

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT PLN MCTN (Mandau Cipta Tenaga Nusantara) merupakan salah satu perusahaan yang di bidang energi untuk mendukung kegiatan industri migas di Wilayah Kerja Rokan. Sebagai bagian dari PT PLN (Persero), perusahaan ini berperan dalam menyediakan pasokan listrik dan uap yang dibutuhkan dalam proses produksi minyak bumi. Operasional utamanya berada di fasilitas North Duri Cogeneration yang terletak di Duri, Provinsi Riau. Selain menyediakan tenaga listrik, PT PLN MCTN juga memproduksi uap untuk kebutuhan injeksi sumur minyak. Perusahaan ini memiliki kapasitas pembangkit sebesar 3×100 MW dan mampu menghasilkan sekitar 360.000 steam barrel per day. Dengan kapasitas tersebut, PT PLN MCTN menjadi salah satu pendukung penting dalam menjaga kelangsungan operasional industri migas, khususnya di area Rokan. Di samping itu, perusahaan juga mengembangkan layanan lain seperti pemeliharaan operasional, peningkatan kualitas daya listrik, serta penyediaan fasilitas pendukung untuk kebutuhan industri di Indonesia.

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) memegang peranan krusial dalam sistem kelistrikan kontemporer, terutama karena kemampuannya merespons fluktuasi beban secara cepat. Karakteristik utama PLTG adalah kemampuannya untuk melakukan start-up dan load following dengan waktu yang relatif singkat dibandingkan pembangkit konvensional lainnya. Dalam sistem tenaga yang semakin kompleks akibat penetrasi energi terbarukan dan fluktuasi beban yang tinggi, PLTG sering dioperasikan sebagai pembangkit penyeimbang (balancing plant). Kondisi ini menyebabkan peralatan utama PLTG, khususnya generator sinkron, mengalami variasi parameter operasi yang signifikan dan berulang sepanjang siklus operasinya. Adapun fungsi utama generator sinkron dalam PLTG adalah mentransformasikan energi mekanik yang dihasilkan turbin gas menjadi energi listrik bertegangan menengah hingga tinggi. Keandalan generator sinkron menjadi faktor krusial dalam menjamin kontinuitas pasokan energi listrik. Gangguan atau kegagalan yang terdapa

pada generator tidak hanya berdampak pada unit pembangkit itu sendiri, tetapi juga dapat memengaruhi stabilitas sistem tenaga secara keseluruhan. Salah satu penyebab utama kegagalan generator sinkron yang paling sering dilaporkan adalah degradasi sistem isolasi belitan stator, yang umumnya berkembang secara gradual dan sulit terdeteksi pada tahap awal (Stone, 2004).

Sistem isolasi stator generator sinkron dirancang untuk menahan berbagai jenis tegangan kerja, baik tegangan listrik, tegangan termal, maupun tegangan mekanik. Dalam praktik operasi PLTG, generator jarang beroperasi pada kondisi steady-state dalam jangka waktu panjang. Perubahan daya aktif, daya reaktif, tegangan keluaran, pembebanan pada generator terjadi secara dinamis mengikuti kebutuhan sistem. Variasi parameter operasi tersebut berimplikasi langsung terhadap distribusi medan listrik dan temperatur pada sistem isolasi stator, yang dalam jangka Salah satu gejala yang sering dijadikan gejala yang terjadinya penurunan pada kualitas isolasi adalah munculnya partial discharge (PD). Partial discharge didefinisikan sebagai pelepasan muatan listrik lokal dimana terjadi pada bagian tertentu dari sistem isolasi, tanpa menyebabkan hubung singkat penuh antar elektroda (IEC 60270). Meskipun energi yang dilepaskan relatif kecil, aktivitas PD yang berulang dapat menyebabkan erosi isolasi, pembentukan void, serta degradasi kimia material isolasi. Dalam jangka panjang, fenomena ini dapat berkembang menjadi kegagalan dielektrik total pada belitan stator.

Pada generator sinkron PLTG, partial discharge umumnya terjadi pada beberapa lokasi kritis, seperti di dalam slot stator, pada antarmuka antara konduktor dan isolasi utama, serta pada daerah ujung belitan (end-winding). Daerah end-winding menjadi sangat rentan terhadap PD karena memiliki distribusi medan listrik yang tidak seragam serta terpapar langsung oleh variasi temperatur dan getaran mekanik akibat operasi turbin gas. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa aktivitas PD pada end-winding sering kali menjadi sumber awal degradasi isolasi pada generator berkapasitas besar (Bartnikas, 2002). Karakteristik operasi PLTG yang dinamis menyebabkan sistem isolasi generator sinkron mengalami kombinasi stres listrik dan termal yang lebih kompleks dibandingkan pembangkit base load. Peningkatan daya aktif akan meningkatkan arus stator, yang berdampak pada

kenaikan temperatur konduktor dan isolasi. Temperatur yang tinggi dapat menurunkan kekuatan dielektrik material isolasi serta mempercepat reaksi kimia penuaan, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya partial discharge (Montanari & Simoni, 2006). Dalam kondisi tertentu, peningkatan temperatur juga dapat memperbesar ukuran void mikro dalam isolasi, yang selanjutnya meningkatkan intensitas PD.

