



# Analisis Rugi Daya Akibat *Partial Discharge* pada Generator Turbin Gas di *North Duri Cogeneration Plant*

**Arzul**

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta Padang

DOI: 10.31004/jutin.v5i1.14697

✉ Corresponding author:

[[arzul@bunghatta.ac.id](mailto:arzul@bunghatta.ac.id)]

## Article Info

## Abstrak

### *Kata kunci:*

Harmonisa;  
Pembangkit Listrik  
Tenaga Surya;  
SPWM

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*. 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-B™ *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.

### **Abstract**

The function of the generator is to produce electrical energy from the mechanical energy that rotates it. However, in a system for the generation of electrical energy, there are possibilities for interference with the generator which can cause the generator to suffer damage. One of the disturbances that often occurs in generators is short circuit faults. Short circuit disturbances in generators can be caused by various things, which is an example of an insulation failure in the stator winding is called Partial Discharge. The failure of the insulation that occurs in the stator winding is the most dominant cause of damage to the generator. However, in operation, many factors cause a decrease in the quality of the insulation of the stator winding, including pressure factors that are electrical, mechanical and thermal. Partial discharge in the generator stator winding can also cause power losses in the generator. Power loss occurs due to the control of electric charge within a certain time frame during the partial discharge activity. By using the formula calculation, the value of the power loss that occurs due to partial discharge can be identified and analyzed to determine the condition of the generator. Partial discharge measurements were carried out using the IRIS POWER TGA-BTM Portale Partial Discharge (PD) Monitoring tool and the PDLitePro software. The object of study is the North Duri Cogeneration Generator Unit 1. Based on the results of comparative analysis, the measured PD magnitude was 160 mV in the isolation of the generator stator winding Unit-1 Phase A, 134 mV in the isolation of the generator stator winding Unit-2 Phase B and 124 mV in the isolation of the generator stator winding Unit-3 Phase C entered into Typical PD category level (<75 % Summary of Statistics). In addition, the generator Unit-1 has the highest magnitude when compared to Unit-2 (134 mV) and Unit-3 (124 mV). However, in general, PD activity in Unit-1 winding isolation is still within safe limits up to 160 mV. The value of the power loss due to a significant partial discharge that occurred in the North Duri Cogeneration Plant generator was in phase A of all phases that occurred and occurred on March 25 2019 with a power loss value of 8.70 mW.

#### *Keywords:*

Harmonics;  
Solar Power Plant;  
SPWM

---

## **1. PENDAHULUAN**

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 kontinu, 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 kritikal 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. 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* 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).

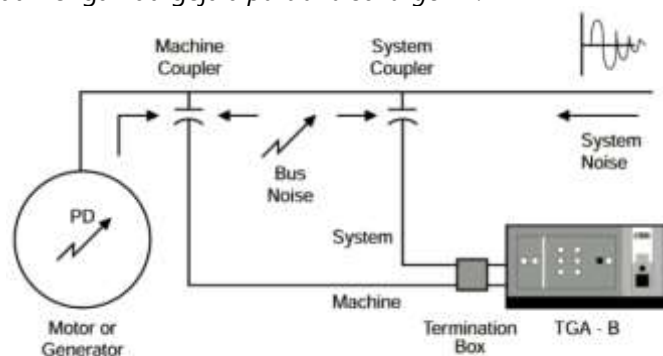
## 2. METHODS

### Pengambilan dan Pengumpulan Data Hasil Pengukuran

- **On-line Partial Discharge (PD) Monitoring**

*On-line Partial Discharge (PD) Monitoring* adalah cara untuk mengetahui adanya peristiwa *partial discharge* pada bagian *stator* di generator, pengukuran akan dilakukan dengan menggunakan analyzer dari IRIS POWER. Analyzer ini dapat dipergunakan secara on-line measurement, artinya pengukuran efek *partial discharge*, sistem dalam keadaan hidup dengan generator melakukan kerja dan menghasilkan gaya putar, arus dan energi. Secara praktis alat ini juga mampu memisahkan gangguan (*noise*) yang disebabkan oleh interferensi gelombang luar, misalnya oleh efek korona dari penutup bus bar generator.

Data-data *partial discharge* diambil secara on- line pada bus bar generator yang terletak membujur menuju trafo daya. Skematik rangkaian pengukuran juga memperhitungkan gangguan yang muncul sehingga diperlukan filter untuk dapat mengamati gejala *partial discharge* ini.



Directional Bus Coupler Configuration for Motors and Generators

Gambar 1 Konfigurasi Instalasi Pengambilan Data PDSumber : IRIS POWER BOOK,2018

Data PD diambil dengan menggunakan alat PD analyzer TGA-B IRIS Power secara on-line saat generator beroperasi. TGA-B memiliki band width sebesar 0.1 – 350 MHz sehingga alat ini memiliki frekuensi cut-off pada 350 Mhz. Sedangkan kapasitor EM 80 pF memiliki frekuensi cut-off pada 40 Mhz. Kombinasi dari kapasitor dan TGA-B menghasilkan jangkauan frekuensi pengetesan dari 40 – 350 Mhz dimana frekuensi PD dengan rise time sangat cepat menghasilkan frekuensi yang dapat terdeteksi pada jangkauan 50 – 250 MHz.

