

**ANALISIS RUGI DAYA AKIBAT *PARTIAL DISCHARGE*
PADA GENERATOR TURBIN GAS DI *NORTH DURI*
*COGENERATION PLANT***

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S-1) Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta**

Oleh:

Wahyu Putra

NPM 211017111064



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA
PADANG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS RUGI DAYA AKIBAT *PARTIAL* DISCHARGE PADA GENERATOR TURBIN GAS DI *NORTH DURI COGENERATION PLANT*

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S-1) Pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta

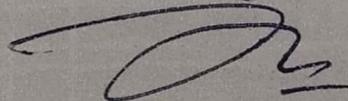
Oleh:

Wahyu Putra

NPM 211017111064

Disetujui Oleh:

Pembimbing



Ir. Arzul, M.T

NIK: 941100396

Diketahui Oleh:

Fakultas Teknologi Industri
Elektro

Dekan,

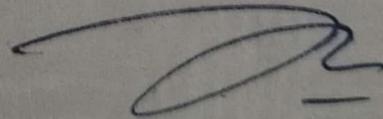


Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, S.T, M.T

NIK: 990500496

Jurusan Teknik

Ketua,



Ir. Arzul, M.T

NIK: 941100396

LEMBAR PENGUJI
ANALISIS RUGI DAYA AKIBAT *PARTIAL DISCHARGE*
PADA GENERATOR TURBIN GAS DI *NORTH DURI*
COGENERATION PLANT

SKRIPSI

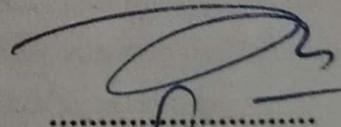
Wahyu Putra
NPM 211017111064

Dipertahankan didepan penguji Skripsi
Program Strata Satu(S-1) Pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta
Hari : Kamis, 26 January 2023

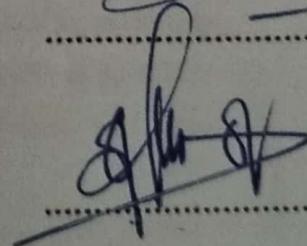
No. Nama
Tangan

Tanda

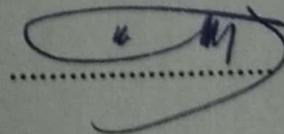
1. **Ir. Arzul, M.T**
(Pembimbing dan Penguji)



2. **Ir. Yani Ridal, M.T**
(Penguji)



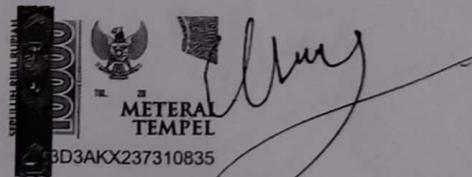
3. **Ir. Arnita, M.T**
(Penguji)



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa ini sebagian maupun keseluruhan Skripsi saya dengan judul "**ANALISIS RUGI DAYA AKIBAT *PARTIAL DISCHARGE* PADA GENERATOR TURBIN GAS DI *NORTH DURI COGENERATION PLANT***" adalah benar – benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan – bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Padang, 26 Januari 2023



Wahyu Putra

NPM : 2110017111064

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul **“ANALISIS RUGI DAYA AKIBAT *PARTIAL DISCHARGE* PADA GENERATOR TURBIN GAS DI *NORTH DURI COGENERATION PLANT*”**. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan dan memperoleh gelar kesarjanaan (Strata-1) pada jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta Padang.

Dalam menyusun skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan serta pengarahan dari dosen pembimbing, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

Bapak Ir. Arzul, M.T (Pembimbing)

Penulis juga tidak lupa mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan membimbing penulis sehingga laporan skripsi ini dapat diselesaikan.

