

Analisis Penyebab Vibrasi Abnormal Generator PLTG 4.1 PADA PT.PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar

Erapabrianto
Fakultas Teknik / Teknik Elektro
Universitas Mercu Buana
Jakarta Barat, Indonesia
erapablo77@gmail.com

Badaruddin
Fakultas Teknik / Teknik Elektro
Universitas Mercu Buana
Jakarta Barat, Indonesia
bsulle@mercubuana.ac.id

Heryanto
Fakultas Teknik / Teknik Elektro
Universitas Mercu Buana
Jakarta Barat, Indonesia
heryantostmt@yahoo.co.id

Abstrak—Pada PT. PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar memiliki sistem pembangkit listrik PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) mempunyai 2 komponen utama yaitu generator dan turbin. Turbin adalah suatu komponen yang merubah energi primer menjadi energi gerak. Generator adalah suatu komponen yang merubah energi gerak yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. Pada PLTG menggunakan generator tiga fasa AC. Permasalahannya adalah ditemukan kondisi abnormal dimana pada saat menaikkan daya reaktif (MVAR) maka vibrasi pada generator ikut naik. untuk menjaga agar generator tidak terjadi kerusakan yang lebih fatal maka dilakukan thermal sensitivity test pada bulan oktober 2018. Dari hasil pengujian tersebut didapat kesimpulan. pada saat test dengan constant field current, vibrasi cenderung konstan. Sedangkan pada saat test dengan daya aktif konstan (base load), dengan variasi daya reaktif (increase-decrease) jika daya reaktif naik vibrasi juga ikut naik, dan sebaliknya jika daya reaktif diturunkan maka vibrasi juga ikut turun Berdasarkan hasil analisa dan beberapa pengujian berupa pengujian tahanan isolasi dengan nilai 4.42 GΩ, pengujian tahanan belitan dengan deviasi 0.167849%, pengujian impedansi rotor dengan nilai rata-rata 11.92 GΩ, pengujian RSO dan rotor ventilation di temukan ada

24 dari 2880 cooling hole rotor tertutup. Sehingga sirkulasi pendinginan pada rotor tidak merata. Tidak meratanya sirkulasi pendinginan sehingga distribusi panas di rotor tidak merata menyebabkan rotor bowing atau rotor membungkuk. Rotor bowing menyebabkan gaya axial dan gaya sentrifugal pada rotor tidak stabil sehingga terjadi peningkatan vibrasi.

Kata kunci: Generator, Rotor Bowing, Sensivity, Thermal, Vibrasi.

I. PENDAHULUAN

PT. PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar [1] memiliki sistem pembangkit listrik PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) mempunyai 2 komponen utama yaitu generator dan turbin. Turbin adalah suatu komponen yang merubah energi primer menjadi energi gerak. Generator adalah suatu komponen yang merubah energi gerak yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik [2]. Pada PLTG menggunakan generator tiga fasa AC. Pada generator AC tiga fasa, kumparan jangkar berada pada bagian yang diam (stator) dan kumparan magnet berada pada bagian yang bergerak (rotor). Pada saat kumparan magnet di rotor diberi arus DC (penguatan) maka akan timbul medan magnet yang bergerak dari sisi kutub magnet utara ke kutub magnet selatan. Pada saat rotor diputar oleh penggerak mula (primover) maka kumparan medan magnet akan

memotong kumparan jangkar di stator sehingga pada kumparan jangkar di stator akan timbul gaya gerak listrik (GGL).