Dengan analisis dari perkembangan data *partial discharge* maka dapat diambil metode pengukuran umur ketahanan dari isolasi. Sehingga dengan demikian kondisi rusak (breakdown) dapat dihindari dengan prediksi untuk menentukan waktu perawatan (*predictive maintenance*) dalam sistem pembangkit.

**Online Portable Monitoring Partial Discharge Untuk Motor Dengan Rating 3.3 kv Dan Lebih Tinggi**

Motor industri dan utilitas dengan nilai 3,3 kV dan di atasnya dimonitor untuk aktivitas *Partial Discharge* menggunakan skrup kapasitif epoksi mika (Epoxy Mica Capacitors) 80pF yang dipasang di terminal tegangan tinggi dari mesin. biasanya, hanya tiga sensor terukur 6,9 kV atau 16 kV dipasang karena sebagian besar motor dipasang oleh panjang kabel daya yang signifikan, yang melemahkan dan mendistorsi setiap pulsa noise dari sistem tenaga, sehingga tidak memungkinkan bahwa sinyal dikacaukan dengan sinyal PD dari stator.



Gambar 3.2 Epoxy Mica Capacitors (sensor) Sumber : IRIS POWER BOOK,2018

Sensor dipasang di dalam selungkup terminasi motor, dan kabel koaksial dari sensor diakhiri dalam selungkup terpisah untuk digunakan bersama dengan penganalisis PD portabel TGA-B™(*Portable partial discharge monitor*).

Perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan pengukuran dan pengambilan data PD dengan alat TGA-B adalah PDLite Pro. Adapun parameter- parameter yang ada dalam menggunakan perangkat lunak ini adalah sebagai berikut.

1. Kategori Pulsa

Ketika TGA-B mengukur sinyal pulsa dari sensor, PDLite Pro ini dapat mengkategorikan sinyal pulsa berdasarkan waktu kedatangan (time of arrival) dan polaritas (positif atau negatif). Counter pulsa pada alat TGA-B akan bekerja berdasarkan kategori dasar seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Kategori Pulse

Name	Short Name	Description
+ PD From Machine	Machine PD +	+ PD pulses originating from within the winding of terminals
- PD From Machine	Machine PD -	- PD pulses originating from within the winding of terminals
+ Bus Noise	Bus +	+ Noise pulses from the bus between the sensors
- Bus Noise	Bus -	- Noise pulses from the bus between the sensors
+ System Noise	System +	+ Noise pulses from the power system
- System Noise	System -	- Noise pulses from the power system

Name	Short Name	Description
+ Total Noise	Noise +	Combination of Bus + and System +
- Total Noise	Noise -	Combination of Bus - and System -

2. Indikator aktivitas PD (NQN dan Qm)

PDlite Pro ini dapat mengkalkulasikan besaran Qm dan NQN berdasarkan plot PHA (Pulse Height Analysis). NQN (Normalized Quantity Number) adalah kuantitas PD yang proporsional terhadap total PD yang terukur oleh sensor. NQN negatif merujuk pada total aktifitas pulsa PD negatif dan NQN positif merujuk pada total aktifitas pulsa PD positif. Nilai NQN merupakan indikator kondisi isolasi rata-rata dari belitan stator. Qm adalah magnitudo dari pulsa untuk satu kategori pulsa dasar (terukur langsung) yang mempunyai laju pengulangan (repetition rate) sebesar 10 pulsa per detik, yang merupakan nilai puncak aktifitas PD. Qm merupakan indikator kerusakan yang terjadi akibat PD pada bagian isolasi yang paling terdeteriorasi. Jika level aktifitas PD melebihi setelan jangkauan sensitivitas yang dipilih, maka nilai NQN dan Qm tidak bisa dihitung dan di catat sebagai tidak bisa diaplikasikan (NA)

3. Jangkauan sensitivitas

Jangkauan ini menentukan batas atas dan bawah pendeteksian PD dari TGA-B. Sebagai contoh, bila sensitivitas di set 5 – 85 mV maka nilai magnitudo PD yang lebih besar dari 85 mV tidak dapat diukur (over range).

4. Sudut referensi

Sudut ini dipergunakan oleh TGA-B untuk menentukan pergeseran sudut fasa antara frekuensi tegangan yang dijadikan referensi dengan tegangan kerja pada fasa yang diukur. Sudut yang digunakan untuk melakukan pengukuran PD dengan capacitive coupler adalah 90°

5. Waktu tunda (*Delay time*)

Waktu tunda adalah waktu yang diperlukan pulsa frekuensi tinggi untuk berjalan/merambat pada jarak antara dua sensor, biasa disebut IDT (Instrument Delay Time). Nilai IDT ini sudah ditentukan untuk setiap generator dimana nilai ini di dapat saat pertama kali instalasi dikalibrasi.

6. Bendera kualitas (*Quality flag*)

Bendera kualitas atau status digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian jangkauan sensitivitas terhadap data PD yang diambil.