variasi daya reaktif juga memiliki pengaruh signifikan terhadap kondisi internal generator sinkron. Perubahan yang terjadi pada arus eksitasi generator dapat mempengaruhi kecil atau besarnya daya reaktif yang dihasilkan (Puspita & Djoko, 2018). Operasi generator pada kondisi over-excited atau under-excited akan mengubah distribusi fluks magnet dan tegangan internal mesin (Putra & Santoso, 2022). Perubahan ini dapat menyebabkan redistribusi medan listrik pada belitan stator, khususnya di area ujung belitan yang tidak sepenuhnya terlindungi oleh slot stator. Hudon et al. (2008) melaporkan bahwa pada beberapa desain generator, peningkatan daya reaktif dapat meningkatkan level PD secara signifikan, meskipun pengaruhnya sangat bergantung pada konfigurasi isolasi dan sistem pendinginan yang digunakan. Tegangan keluaran generator merupakan parameter operasi yang memiliki hubungan paling langsung dengan fenomena partial discharge. Secara teoritis, peningkatan tegangan akan meningkatkan medan listrik pada sistem isolasi, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya inisiasi PD. Dalam praktik PLTG, fluktuasi tegangan dapat terjadi akibat perubahan beban sistem, kondisi jaringan, maupun pengaturan sistem eksitasi. Stone et al. (2013) menyatakan bahwa operasi generator pada tegangan mendekati atau melebihi nilai nominal dalam jangka waktu panjang dapat mempercepat degradasi isolasi, terutama apabila dikombinasikan dengan temperatur operasi yang tinggi.

Dalam konteks pemeliharaan generator sinkron PLTG, pengujian partial discharge secara tradisional banyak dilakukan pada kondisi off-line. Metode ini memiliki keunggulan dalam hal sensitivitas dan kemudahan interpretasi data, namun memiliki keterbatasan karena tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi operasi aktual. Generator PLTG yang beroperasi dengan variasi beban dan eksitasi yang cepat dapat menunjukkan karakteristik PD yang berbeda antara kondisi off-line dan

on-line. Oleh karena itu, pengukuran PD secara on-line mulai banyak dikembangkan dan direkomendasikan sebagai bagian dari strategi condition-based maintenance (IEEE Std 1434). Namun demikian, pengukuran partial discharge secara on-line pada PLTG menghadapi tantangan yang signifikan. Lingkungan elektromagnetik pada pembangkit gas relatif kompleks, dengan adanya noise dari sistem eksitasi, switching peralatan daya, serta gangguan elektromagnetik dari jaringan (Bandri et al., n.d.). Tanpa pemahaman yang mendalam mengenai pengaruh parameter operasi terhadap karakteristik PD, hasil pengukuran dapat disalahartikan. Sebagai contoh, peningkatan level PD yang terdeteksi pada kondisi beban tinggi belum tentu menunjukkan degradasi isolasi yang signifikan, melainkan dapat merupakan respon normal isolasi terhadap peningkatan stres listrik dan termal.

Banyak peneliti yang mengangkat topik penelitian mengenai partial discharge pada generator sinkron. Penelitian yang dilakukan oleh (Soewono, 2022) berisikan pemantauan *partial discharge* secara online pada stator motor dan generator untuk memprediksi kerusakan isolasi. Penelitian ini mengambil data dari beberapa mesin dan menemukan bahwa peningkatan PD yang tajam dalam periode tertentu bisa menjadi indikator awal kegagalan isolasi. Penelitian ini hanya melakukan analisis tren peningkatan PD secara online yang mana digunakan sebagai alat prediktif untuk mengetahui adanya proses kerusakan isolasi stator sebelum terjadi kegagalan besar. (Widodo et al., 2020) menulis dalam penelitiannya; menggunakan metode regresi linear untuk memprediksi usia isolasi pada stator berdasarkan data PD. Mereka menganalisis PD yang tinggi akibat penuaan dan kontaminasi minyak seal, kemudian menghitung linier hubungan antara PD dan usia isolasi. Ini bisa diaplikasikan sebagai analisis awal dalam strategi pemeliharaan. Penelitian selanjutnya adalah (Mahardika & Prayogo, 2025) menulis dalam penelitiannya; sistem peringatan dini untuk generator dengan menggabungkan analisis PD dan parameter operasi nyata (misalnya tegangan, arus, dan lainnya) secara real-time.

Berdasarkan uraian dan penelitian yang relevan dapat disimpulkan bahwa pengaruh parameter operasi terhadap partial discharge pada generator sinkron PLTG merupakan topik yang sangat relevan dan memiliki nilai praktis yang tinggi.