Pada generator PLTG 4.1 PT.PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar ditemukan kondisi abnormal dimana pada saat menaikkan daya reaktif (MVAR) maka vibrasi pada generator ikut naik, untuk menjaga agar generator tidak terjadi kerusakan yang lebih fatal maka dilakukan Thermal Sensitivity Test pada bulan oktober 2018. Dari hasil pengujian tersebut didapat kesimpulan. pada saat test dengan constant field current, vibrasi cenderung konstan. Sedangkan pada saat test dengan daya aktif konstan (base load), dengan variasi daya reaktif (increase-decrease) jika daya reaktif naik vibrasi juga ikut naik, dan sebaliknya jika daya reaktif diturunkan maka vibrasi juga ikut turun. Maka dari itu penulis mengangkat sebuah permasalahan, bagaimana penyebab terjadinya vibrasi abnormal generator PLTG 4.1 pada PT.PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar dengan metode assessment generator

II. PENELITIAN TERKAIT

Dalam suatu penelitian diperlukan dukungan hasil-hasil penelitian yang telah ada sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian tersebut, salah satunya tentang penyebab vibrasi generator. Studi pustaka yang digunakan sebagai berikut :

Penelitian yang dilakukan oleh Sis Cahya Bhuwana [3] dengan judul “ Turbo Generator Rotor and Stator Wedge Replacment Handbook” . Penelitian ini menyatakan sensitivitas termal rotor generator adalah fenomena yang ditemukan pada generator rotor yang menyebabkan perubahan getaran sebagai medan. Masalah yang paling memungkinkan terjadi dengan pengoperasian hubungan pendek belitan adalah getaran berlebihan.

Penelitian yang dilakukan oleh Zawoysky J. Ronald dan Genovese M. William [4] dari GE Power Systems Schenectady dengan judul “ Generator Rotor Thermal Sensivity, Teory and Experience” . Penelitian ini menyatakan thermal sensitivitas rotor generator adalah fenomena yang dapat terjadi pada rotor generator yang menyebabkan getaran rotor berubah ketika arus medan meningkat.Sensitivitas termal dapat disebabkan oleh distribusi suhu yang tidak merata di sekitar rotor atau oleh gaya aksial yang tidak terdistribusi secara seragam dalam arah melingkar.

Penelitian yang dilakukan oleh Zawoysky J. Ronald dan Tornroos C. Karl dari GE Power Systems Schenectady [5] dengan judul “ GE Generator Rotor Design, Operational Issues, and Refurbishment Options” . Penelitian ini menyatakan degradasi bidang generator dapat disebabkan oleh sejumlah faktor, termasuk kerusakan pada isolasi karena waktu dan suhu

serta keausan mekanis. Degradasi ini dapat menyebabkan hubungan pendek di ujung, hubungan ke tanah, atau insiden operasional yang dapat memerlukan pekerjaan pemeliharaan dini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTG 4.1 PT.PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar, Bekasi. Perusahaan ini bergerak di bidang pembangkitan tenaga listrik dengan menggunakan tenaga gas. Dengan keberlangsungan kebutuhan energy listrik yang terus menerus, tentunya dengan demikian pada pembangkit listrik memerlukan peralatan yang handal serta unit yang handal.