**Analisa Data *Partial Discharge***

**Analisa Komparasi (Perbandingan)**

Analisa komparasi dilakukan dengan dua metoda, yaitu membandingkan langsung satu mesin dengan mesin yang sama (generator Unit-1 dibandingkan dengan generator Unit-2 dan Unit-3) dan membandingkan mesin dengan data *statistical summary* yang dikeluarkan oleh IRIS. Data yang diambil dari mesin dengan parameter operasi yang sama dan dengan menggunakan alat penggetesan dan metoda yang sama bisa dibandingkan secara langsung dan hal ini sangat berguna sekali. Hal ini juga memungkinkan secara kasar untuk membandingkan hasil-hasil penggetesan dari satu mesin ke mesin-mesin lain yang serupa. Karena pengaruh dari frekuensi penggetesan, maka metoda penggetesan (termasuk tipe sensor dan tipe/seting alat pengukuran) haruslah sama untuk semua perbandingan. Berdasarkan hasil analisa statistik, tipe dari mesin tidak tampak memberikan pengaruh yang signifikan pada level PD dan walaupun tipe-tipe isolasi memiliki mekanisme kegagalan yang berbeda-beda. Dari perbandingan data-data yang diambil, secara kasar tidak terdapat perbedaan yang berarti terhadap keseluruhan level PD. Besarnya beban dan temperatur sangat berpengaruh pada hasil penggetesan, akan tetapi hal ini tergantung dari tipe dan kondisi isolasi, dan oleh karenanya tidak bisa digunakan dalam perbandingan kasar ini. Untuk variable operasi yang lain yaitu tegangan dan tipe pendingin haruslah sama untuk membandingkan hasil pengukuran. IRIS membuat sebuah data base dari 140.000 hasil penggetesan dari sekitar 11.000 mesin yang dapat digunakan untuk melakukan komparasi. Pada tabel berikut ini adalah data statistical summary untuk kelas tegangan mesin yang berbeda-beda dengan berpendingin udara yang diambil menggunakan alat TGA-B dan sensor EMC (BUS).

Tabel 2 Data Statistical Summary Magnitudo PD dan Kelas Tegangan Mesin

Oper kV	2-5 kV	6-9 kV	10-12 kV	13-15 kV	16-18 kV	>19 kV
25%	8	29	34	50	41	40
50%	20	70	77	113	77	85
75%	63	149	172	23339	151	136
90%	228	288	176	469	292	497
95%	298	433	552	723	582	722

*Distribution of Qm for Air-Cooled Stators, 80 pF Sensors on the Terminals*

Tipikal perbandingan untuk level PD adalah sebagai berikut

- Diabaikan (*Negligible*) < 25%
- Rendah (*Low*) < 50%
- Rata-rata (*Typical/average*) < 75%
- Agak tinggi (*Moderate*) < 90%
- Tinggi (*High*) > 90%
- Sangat Tinggi (*Very High*) > 95%

Nilai Qm ke 25 persentil menunjukkan nilai magnitudo Qm untuk 25% dari hasil-hasil pengetesan adalah rendah atau terlalu kecil untuk bisa diinterpretasikan. Begitu juga untuk nilai 50%, 75%, dan 90%. Secara normal, nilai Qm lebih besar ke 90 persentil dan memiliki kecenderungan naik terdapat masalah pada isolasi. Untuk itu pengecekan visual dan pengetesan secara *off-line* direkomendasikan untuk dilakukan untuk mengetahui kondisi dan permasalahan isolasi lebih lanjut.

**Analisa Trend**

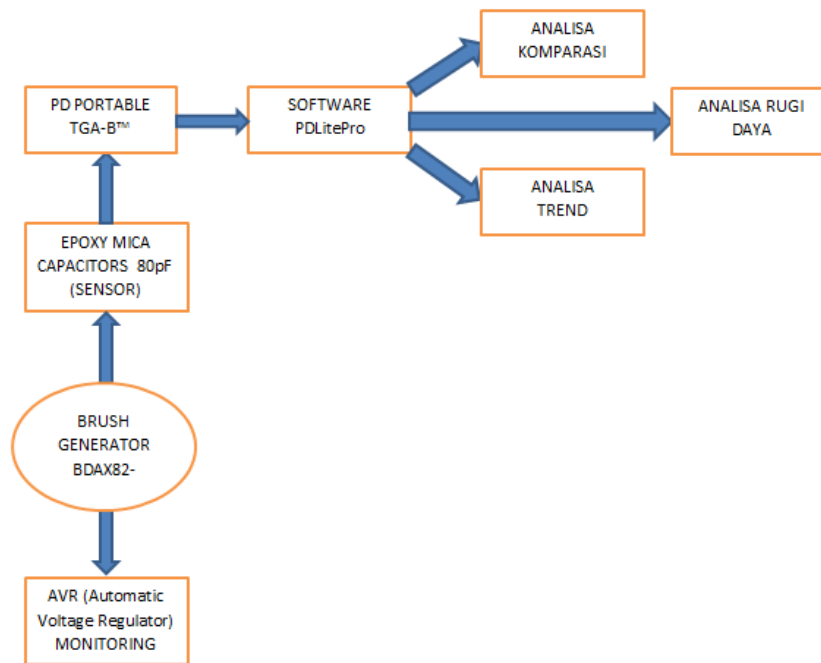
Tahap kedua dalam melakukan analisa adalah dengan membandingkan hasil pengukuran dengan hasil sebelumnya. Trend plot merepresentasikan perubahan besaran PD sepanjang waktu, terutama NQN dan Qm dan menghasilkan grafik yang merepresentasikan proses dari penuaan isolasi. Trend plot dapat menampilkan trend lebih dari 10 parameter untuk seleksi data, NQN+, NQN-, Qm+ dan Qm-, load, dan *ambient* temperatur. Dalam melakukan analisa trend, parameter operasi dari generator sebisa mungkin di jaga pada nilai yang relatif sama.