- 1) Kepada kedua Orang tua yang selalu memberikan do'a dan semangat demi keselamatan, Kesehatan dan kesuksesan anaknya.
- 2) My beauty sunshine, Risa Prima Yola dan Nalani Haniyyah
- 3) Ibu Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta.
- 4) Bapak Dr. Ir. Ija Darmana, MT., IPM. selaku Penasehat Akademis.
- 5) Bapak Ir. Arzul, M.T Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Bung Hatta dan Selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan membagi pengetahuannya hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
- 6) Bapak dan ibu dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Bung Hatta.
- 7) Special thanks for Gilang Attaqi Harji, Radi Tauvino, M. Gherald Erlangga Putra, Andre Hanfi, dan Salman Alfarisi.
- 8) Teman-teman angkatan 2021 kelas mandiri yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini.

Penulis telah berusaha melakukan yang terbaik dalam penulisan skripsi ini namun penulis menyadari masih jauh dari kesempurnaan dan keterbatasan yang ada dalam skripsi ini. Oleh karena itu, gagasan, kritikan, saran dan masukan yang akan membangun penulis terima dengan senang hati demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan pengetahuan bagi pihak yang membutuhkan.

Padang, 26 Januari 2023

Penulis

ABSTRAK

Pada sebuah pembangkit listrik, generator merupakan komponen yang sangat kritical dan sangat penting dalam sistem pembangkitan energi listrik. Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik dari energi mekanik yang memutarinya. Namun pada suatu sistem dalam pembangkitan energi listrik, terdapat kemungkinan-kemungkinan terjadi gangguan pada generator yang dapat menyebabkan generator mengalami kerusakan. Salah satu gangguan yang sering terjadi pada generator adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat pada generator bisa disebabkan oleh berbagai macam hal, yang mana contohnya yaitu kegagalan isolasi pada belitan stator yang disebut *Partial Discharge*. Kegagalan isolasi yang terjadi pada belitan stator merupakan hal yang paling dominan sebagai salah satu penyebab kerusakan pada generator. Namun dalam operasinya, banyak faktor yang menyebabkan menurunnya kualitas isolasi pada belitan stator, antara lain faktor tekanan yang bersifat elektrik, mekanis, dan termal. *Partial Discharge* pada belitan stator generator juga dapat menyebabkan rugi daya pada generator. Rugi daya terjadi karena adanya pelepasan muatan listrik dalam kurun waktu tertentu selama terjadinya aktifitas *partial discharge*. Dengan menggunakan perhitungan rumus maka nilai rugi daya yang terjadi akibat peluahan parsial dapat diketahui dan dianalisis untuk mengetahui kondisi generator. Pengukuran *Partial Discharge* dilakukan dengan menggunakan alat IRIS POWER TGA-BTM *Portale Partial Discharge (PD) Monitoring* dan software PDLitePro. Objek studi adalah pada Generator Unit 1 North Duri Cogeneration Plant. Berdasarkan hasil analisa komparasi, magnitudo PD yang terukur sebesar 160 mV pada isolasi belitan stator generator Unit-1 Fasa A, 134 mV pada isolasi belitan stator generator Unit-2 Fasa B dan 124 mV pada isolasi belitan stator generator Unit-3 Fasa C masuk kedalam katagori level PD Typical (<75 % *Statistical Summary*). Selain itu, generator Unit-1 memiliki magnitudo paling tinggi bila dibandingkan dengan Unit-2 (134 mV) dan Unit-3 (124 mV). Akan tetapi secara umum, aktifitas PD pada isolasi belitan Unit-1 masih dalam batas aman hingga mencapai 160 mV. Nilai rugi daya akibat peluahan parsial yang signifikan terjadi pada generator *North Duri Cogeneration Plant* adalah pada fasa A terhadap seluruh fasa yang terjadi dan terjadi pada tanggal 25 Maret 2019 dengan nilai rugi daya sebesar 8,70 mW.