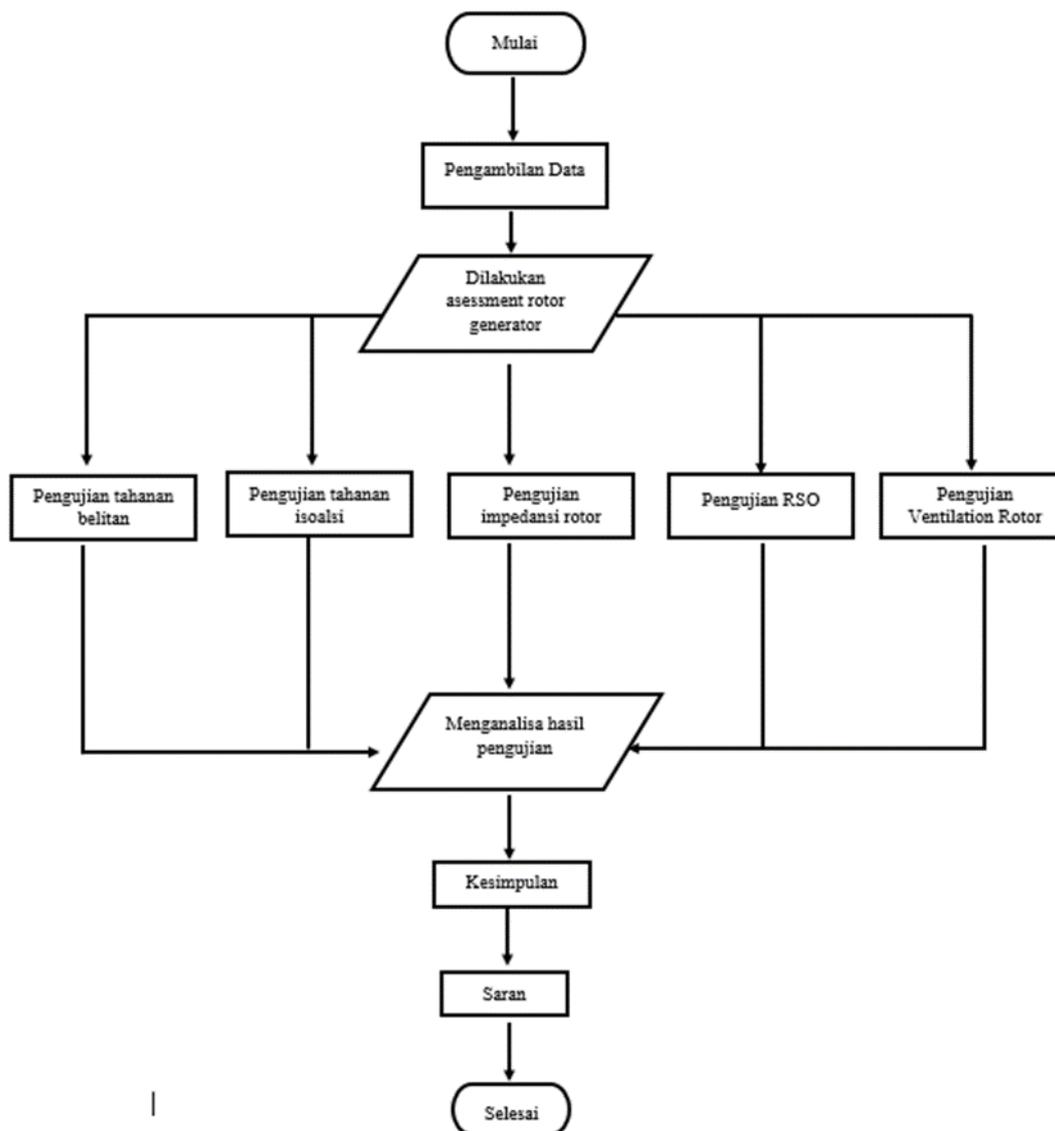
B. Tipe Penelitian

Tipe penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif. Metode penilaian deskriptif adalah salah satu metode penelitian yang banyak digunakan pada penelitian yang bertujuan untuk menjelaskan suatu kejadian. Seperti yang dikemukakan oleh Sugiyono (2011), penelitian deskriptif adalah sebuah penelitian yang bertujuan untuk memberikan atau menjabarkan suatu keadaan atau fenomena yang terjadi saat ini dengan menggunakan prosedur ilmiah untuk menjawab masalah secara actual.Maka metode penelitian deskriptif adalah sebuah metode yang digunakan untuk mendiskripsikan, menginpresentasikan sesuatu fenomena, misalnya kondisi atau hubungan yang ada, pendapat yang berkembang dengan menggunakan prosedur ilmiah untuk menjawab masalah secara actual.