Kondisi lingkungan terutama kelembaban dapat terlihat pengaruhnya terhadap level PD terutama apabila kontaminasi pada permukaan menjadi bagian yang konduktif apabila menjadi basah. Walaupun fluktuasi level PD dalam melakukan trend data tidak bisa dihindari, akan tetapi ketika sistem isolasi mengalami proses penuaan, maka akan dengan mudah terlihat trend kenaikan level PD seiring dengan waktu. Proses penuaan merupakan proses yang memakan waktu panjang sehingga kenaikan tiba-tiba level PD bukan merupakan akibat dari proses tersebut. Kenaikan Qm dua kali nilai sebelumnya dalam periode waktu 6 bulan mengindikasikan adanya peningkatan mekanisme kegagalan secara cepat. Kegagalan yang sesungguhnya secara normal disebabkan dari sumber yang lain yang menyebabkan stress isolasi seperti petir, sinkronasi terlepas, atau pemanasan berlebih. Berikut ini adalah tipe-tipe trending yang sering muncul dalam melakukan monitoring aktivitas PD.

Tabel 3 Typical Trending Magnitudo PD

Typical Trending	Description
<i>Baseline</i>	Tidak ada data trend yang tersedia.
<i>Stable</i>	Tidak ada bukti perubahan pada kondisi stator ( $\pm 25\%$ )
<i>Downward trend</i> untuk mesin baru	Penurunan trend PD untuk 12-18 bulan pertama pengoperasian.
<i>Upward trend</i>	Tidak diperlukan tindakan segera Pengetesan selanjutnya diperlukan untuk mengetahui kontuniutas dari trend.

<i>Downward trend</i>	Tidak umum, kecuali penurunan yang sangat cepat yang menunjukkan adanya perubahan kondisi isolasi seperti terjadinya karbonisasi di dalam void.
<i>Rapid deterioration</i>	Kenaikan PD secara cepat dan menjadi konsen. Pengetesan lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui kontinuitas dari trend
<i>Fluctuation</i>	PD terkadang berfluktuasi karena variasi dari kondisi lingkungan dan operasi dan bukan merupakan indikasi perubahan kondisi isolasi.
<i>Downward due to maintenance</i>	Kesuksesan kegiatan perawatan pada isolasi dapat menyebabkan penurunan trend PD.



Gambar 3 Blok Diagram Tahapan Penelitian

### 3.1 Analisa Pengukuran dan Perhitungan Rugi Daya Akibat *Partial Discharge*

Setelah mendapatkan data kuantitatif dari hasil pengukuran, kita dapat melakukan perhitungan rugi daya pada belitan stator generator akibat *partial discharge* dengan menggunakan persamaan :

$$P = \left(\frac{1}{T}\right) Q \cdot V$$

Dimana :

P : Rugi daya akibat *partial discharge* (W)

T : Periode *partial discharge* (s)

Q : Jumlah muatan yang terlepas dalam jumlah pulsa (C)

V : Besar tegangan nominal pada saat pengukuran *partial discharge* (Volt)

Dari persamaan diatas dapat dicari nilai jumlah muatan yang terlepas dari hubungan muatan listrik dalam kapasitor menggunakan persamaan :

$$Q : C \cdot V$$

Dimana :

C : Kapasitas kapasitor (F)

V : Tegangan muatan listrik yang terbaca (V)

Berdasarkan rumus diatas, nilai 1/T dapat kita ganti menjadi nilai frekuensi atau *repetition rate* yang didapatkan pada *partial discharge pattern* dari hasil pengukuran. Jumlah muatan yang terlepas juga terdapat pada



*partial discharge pattern* berupa keterangan *pulse magnitude*. Secara umum, jumlah nilai muatan yang terlepas dengan jumlah pulsa dan dalam periode waktu tertentu sama dengan nilai arus.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Status PD Belitan Stator Generator (*Pre-Overhaul & Post-Overhaul*)