Kata Kunci :

Partial Discharge, Generator , Kegagalan Isolasi, Belitan Stator, Rugi Daya.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBARAN PENGUJI	
LEMBAR PERNYATAAN	
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB I : PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-2
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Manfaat Penelitian	I-3
1.6 Metode Penulisan	I-4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu	II-5
2.2 <i>Cogeneration</i>	II-6
2.3 <i>North Duri Cogeneration Powerplant</i>	II-7
2.4 <i>Westinghouse 501D5A Combustion Turbine</i>	II-8
2.5 <i>Brush Generator BDAX82-445ERH</i>	II-9
2.6 <i>Partial Discharge</i>	II-15
2.7 <i>Penyebab Partial Discharge</i>	II-16
2.8 <i>Teori Partial Discharge Pada Stator Generator</i>	II-17
2.9 <i>Partial Discharge Pada Stator Generator</i>	II-21
2.10 <i>Bentuk Fisik PD</i>	II-23

2.11 Polaritas PD	II-24
-------------------	-------

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengambilan dan Pengumpulan Data Hasil Pengukuran	III-26
3.2 <i>Online Portable Monitoring Partial Discharge</i>	III-28
3.3 Analisis Data <i>Partial Discharge</i> Yang Didapat	III-31
3.4 Analisa Data PD	III-36
3.4.1 Analisa Komparasi (Perbandingan)	III-36
3.4.2 Analisa Trend	III-38
3.5 Analisa Pengukuran dan Perhitungan Rugi Daya	III-40

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Status Terakhir PD Belitan Stator Generator	IV-41
4.4.1 Komparasi	IV-41
4.2 Status PD (<i>Pre-Overhaul & Post-Overhaul</i>)	IV-43
4.4.2 Trending	IV-43
4.3 Analisis Besarnya Rugi Daya Akibat PD	IV-46
4.4 Pengaruh Pembebanan Terhadap Rugi Daya	IV-48

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	V-50
5.2 Saran	V-51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Turbin Gas <i>Cogeneration</i> Siklus Terbuka	II-6
Gambar 2.2 Sistem Turbin Gas <i>Cogeneration</i> Siklus Tertutup	II-7
Gambar 2.3 <i>W501D5A Gas Turbine</i>	II-8
Gambar 2.4 <i>Template Westinghouse</i>	II-8
Gambar 2.5 <i>Brush Generator</i> BDAX82-445ERH	II-9
Gambar 2.6 <i>Nameplate Generator</i>	II-10
Gambar 2.7 <i>Generator Housing</i>	II-11
Gambar 2.8 <i>Stator Frame</i>	II-12
Gambar 2.9 <i>Stator Winding</i>	II-12
Gambar 2.10 <i>Generator Rotor</i>	II-13
Gambar 2.11 <i>Exciter Configuration</i>	II-14
Gambar 2.12 <i>Rotor Ground Fault Monitor</i>	II-15
Gambar 2.13 <i>Broken Stator Winding</i>	II-15
Gambar 2.14 <i>Stator Generator</i>	II-18
Gambar 2.15 Penampang melintang stator generator	II-20
Gambar 2.16 <i>Void</i> pada isolasi stator generator	II-21
Gambar 2.17 Gambaran <i>partial discharge</i> pada isolasi stator generator	II-22
Gambar 2.18 <i>Rise Time</i> Pulsa PD	II-24
Gambar 2.19 Polaritas dan Letak PD Pada Isolasi	III-25
Gambar 3.1 Konfigurasi Instalasi Pengambilan Data PD	III-27
Gambar 3.2 <i>Epoxy Mica Capacitor</i> (sensor)	III-28
Gambar 3.3 <i>Installed EMCs (Epoxy Mica Capacitor)</i>	III-28
Gambar 3.4 <i>PDLitePro</i> Bagian 1	III-29
Gambar 3.5 <i>PDLitePro</i> Bagian 2	III-32
Gambar 3.6 <i>Quality Flags</i>	III-32
Gambar 3.7 <i>PDLitePro</i> keadaan OK	III-34
Gambar 3.8 <i>PDLitePro</i> keadaan OVR	III-34
Gambar 3.9 <i>PDLitePro</i> keadaan POVRL	III-35
Gambar 3.10 <i>PDLitePro</i> keadaan HNPR	III-35
Gambar 3.11 <i>PDLitePro</i> keadaan HNM	III-36
Gambar 3.12 Blok Diagram Tahapan Penelitian	III-39
Gambar 4.1 Data Trending NQN+	IV-43
Gambar 4.2 Data Trending NQN-	IV-44
Gambar 4.3 Data Trending QM+	IV-44
Gambar 4.4 Data Trending QM-	IV-45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Westinghouse W501D5A</i>	II-9
Tabel 2.2 <i>Generator Design Data</i>	II-10
Tabel 3.1 <i>Kategori Pulse</i>	III-29
Tabel 3.2 <i>Data Statistical Summary</i> Magnitudo PD dan Kelas Tegangan	III-37
Tabel 3.3 <i>Typical Trending</i> Magnitudo PD	III-38
Tabel 4.1 <i>Data Pengukuran Pulse Magnitude</i> PD Generator Unit-1, 2, dan 3	IV-41
Tabel 4.2 <i>Komparasi Data Hasil Pengukuran PD dengan IRIS Statistical</i>	IV-42
Tabel 4.3 <i>Kategori Data Trend</i> Generator Unit-1	IV-46
Tabel 4.4 <i>Data Perhitungan Rugi Daya</i>	IV-47
Tabel 4.5 <i>Data Pengaruh Pembebanan Terhadap Rugi Daya</i>	IV-48
Tabel 4.6 <i>Data Pembebanan Beban Harian dan Beban Puncak</i>	IV-49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Pertamina Hulu Rokan (PHR) sebagai salah satu produsen minyak di Indonesia mempunyai sistem tenaga listrik sendiri untuk memenuhi kebutuhan listrik yang sangat besar serta mempunyai elemen-elemen yang sangat lengkap dari mulai Pembangkitan, Transmisi dan Distribusi. Untuk memberikan suplai energi listrik ke ladang minyak dan ke kilang secara kontinyu, PT. PHR mendapatkan *supply* energi listrik dari 3 unit pembangkit gas turbin milik PT. Mandau Cipta Tenaga Nusantara (MCTN) dengan kapasitas pembangkitan total 300 MW guna untuk menunjang kebutuhan Energi Listrik pada perusahaan minyak yang terbesar di Indonesia ini, yang di beri nama North Duri Cogeneration Plant (NDC Plant).