Peneliti beranggapan bahwa metode penelitian deskriptif sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti. Hal ini didasarkan pada kecenderungan peningkatan vibrasi pada generator ketika daya reaktif meningkat. Maka dari itu dilakukan penelitian penyebab vibrasi generator

C. Diagram Alir Penelitian

Dalam diagram alir penelitian atau flowchart, peneliti membuat ilustrasi dalam bentuk flowchart untuk menyelesaikan permasalahan dalam objek penelitian ini. Diagram alir atau disebut juga flowchart adalah sebuah jenis diagram yang mewakili algoritme, alir kerja, atau proses, yang menampilkan langkah-langkah dalam bentuk simbol-simbol grafis dan urutannya dihubungkan dengan panah. Diagram ini mewakili ilustrasi atau penggambaran penyelesaian masalah.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pengambilan data

Pada proses ini peneliti melakukan pengambilan data penyebab terjadi permasalahan dalam objek penelitian.

Menganalisa Data

Setelah proses pengambilan data selesai, maka akan dilakukan beberapa pengujian atau assesment pada generator. Pengujian tersebut berupa : winding resistance test , insulation resistance test, impedansi test, RSO test, rotor ventilation test . Dari beberapa pengujian tersebut, bisa mengetahui penyebab permasalahan yang sedang di teliti.

Kesimpulan

Pada tahap ini dapat disimpulkan penyebab masalah dalam objek penelitian, setelah menyelesaikan tahap menganalisa data.

Solusi

Pada tahap ini memberikan solusi terhadap permasalahan pada penelitian ini. Solusi ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

Penyusunan Laporan

Setelah semua data dioalah serta dianalisa dapat menyimpulkan penyebab permasalahan dari objek penelitian.

Selain itu, analisa yang dilakukan dapat memunculkan rekomendasi yang diberikan agar dapat membantu dalam keberlangsungan unit pembangkit tenaga listrik.

IV. HASIL DAN ANALISA

Pada penelitian yang dilakukan pada PLTG 4.1 Muara Tawar mengenai ke abnormalan vibrasi dan temperatur pada generator yang menyebabkan tidak bisa beroperasi maksimal serta mengantisipasi kemungkinan kerusakan fatal pada generator.

Dilakukan pengujian thermal sensitivity ketika vibrasi tidak diketahui asal mulanya yang terjadi pada generator. Tujuannya adalah untuk mempersempit pencarian penyebab vibrasi, apakah disebabkan oleh kenaikan arus penguatan (field current) atau yang lainnya. Fenomena generator-rotor thermal sensitivity terjadi perubahan vibrasi yang signifikan ketika arus penguatan dirubah, hal tersebut bisa mempengaruhi distribusi temperature yang tidak merata pada rotor, pemuatan tidak sama pada winding rotor, dan gaya radial yang tidak simetris. Beberapa penyebab dari fenomena tersebut adalah :

- Short antar belitan
- Ratcheting effect (coil bergeser pada ke satu sisi rotor)
- Reataining ring mengalami perubahan pada saat assembly
- Tersumbatnya jalur ventilasi didalam rotor
- Rotor yang tidak simetris
- Penggantian wedges yang tidak sesuai (bentuk, panjang, berat)
- Isolasi yang pecah dan bergeser ke slot
- Nonhomogenous forging (bisa terjadi pada forging baru atau pada saat repair baik pada proses welding atau machining

Berdasarkan data dari thermal sensitivity test yang dilakukan pada oktober 2018 di dapatkan :

Tabel 1. Data Thermal Sensivity Test Generator PLTG 4.1

Waktu	MW	Mvar	Field Current	Control Room Monitoring	
				Bearing TE	Bearing EE
MW Increase, Field Current Constants					
9:21:00	29.63	40.43	658	4.41	3.15
9:34:00	30.05	40.77	658	4.45	3.21
9:40:00	68.68	29.2	658	4.45	3.21
9:50:00	71.71	28.04	658	4.40	3.06
9:53:00	90.05	16.47	658	4.34	3.06
9:59:00	90.14	16.47	658	4.38	3.06
10:15:00	105	3.9	658	4.41	3.06
MW Constant , MVar Increase					
10:26:00	138.06	16.6	817	4.41	3.14
11:14:00	137.24	18.12	817	4.87	3.53