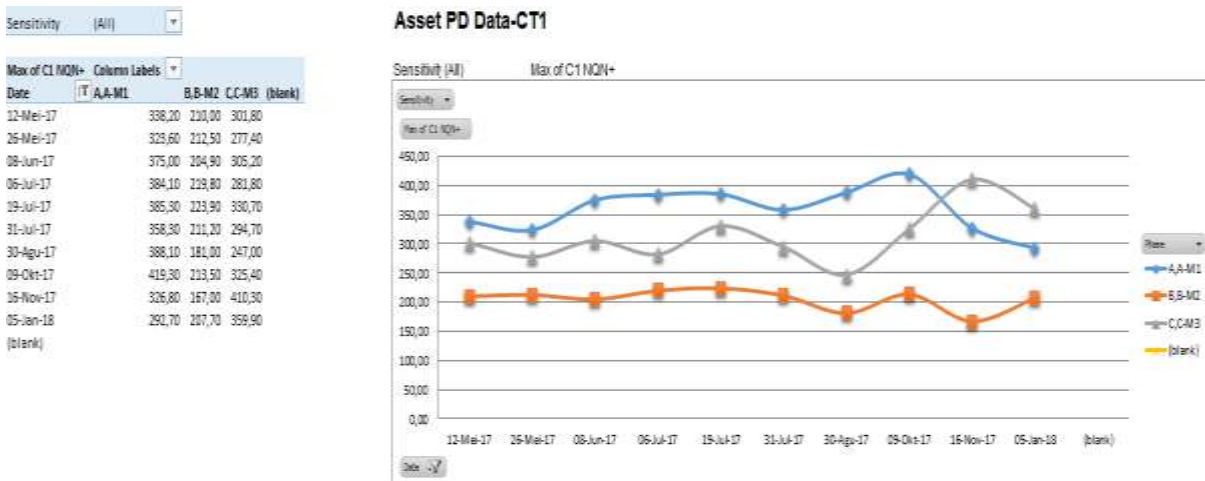
Pengambilan dan pengumpulan data PD pada generator Unit-1 dimulai pada akhir tahun 2017 sebelum dilakukannya (MO) *Major Overhaul* Unit-1 dan setelah (MO) *Major Overhaul* generator Unit-1 kembali beroperasi pada beban penuh dan terhubung kembali ke jaringan 230 KV. Perbaikan pada lapisan area stres *grading* yang rusak akibat PD telah dilakukan oleh tim dari Brush Electrical sebagai langkah korektif terhadap hasil temuan inspeksi. Isolasi belitan yang telah dibersihkan dan diperbaiki dalam aktifitas MO 2017 ini diambil sebagai kondisi acuan awal (*baseline*) terkait dengan magnitudo PD yang terukur.

#### Trending

Data PD yang terukur pada tanggal 12 Mei 2017 diambil sebagai data acuan awal yang digunakan untuk memulai trending data PD generator Unit-1.

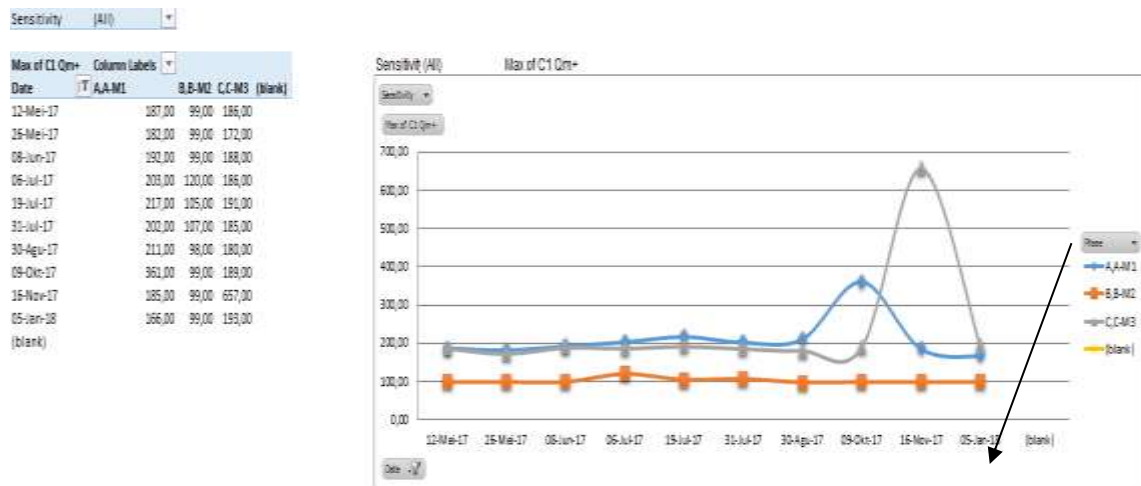


Gambar 4.1 Data trending NQN+ dari 12 Mei 2017 - 5 Jan 2018 (*Pre-MO & Post-MO*)

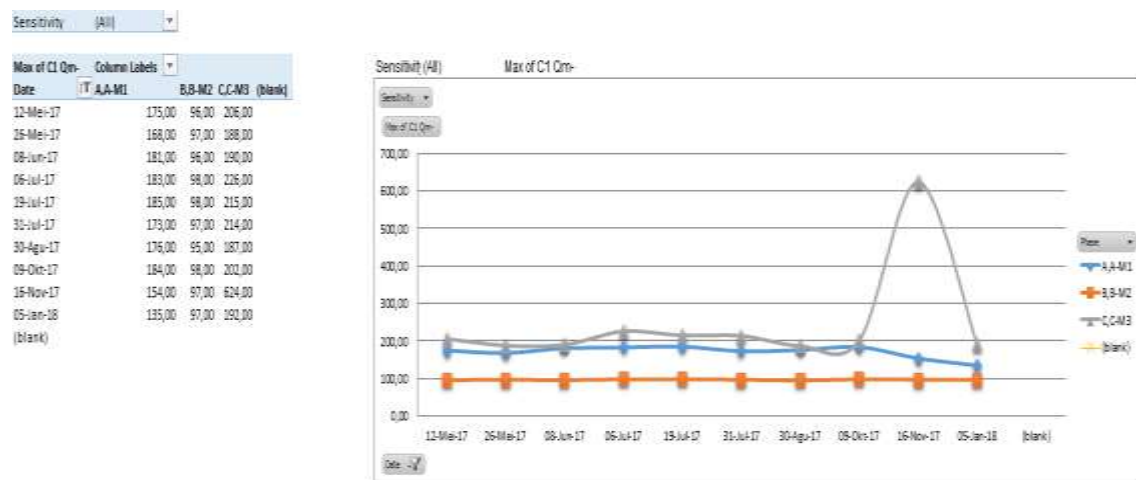


Gambar 4.2 Data trending NQN- dari 12 Mei 2017 - 5 Jan 2018 (*Pre-MO & Post-MO*)





