh material *carbon brush*, tekanan pegas, atau kondisi *slip ring* secara terpisah bukan kombinasi terhadap kenaikan temperatur. Penelitian ini mengombinasikan parameter mekanis, elektris, dan kondisi geometris *slip ring* menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk memperoleh kombinasi parameter optimum terhadap temperatur *carbon brush* pada sistem eksitasi generator PLTA, sehingga memiliki nilai kebaruan sekaligus relevansi praktis bagi peningkatan keandalan operasi pembangkit.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh tekanan pegas, jumlah *carbon brush*, dan tahanan isolasi dalam memengaruhi kenaikan temperatur *carbon brush* pada sistem eksitasi generator PLTA Tulungagung?

2. Karakteristik material *carbon brush* seperti apa yang paling sesuai untuk digunakan pada *slip ring* berbahan *steel*?
3. Bagaimana metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dapat diterapkan untuk menentukan parameter operasional sistem eksitasi yang paling optimal?
4. Bagaimana kombinasi parameter yang efektif dalam menekan potensi *overheating* pada *carbon brush*?
5. Bagaimana akurasi model termal-elektrik berbasis prinsip fisika dalam memperkirakan temperatur *brush* jika dibandingkan dengan data pengukuran aktual di lapangan PLTA Tulungagung?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan dari penelitian yang penulis lakukan:

1. Menganalisis pengaruh tekanan pegas, jumlah *carbon brush*, dan tahanan isolasi terhadap kenaikan temperatur *carbon brush* pada sistem eksitasi generator.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan berbagai jenis material *carbon brush* terhadap temperatur sistem eksitasi generator.
3. Mengimplementasikan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk mengoptimasi parameter operasional sistem eksitasi.
4. Menentukan kombinasi parameter optimum yang efektif untuk meminimalkan potensi *overheating* pada *carbon brush*.
5. Memvalidasi akurasi model termal-elektrik terhadap data pengukuran aktual di lapangan PLTA Tulungagung periode tahun 2023–2025.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian ini Sebagai berikut:

1. Secara Teknis: Komposisi pengaturan (*setting*) eksitasi generator dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah berdasarkan hasil penelitian ini, sehingga tingkat keandalan sistem dalam jangka panjang berpotensi untuk ditingkatkan.
2. Secara Ekonomis: Kerusakan komponen seperti rusaknya *slip ring* dan stator eksitasi yang berdampak pada *downtime* yang berujung pada gagalnya unit beroperasi diharapkan dapat ditekan melalui hasil penelitian ini.

3. Secara Institusi: Memberikan referensi bagi unit pembangkit listrik di dalam mengelola penerapan sistem eksitasi, terutama *carbon brush*.
4. Secara Akademis: Menambah referensi ilmiah di bidang teknik elektro, khususnya dalam penerapan model fisis dan optimasi metaheuristik untuk sistem eksitasi generator hidro.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah/ruang lingkup penelitian pada *carbon brush exciter* pada *Slip Ring* generator PLTA Tulungagung. adalah sebagai berikut:

1. Objek Penelitian dibatasi pada sistem eksitasi generator PLTA Tulungagung, khususnya komponen brush holder, carbon brush, dan Slip Ring yang mengalami overheating. Komponen lain seperti sistem proteksi, kontrol otomatis, atau turbin tidak dibahas.Variabel yang Dianalisis
2. Variabel yang dianalisis dibatasi pada tekanan pegas (P), jumlah brush (N), dan tahanan isolasi (R iso). Faktor eksternal seperti beban sistem kelistrikan atau kondisi cuaca tidak menjadi fokus utama.
3. Data yang digunakan bersumber dari pengukuran termografi FLIR PLTA Tulungagung periode 2023–2025 dan dokumen teknis nameplate.
4. Pendekatan analisis menggunakan pemodelan matematis berbasis prinsip fisika yang divalidasi dengan strategi single-point validation, bukan eksperimen multi-point yang mengharuskan manipulasi parameter pada unit operasional komersial.
5. Implementasi PSO dilakukan dengan single-objective optimization (weighted sum). Multi-objective PSO (Pareto-front) tidak menjadi scope penelitian ini.
6. Waktu dan Lingkup Implementasi Periode kajian mencakup waktu setelah terjadinya gangguan tahun 2022 hingga selesainya evaluasi perbaikan tahun 2025.untuk meningkatkan keandalan sistem eksitasi generator

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini mempunyai struktur 5 bab antara lain.

BAB I PENDAHULUAN
Menjelaskan Latar Belakang permasalahan, rumusan masalah,tujuan, manfaat, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

menyajikan tinjauan pustaka tentang sistem eksitasi, carbon brush, teori kontak listrik (Hukum Holm), Hukum Joule, perpindahan panas konveksi, algoritma PSO, dan posisi penelitian ini terhadap penelitian terdahulu.

BAB III METODE PENELITIAN

menjelaskan jenis penelitian, lokasi dan objek, sumber data, pemodelan matematis sistem, algoritma PSO yang dipakai, dan strategi validasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN
Hasil dan Pembahasan menyajikan deskripsi data, hasil validasi model, konvergensi PSO, parameter optimal, sensitivity analysis, analisis komparatif, dan limitasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
Kesimpulan menjawab apa yang ada di rumusan masalah dan Saran memberikan rekomendasi implementasi serta arah penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi Sumber atau referensi didalam penyusunan penelitian ini