11:21:00	137.06	41.99	908	4.91	3.53
12:00:00	137.53	42.1	908	5.26	3.92
12:17:00	136.57	60.15	995	5.33	4.04
13:09:00	138.39	59.47	995	5.70	4.38
13:15:00	137.14	78.79	1081	5.70	4.38
14:06:00	137.01	78.7	1081	6.09	4.76
MW Constant, MVar decrease					
15:04:00	138.23	40.83	904	5.30	4.09
15:20:00	138.41	40.13	904	5.22	4.02
15:23:00	139.07	42.35	904	5.22	4.01
15:27:00	138.74	41.77	904	5.22	4.01

Berdasarkan Tabel 1 maka dilakukan overhaul generator dengan dilakukan pull out rotor generator untuk mencari penyebab permasalahan yang terjadi . Setelah rotor generator berada diluar stator maka dilakukan pengujian atau assesment terhadap rotor generator untuk mengetahui penyebab permasalahan. Adapun pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

A. Tahanan Lokasi

Pengujian tahanan isolasi merupakan pengujian terhadap tahanan isolasi yang mengevaluasi terhadap kontaminasi, kelembaban dan hubungan pendek terhadap fasa maupun ground. Tahanan Isolasi adalah pengujian tahanan isolasi yang diuji terhadap tegangan uji yang sesuai dengan tegangan nominal komponen uji selama 1 menit. Polarization index adalah pengujian tahanan isolasi dengan rasio perbandingan nilai uji menit ke-10 dibagi menit ke-1.

Pengujian dilakukan terhadap stator dan rotor generator. Pengujian pengujian tahanan isolasi stator selama 10 menit sedangkan pengujian pengujian tahanan isolasi rotor selama 1 menit. Berdasarkan standart IEEE 43-2013 tegangan masukan pada stator generator yaitu 5000 VDC sedangkan tegangan masukan pada rotor generator 500 VDC. Berdasarkan pengujian tahanan isolasi di dapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Data Pengujian Tahanan Isolasi

Stator Generator (5000VDC)				Rotor Generator (500VDC)
Waktu (Menit)	R-STGnd (GΩ)	S-RTGnd (GΩ)	T-RSGnd (GΩ)	Phase to Ground (GΩ)
1	2.33	2.59	2.39	4.42
2	3.76	4.33	3.77	
3	5.1	5.98	4.98	
4	6.01	6.93	5.83	
5	6.79	8.2	6.86	
6	7.68	9.38	7.74	
7	8.48	10.5	8.56	
8	9.23	11.6	9.31	
9	9.92	12.6	10.1	

10	10.5	13.6	10.7	
PI	4.5	5.25	4.48	

Berdasarkan dari hasil pengujian tahanan isolasi, untuk mencari nilai PI (*Polarization Index*) menggunakan rumus sebagai berikut :

$$PI = R_{10} / R_1$$

Dimana : R_{10} : Nilai tahanan isolasi pada menit 10 (Ω).
 R_1 : Nilai tahanan isolasi pada menit 1(Ω).

Jadi

$$PI_{R-STGnd} = 10.5 \text{ G}\Omega / 2.33 \text{ G}\Omega = 4.5064$$

$$PI_{S-RTGnd} = 13.6 \text{ G}\Omega / 2.59 \text{ G}\Omega = 5.2509$$

$$PI_{T-RSGnd} = 10.7 \text{ G}\Omega / 2.39 \text{ G}\Omega = 4.4769$$

Berdasarkan standart IEE 43-2013 nilai *minimum polarization index* pada kelas isolasi F yaitu 2.0 maka hasil nilai *polarization index* pada stator generator dalam keadaan bagus.