Gambar 3 Data trending QM+ dari 12 Mei 2017 - 5 Jan 2018 (Pre-MO & Post-MO)



Gambar 4.4 Data trending QM- dari 12 Mei 2017 - 5 Jan 2018 (Pre-MO & Post-MO)

Terkait dengan kegiatan perawatan yang dilakukan dalam MO 2017, maka trending data PD dapat dibagi menjadi dua periode, yaitu trending data periode 12 Mei 2017 sampai sebelum MO November 2017 dan periode paska MO 2017 sampai dengan tanggal 05 Januari 2018.

Pada periode pertama, fluktuasi magnitudo PD terlihat pada ketiga fasa, terlebih pada fasa C. Walaupun demikian, kenaikan secara gradual magnitudo PD seiring dengan waktu dapat terlihat dengan jelas. Pada fasa C, kenaikan magnitudo PD terjadi dalam periode Juni tahun 2017 sampai dengan Juli 2017. Kemudian magnitudo PD berfluktuasi pada level 350-400 mV sampai oktober 2017. Magnitudo PD terlihat naik cukup secara gradual sampai pada tanggal 16 November 2017 yang menyentuh level 657 mV (sebelum MO dilaksanakan). Kenaikan magnitudo PD secara gradual juga terjadi pada fasa A dan B dimana magnitudo PD kedua fasa ini lebih rendah dibandingkan dengan fasa A. Hal ini mengindikasikan kondisi isolasi yang tidak seragam dalam belitan stator generator Unit-1 Pada periode kedua, data awal PD di ambil setelah generator beroperasi pada beban penuh dan terkoneksi ke jaringan 230 KV. Data PD ini diambil sebagai data acuan setelah perawatan dan perbaikan pada isolasi belitan. Turunnya magnitudo PD mengindikasikan adanya korelasi antara magnitudo PD dengan perbaikan pada area *grading* isolasi belitan (Gambar 4.3 pada keterangan pre dan post MO).

Berdasarkan plot trending data, kenaikan secara gradual magnitudo PD seiring dengan waktu mengindikasikan proses degradasi isolasi belitan stator yang umum terjadi karena proses alamiah penuaan bahan isolasi. Proses penuaan bahan isolasi bisa terjadi baik di dalam isolasi itu sendiri, dilapisan permukaannya, maupun diseluruh bagian isolasi yang mengakibatkan terbentuknya *void-void* tempat PD terjadi. Kenaikan signifikan yang terlihat pada periode pertama sebelum MO menunjukkan adanya perubahan kondisi isolasi secara cepat yang bukan merupakan ciri dari proses penuaan. Tanpa adanya kejadian gangguan dalam periode 7 bulan yang dapat

mempercepat laju kerusakan isolasi atau menimbulkan stres hebat pada isolasi seperti sambaran petir, hubung singkat, atau lepas sinkronisasi maka hal ini dapat mengindikasikan penurunan kualitas *winding stator generator*.

Tabel 3 Kategori Data *Trend* Generator Unit-1 Berdasarkan Periode *Trending* dan Fasa

Winding Stator	Kategori Data Trend	
	Sebelum MO 2017	Sesudah MO 2017
Fasa A	<i>Fluctuation, Rapid Deterioration</i>	<i>Downward due to Maintenance</i>
Fasa B	<i>Upward Trend, Stable</i>	<i>Upward Trend, Stable</i>
Fasa C	<i>Fluctuation, Rapid Deterioration</i>	<i>Downward due to Maintenance</i>

**Analisis Besarnya Rugi Daya Akibat *Partial Discharge***

Daya listrik yang dikeluarkan turbin *North Duri Cogeneration Plant* adalah 100 MW dengan generator bertegangan 13.8KV. Generator pada setiap unit memiliki jenis dan spesifikasi yang sama. Objek studi pengukuran adalah pada Unit-1 yang akan dianalisa rugi daya akibat *partial discharge* -nya dan pengaruh pembebanannya.

Data *partial discharge* yang digunakan untuk menghitung rugi daya diambil dari data terakhir pengukuran yang dilakukan pada tanggal 25 maret 2019, Waktu pengukuran tersebut dilakukan pada saat nilai tegangan generator dan temperatur lingkungan identik satu sama lain agar pengukuran lebih akurat. Pengukuran juga dilakukan tanpa ada pengaturan pembebanan generator. Data aktual generator yang ditentukan antara lain adalah tegangan generator, daya aktif, daya reaktif, dan temperatur lingkungan serta perhitungan rugi daya.

Setelah melakukan pengukuran dan mendapatkan gambaran grafik serta parameter kuantitatif, terlampir data hasil pengukuran dan perhitungan rugi daya akibat peluahan parsial pada stator generator dimana nilai rugi daya didapatkan melalui persamaan (1).