NDC Plant mempunyai 3 unit pembangkit Listrik Turbin Gas Siemens Westinghouse 501 D5 A dengan 3 unit HRSG (Heat Recovery Steam Generator) *Deltak Two Stage Duct Firing* dengan memanfaatkan panas dari gas buang turbine gas yang ada, dengan kapasitas 120 Mbcwepd (*Million barrel cool water equal perday*) air yang di gunakan untuk mendapatkan steam yang berkualitas baik (*Steam Quality*) yang akan digunakan pada lokasi *Duri Field* sebagai pemanas pada sumur minyak yang mempunyai kadar lilin yang tinggi.

Pada sebuah pembangkit listrik, generator merupakan komponen yang sangat kritical dan sangat penting dalam sistem pembangkitan energi listrik. Generator berfungsi untuk menghasilkan energi listrik dari energi mekanik yang memutarnya. Namun pada suatu sistem dalam pembangkitan energi listrik, terdapat kemungkinan-kemungkinan terjadi gangguan pada generator yang dapat menyebabkan generator mengalami kerusakan.

Salah satu gangguan yang sering terjadi pada generator adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat pada generator bisa disebabkan oleh berbagai macam hal, yang mana contohnya yaitu kegagalan isolasi pada belitan stator yang disebut *Partial Discharge*.

Kerusakan yang terjadi pada belitan stator merupakan hal yang paling dominan sebagai salah satu penyebab kerusakan pada generator. Hal itu menunjukkan bahwa kondisi pada belitan stator generator harus selalu dalam

keadaan baik. Namun dalam operasinya, banyak faktor yang menyebabkan menurunnya kualitas isolasi pada belitan stator, antara lain faktor tekanan yang bersifat elektris, mekanis, dan termal. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran dan analisis secara aktual agar masalah yang terjadi dapat diketahui.

Partial discharge menurut definisi IEEE adalah terjadinya peluahan listrik (*electrical discharge*) tidak lengkap atau sebagian yang terjadi antara material isolasi dengan konduktor atau di dalam material isolasi. Adanya *partial discharge* merupakan salah satu indikasi kerusakan isolasi pada penghantar.