Sedangkan untuk penggunaan metode regresi struktural berbasis SmartPLS untuk mengetahui pengaruh parameter operasi terhadap partial discharge belum pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Berangkat dari itu saya akan membahas dan mengangkat penelitian tentang dengan judul penelitian **“ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASI TERHADAP PARTIAL DISCHARGE PADA GENERATOR SINKRON PT PLN MCTN MENGGUNAKAN METODE REGRESI STRUKTURAL BERBASIS SMARTPLS”**.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah Parameter Operasi berpengaruh terhadap Partial Discharge pada generator sinkron PT PLN MCTN?
2. Apakah daya aktif, daya reaktif, tegangan keluaran, dan pembebanan generator berkontribusi dalam membentuk konstruk Parameter Operasi?
3. Bagaimana model struktural hubungan antara Parameter Operasi dan Partial Discharge menggunakan SmartPLS?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh Parameter Operasi terhadap Partial Discharge pada generator sinkron PT PLN MCTN.
2. Menganalisis kontribusi daya aktif, daya reaktif, tegangan keluaran, dan pembebanan generator dalam membentuk konstruk Parameter Operasi.
3. Menganalisis model struktural hubungan antara Parameter Operasi dan Partial Discharge menggunakan SmartPLS.

1.4 Manfaat

1. Penelitian ini memiliki manfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan khususnya yang terkait dengan pengaruh parameter operasi terhadap partial discharge pada generator PLTG
2. Penelitian ini bermanfaat untuk memberi informasi sebagai bahan masukan bagi management perusahaan dalam pengambilan arah kebijakan khususnya yang

terkait dengan pengaruh parameter operasi terhadap partial discharge pada generator PLTG

3. Penelitian ini bermanfaat untuk memberi informasi bagi praktisi khususnya yang terkait dengan pengaruh parameter operasi terhadap partial discharge pada generator PLTG
4. Penelitian ini bermanfaat untuk memberi informasi bagi peneliti lainnya dimasa yang datang khususnya terkait dengan pengaruh parameter operasi terhadap partial discharge pada generator PLTG
5. Penelitian ini bermanfaat sebagai masukan bagi pemerintah khususnya yang terkait dengan pengaruh parameter operasi terhadap partial discharge pada generator PLTG

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Ruang lingkup masalah dari topik bahasan antara lain:

1. Tidak membahas beban-beban yang disuplai generator PLTG PLN MCTN.
2. Pengaruh pengaruh Parameter Operasi terhadap Partial Discharge pada generator sinkron PT PLN MCTN.
3. kontribusi daya aktif, daya reaktif, tegangan keluaran, dan pembebanan generator dalam membentuk konstruk Parameter Operasi.
4. Pemodelan dilakukan dengan model struktural hubungan antara Parameter Operasi dan Partial Discharge menggunakan SmartPLS.
5. Parameter operasi (Daya Aktif, Daya Reaktif, Tegangan Keluaran dan Pembebanan generator) adalah salah satu indikator yang mempengaruhi aktivitas partial discharge. Akan tetapi masih terdapat faktor lain seperti faktor mekanik , kelembapan, temperatur ambient , temperatur stator dan faktor lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan dalam penelitian ini disusun ke dalam lima bab, antara lain::

BAB I. pendahuluan berisikan tentang uraian mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup pembahasan, serta sistematika penulisan..

BAB II. Bab tinjauan pustaka memuat penjelasan mengenai dasar teori yang didapat dari berbagai referensi. Pada bab ini juga dibahas penelitian yang relevan dan landasan teori yang mendukung penelitian.

BAB III. Metode Penelitian, bab ini merupakan langkah-langkah sistematis tentang cara penelitian dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dan mencapai tujuan, yang terdiri dari tempat dan waktu penelitian, desain penelitian, metode pengumpulan data, metode analisis data, dan jadwal penelitian.

BAB IV. Hasil dan Pembahasan, bab ini berisi penjelasan hasil penelitian yang dilakukan untuk memecahkan masalah serta pembahasannya, yang terdiri dari hasil dan pembahasan.

BAB V. Bab penutup berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran yang digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Kebaruan Penulisan

Kebaruan dalam penelitian ini terletak pada penggunaan metode regresi struktural berbasis SmartPLS untuk menganalisis hubungan antara parameter operasi generator sinkron terhadap aktivitas partial discharge pada sistem isolasi stator generator PT PLN MCTN. Penelitian sebelumnya oleh (Soewono, 2022) melakukan pemantauan *partial discharge* secara online pada stator motor dan generator untuk memprediksi kerusakan isolasi. (Widodo et al., 2020) menulis dalam penelitiannya; menggunakan metode regresi linear untuk memprediksi usia isolasi stator berdasarkan data PD, Dimana penelitian sebelumnya umumnya hanya berfokus pada monitoring partial discharge dan analisis kondisi isolasi secara deskriptif, sedangkan penelitian ini mengintegrasikan parameter operasi seperti daya aktif, daya reaktif, tegangan dan pembebanan generator kedalam model analisis struktural untuk mengetahui pengaruh terhadap aktivitas partial discharge. Selain itu, penelitian menggunakan data operasi aktual generator secara real-time sehingga hasil analisis lebih representatif terhadap kondisi lapangan dan dapat menjadi dasar pengembangan sistem Early Warning System (EWS) berbasis predictive maintenance pada generator sinkron pembangkit listrik untuk seperti dalam penelitian (Mahardika & Prayogo, 2025).