Tabel 4 Data Perhitungan Rugi Daya

Date	Time	c (F)	Volt	Q (c.v)	1/T	V (kV)	Fasa	P losses (mW) ((1/T).Q.V)
25-Mar-19	9:30 AM	$8 \times 10^{-11}$	0.16	$1.28 \times 10^{-11}$	50 MHz	13.6	A	8.70
		$8 \times 10^{-11}$	0.091	$7.28 \times 10^{-11}$	50 MHz	13.6	B	4.95
		$8 \times 10^{-11}$	0.13	$1.04 \times 10^{-11}$	50 MHz	13.6	C	7.07

Pada data tabel diatas, dapat kita lihat hasil perhitungan rugi daya akibat *partial discharge* pada stator generator. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan nilai tegangan nominal pada saat pengukuran serta data kuantitatif. Jenis data kuantitatif yang digunakan adalah nilai *pulse magnitude* yang terdapat pada *partial discharge pattern*. Contoh perhitungan pada pengukuran tanggal 25 Maret 2017 untuk fasa A, dimana nilai muatan yang terlepas sebesar  $1,28 \times 10^{-11}$  Coulomb dengan nilai periode *partial discharge* sebesar 0.2 s. Maka nilai rugi daya yang terjadi adalah  $(13,6 \text{ kV})(1.28 \times 10^{-11} \text{ C})(50 \text{ MHz}) = 8,70 \text{ mW}$ .

Dapat kita lihat pada tabel diatas, nilai rugi daya yang paling besar terjadi pada fasa A, dengan nilai rugi daya yang paling besar terjadi pada pengukuran tanggal 25 Maret 2019 sebesar 8,70 mW. Secara jelas terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai rugi daya pada setiap perhitungan. Ini menunjukkan bahwa nilai rugi daya akan terus meningkat jika nilai *pulse magnitude* dari *partial discharge* juga meningkat, hingga pada saat nilai tertentu yang akan membuat kerusakan fatal pada generator.

**Pengaruh Pembebanan Terhadap Rugi Daya Yang Terjadi Akibat *Partial Discharge***

Salah satu faktor yang menyebabkan adanya rugi daya yang terjadi akibat *partial discharge* adalah tekanan yang bersifat mekanis, termal, dan elektrik. Hal ini disebabkan adanya operasi kerja yang dilakukan oleh generator. Operasi kerja didasarkan pada proses pembebanan yang terjadi pada generator. Sehingga dengan melakukan perhitungan pembebanan, maka dapat dilakukan analisis pengaruhnya terhadap nilai rugi daya yang terjadi. Pengukuran pembebanan di *North Duri Cogeneration Plant* dilakukan secara berkesinambungan yaitu dilakukan setiap 60 menit selama 24 jam.

Dari data pembebanan didapatkan antara lain nilai beban harian rata-rata dan beban puncak rata-rata. Untuk melakukan analisis, penulis melakukan perhitungan berdasarkan nilai pembebanan harian rata-rata. Nilai pembebanan yang dipakai adalah nilai pembebanan dalam rentang waktu pengukuran, yaitu pembebanan harian dari tanggal 20 Januari 2019 hingga tanggal 30 Desember 2019. Setelah didapatkan data pembebanan selama rentang waktu tersebut, lalu dilakukan perhitungan nilai pembebanan harian rata-rata antar waktu pengukuran. Dengan kedua nilai tersebut, maka dapat dilakukan analisis tentang pengaruh pembebanan terhadap nilai rugi daya yang terjadi akibat *partial discharge*.

Tabel 4.5 Data Pengaruh Pembebanan Terhadap Rugi Daya

Date	Time	c (F)	Volt	Q (c.v)	1/T	V (kV)	Fasa	P losses (mW) ((1/T).Q.V)
25-Mar-19	9:30 AM	$8 \times 10^{-11}$	0.16	$1.28 \times 10^{-11}$	50 MHz	13.6	A	8.70
		$8 \times 10^{-11}$	0.09 1	$7.28 \times 10^{-11}$	50 MHz	13.6	B	4.95
		$8 \times 10^{-11}$	0.13	$1.04 \times 10^{-11}$	50 MHz	13.6	C	7.07
26-Mar-19	9:35 AM	$8 \times 10^{-11}$	0.13 1	$1.05 \times 10^{-11}$	50 MHz	13.6	A	7.13
		$8 \times 10^{-11}$	0.09 8	$7.84 \times 10^{-11}$	50 MHz	13.6	B	5.33
		$8 \times 10^{-11}$	0.14 6	$1.17 \times 10^{-11}$	50 MHz	13.6	C	7.94

Analisis diatas dapat digunakan untuk mengetahui pengaturan pembebanan pada generator Unit-1 terhadap nilai rugi daya yang terjadi akibat *partial discharge* akan semakin besar atau semakin kecil. Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa semakin besar pembebanan maka akan semakin besar *pulse magnitude* dan semakin besar pula rugi-rugi daya yang terjadi. Pengaturan pembebanan dapat diseleksi berdasarkan nilai pembebanan harian rata-rata ataupun nilai beban puncak pada generator. Dengan membandingkan kedua data tersebut, maka dapat dilihat juga pengaruh pembebanan terhadap *partial discharge* yang terjadi pada isolasi belitan stator generator. Berikut adalah tabel hasil pengukuran pembebanan pada generator Unit-1 :