Partial discharge sangat penting dipelajari karena dengan mengetahui tingkat *partial discharge* suatu isolasi maka kualitas hingga umur isolasi dapat ditentukan. Walaupun ukuran setiap peluahan biasanya kecil, peluahan-peluhan tersebut dapat menyebabkan kerusakan secara bertahap dan bisa saja membawa kegagalan isolasi pada akhirnya.

Pengukuran dan pengamatan PD dapat dilakukan melalui pengamatan efek dari PD tersebut, diantaranya yaitu melalui pulsa arus listrik, perubahan sifat material isolasi, suara dan radiasi sinar elektromagnetik. Pengukuran PD yang sekarang banyak digunakan adalah dengan mendeteksi pulsa arus yang ditimbulkan oleh PD tersebut (Prasojo.Winarko Ari,2009).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa penyebab terjadinya Kerusakan Pada Belitan Stator ?
2. Bagaimana cara mengukur dan mengamati Partial Discharge (PD) ?
3. Bagaimana Perhitungan Rugi daya pada stator Generator ?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah, maka batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan pada generator gas turbine di PLTGU *North Duri Cogeneration Plant*.

2. Pengukuran *partial discharge* menggunakan alat IRIS POWER TGA-B™ *Portable Partial Discharge (PD) Monitoring* dan untuk mendapatkan data grafik dan kuantitatif.
3. Analisis grafik pola *partial discharge* dilakukan berdasarkan data empiris dari *software* PDLitePro.
4. Analisis distribusi tinggi pulsa dilakukan berdasarkan posisi grafik pulsa positif dan negatif.
5. Jenis *partial discharge* yang terjadi hanya ditetapkan berdasarkan fasa pada grafik pola serta posisi distribusi grafik pulsa positif dan negatif dari pengukuran.
6. Rugi daya yang ditentukan dari perhitungan berdasarkan nilai tegangan nominal pada saat pengukuran dan data kuantitatif.
7. Pengukuran *partial discharge* disesuaikan dengan nilai tegangan dan kondisi suhu lingkungan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan dari Penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui dan menganalisis jenis *partial discharge* yang terjadi pada stator generator.
2. Menghitung besarnya rugi daya akibat *partial discharge* yang terjadi pada belitan stator generator.
3. Mengetahui pengaruh pembebanan terhadap rugi daya yang terjadi akibat *partial discharge*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari Penelitian ini diharapkan dapat membawa manfaat sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai acuan untuk menghitung rugi daya akibat *partial discharge* dan menentukan prediksi usia efektif dari generator serta dapat menjadi referensi serta rekomendasi untuk melakukan perbaikan generator bagi PT. MCTN.

2. Dapat menjadi referensi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah serupa pada tugas akhirnya.

1.6 Metode Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan laporan ini adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan pendahuluan yang mencakup Latar Belakang, Perumusan Masalah, pembatasan masalah, tujuan, manfaat penelitian dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan penjelasan tentang Kajian Penelitian Terdahulu, *Cogeneration, North Duri Cogeneration Powerplant, Westinghouse 501D5A Combustion Turbine, Brush Generator BDAX82-445ERH* serta membahas lebih rinci *Partial Discharge*, Penyebab *Partial Discharge*, Teori *Partial Discharge* Pada Stator Generator, Bentuk Fisik *Partial Discharge* serta Polaritas *Partial Discharge*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Merupakan penjelasan secara rinci tentang Pengambilan dan Pengumpulan Data Hasil Pengukuran, Analisis Data *Partial Discharge* Yang Didapat, Analisa Data *Partial Discharge*, Analisa Komparasi, Analisa Trend, serta Analisa Pengukuran dan Perhitungan Rugi Daya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan penjelasan tentang Status Terakhir dari kondisi terakhir *Partial Discharge* monitoring, analisa komparasi, analisa trend, perhitungan rugi daya dan pengaruhnya terhadap pembebanan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bagian penutup yang memuat Kesimpulan dan Saran dari laporan tugas akhir.