Berdasarkan hasil nilai tahanan isolasi stator generator pada tabel 4.2 maka tahanan isolasi stator generator dalam keadaan

Tabel 3. Pengujian impedansi rotor dengan tip up tegangan

No.	Tegangan AC (V)	Arus AC (A)	Impedance (Ω)
1	10.26	0.85	12.07
2	20.49	1.73	11.84
3	30.09	2.57	11.71
4	40.20	3.46	11.62
5	50.30	4.3	11.7
6	60.8	5.16	11.78
7	70.50	5.92	11.91
8	80.60	6.69	12.06
9	90.30	7.42	12.17
10	100.1	8.13	12.31
Avarage Impedance (Ω)			11.92

Grafik

IMPEDANSI ROTOR

Arus(A) dan Impedansi(Ω)

Tegangan (V)

Arus AC (A)

Imp (Ω)

Linear (Arus AC (A))

Linear (Imp (Ω))

Berdasarkan hasil pengujian impedansi rotor generator didapatkan nilai hasil normal atau linear. Berdasarkan IEEE 62.2 – 2004 apabila hasil nilai impedansi linear maka tidak ada hubungan pendek antar belitan.

C. Pengujian Tahanan Belitan

Pengujian tahanan belitan bertujuan untuk menghitung kerugian konduktor I²R dan penentuan dasar utama kegagalan dari komponen tersebut. Pengujian ini dengan menggunakan

bagus berdasarkan standart IEE 43-2013 nilai minimal tahanan isolasi pada tahun pembuatan belitan setelah tahun 1970 adalah tahanan isolasi pada menit pertama 100 M Ω .

Berdasarkan hasil nilai tahanan isolasi rotor generator pada tabel 4.2 maka tahanan isolasi rotor generator dalam keadaan bagus berdasarkan standart IEE 43-2013 nilai minimal tahanan isolasi dengan rating tegangan dibawah 1 Kv adalah tahanan isolasi pada menit pertama 5 M Ω .

B. Impedansi Rotor

Pengujian Impedansi rotor merupakan metode untuk mengetahui belitan rotor dalam kondisi normal atau adanya hubungan pendek antar belitan. Pengukuran AC Impedance pada rotor dengan menggunakan metode injeksi tegangan pada slip ring (pole rotor) dengan menaikkan tegangan per-step dan monitoring hasil arus yang mengalir. Nilai hasil dari impedance tersebut merupakan perbandingan dari tegangan dan arus. Pengujian Impedansi rotor generator dilakukan dengan kondisi rotor berada di luar generator.

injeksi arus DC sehingga hasil tersebut adalah perbandingan dari arus dengan tegangan dengan faktor koreksi temperatur.

Tabel 4. Hasil pengujian tahanan belitan

Pole	I Dc (A)	VDc (V)	Temp. belitan (°C)	Rest. 36°C (Ω)	Rest. 20°C (Ω)	Rest. 20°C (Ω) (2009)	Keterangan (Deviasi %)
Positif Negatif	5	1.065274	36	0.168036	0.15811495	0.15785	0.167849

Berdasarkan tabel 4, maka nilai resistansi di temperatur 36°C di konversi ke nilai *common base temperature* yaitu 20°C. Berdasarkan *standart* IEC 60076-1 didapatkan rumus :

$$R_r = R_1 \frac{235 + \theta_r}{235 + \theta_1} \quad (1)$$

Dimana :
 R_r = Reference Resistance (Ω)
 R_1 = Measured Value Resistance (Ω)
 θ_r = Reference Temperature (20°C)
 θ_1 = Measured Value Temperature (°C)

Berdasarkan rumus diatas maka didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$R_r = 0.1680359 \Omega \frac{235 + 20^\circ\text{C}}{235 + 36^\circ\text{C}} = 0.15811495 \Omega$$