Tabel 6 Data Pembebanan Beban Harian dan Beban Puncak

Waktu	Beban harian rata-rata (MW)	Beban puncak rata-rata (MW)
20/01/2019 – 15/04/2019	92.70	100.56
16/04/2019 – 10/08/2019	94.52	101.21
11/08/2019 – 30/12/2019	98.81	103.15

Dari tabel diatas dapat kita lihat bahwa nilai beban harian dan beban puncak rata-rata meningkat dalam setiap rentang pengukuran. Data ini menunjukkan bahwa operasi kerja generator semakin meningkat dalam kurun waktu tersebut. Hal ini tentu saja memberikan efek pada generator itu sendiri sehingga apabila hal ini dibiarkan akan menyebabkan kemungkinan kerusakan generator semakin cepat akibat *partial discharge* pada isolasi stator generator.

#### 4. CONCLUSION

Dari penelitian skripsi tentang "Analisis Rugi Daya Akibat *Partial Discharge* Pada Generator Turbin Gas Di *North Duri Cogeneration Plant*", dapat disimpulkan bahwa :

1. 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.

2. Berdasarkan hasil analisa trending data, generator Unit-1 memiliki data tipe *Fluctuation* dan *Rapid Deterioration* dengan laju kenaikan magnitudo PD yang relatif cepat dan signifikan sebagai ciri dari proses penuaan bahan.
3. Jenis *partial discharge* yang terjadi pada generator Unit-1 adalah jenis peluahan pada bagian permukaan isolasi yang berbeda pada setiap fasa dan grafik distribusi pulsa *partial discharge* dimana pulsa positif lebih besar dari pulsa negatif, pada generator Unit-2 adalah jenis peluahan pada bagian permukaan konduktor yang berbeda pada setiap fasa dan grafik distribusi pulsa *partial discharge* dimana pulsa negatif lebih besar dari pulsa positif dan pada generator Unit-3 adalah jenis peluahan pada bagian permukaan isolasi berdasarkan dari hasil analisis grafik pola peluahan parsial yang berbeda pada setiap fasa dan grafik distribusi pulsa *partial discharge* dimana pulsa positif lebih besar dari pulsa negatif. Peluahan parsial yang terjadi disebabkan adanya void pada bagian permukaan isolasi dan permukaan konduktor stator generator.
4. 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.
5. Semakin besar nilai pembebanan pada generator, semakin besar pula nilai rugi daya yang terjadi akibat peluahan parsial yang menunjukkan bahwa rugi daya akibat peluahan parsial adalah berbanding lurus dengan nilai pembebanan pada generator.
6. Berdasarkan perbandingan nilai rugi daya akibat peluahan parsial dengan nilai pembebanan pada generator, didapatkan bahwa nilai pembebanan tidak mempengaruhi nilai rugi daya akibat peluahan parsial disebabkan perbedaan nilai yang terlampau jauh dimana nilai beban berkisaran  $10^6$  Watt, sedangkan untuk nilai rugi daya berkisaran  $10^{-3}$  Watt.

## 5. SARAN

Adapun saran-saran yang diberikan dari penelitian tugas akhir ini untuk masa yang akan datang antara lain :

*Upgrade* alat monitoring untuk *partial discharge* ini karena ada banyak parameter yang tidak terukur dengan alat monitoring saat ini.

## 6. REFERENCES

- Afandi. 2005. Sistem Tenaga Listrik Operasi & Pengendalian. Malang. Universitas Negeri Malang
- Fitris Luthfi Ahmad. 2018. Vibration Analysis of Combustion Turbine in North Duri Cogeneration. Jakarta : Universitas Indonesia
- Haq Nizamul. 2014 Analisis dan Pendeteksian Partial Discharge pada Isolasi Generator Terhadap Performa Generator Berpendingin Hidrogen. Jakarta : Universitas Indonesia
- IRIS POWER 2018 Manual Book : Flux Probe Manual Book . USA : Qualitrol Company
- IRIS POWER 2018 Manual Book : TGA-B Manual Book . USA : Qualitrol Company
- Kusumasembada.Anggie Chandra. 2013. Metode Identifikasi Partial Discharge dengan Analisis Weibull. Jakarta : Universitas Indonesia
- MCTN. 1999. Manual Book : Operating Manual Riau : MCTN
- Muliani Sri. 2018. Sistem Pengukuran Temperatur pada Proses Pembakaran Gas Turbin Menggunakan Flasback Thermocouple. Pekanbaru : Politeknik Caltex Riau
- Prasojo,Winarko Ari. 2009. Analisis *Partial Discharge* pada Material Polimer Resin Epoksi dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bidang. Semarang : Universitas Diponegoro Semarang
- Syakur, A., Windarto, J., Suwarno dan Redy, M,. 2005 "Pengukuran Partial Discharge (PD) pada Bahan Isolasi Polimer untuk Mendeteksi Kerusakan Isolasi pada Peralatan Tegangan Tinggi dengan Menggunakan Software Labview", *Makalah seminar Nasional Ketenagalistrikan 2005 – Semarang.*
- Tadjuddin. 1998. Partial Discharge dan Kegagalan Bahan Isolasi. Ujung Pandang Politeknik Unhas.