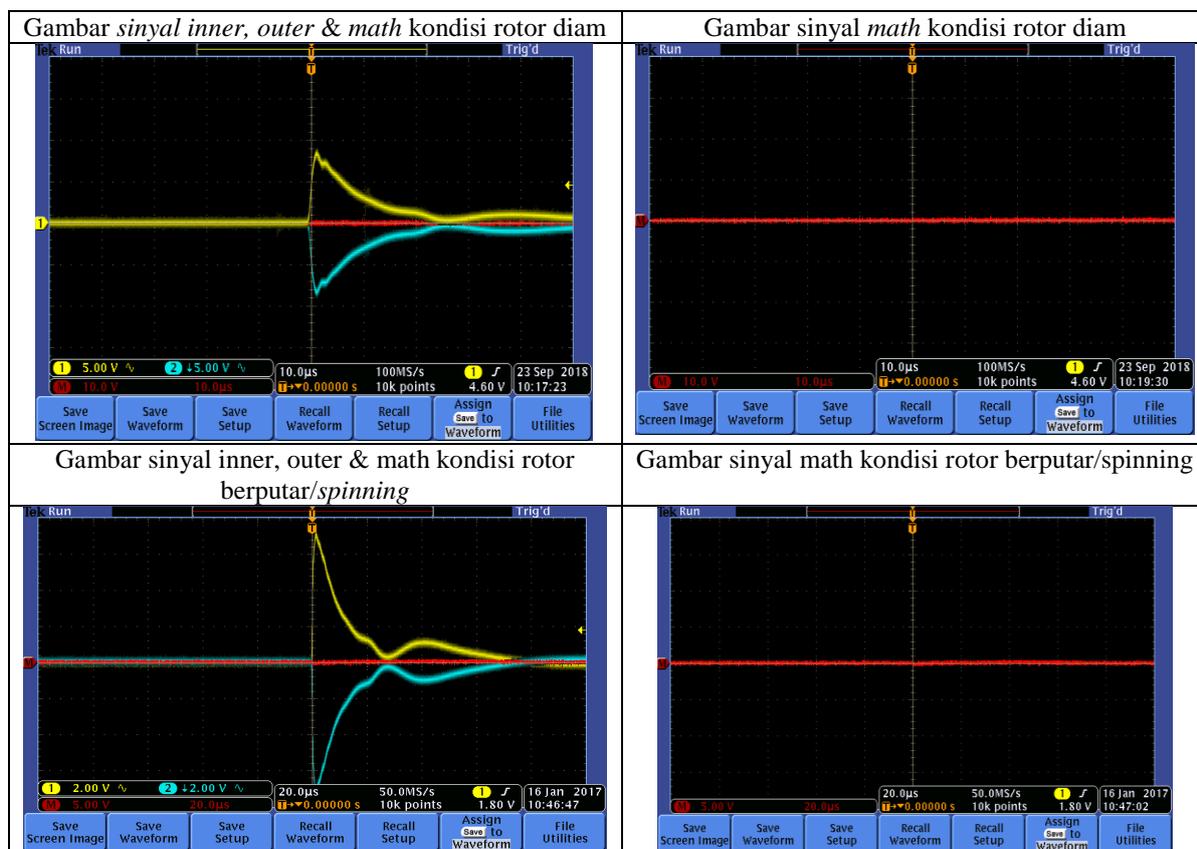
Berdasarkan *standart* IEE 62.2-2004 nilai maksimal *deviasi* antara data *comnisioning* dengan data pengujian yaitu 2%. Berdasarkan tabel diatas maka nilai deviasi kategorikan *accepted*. Adapun rumus mencari nilai deviasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Deviasi} &= \frac{0.15811495 - 0.15785}{0.15785} \times 100\% \\ &= 0.16784922395 \% \end{aligned}$$

D. Pengujian RSO (Repetitive Surge Oscilloscope)

Pada kondisi rotor diam/tidak berputar maka belitan rotor bebas dari gaya mekanik, sedangkan saat rotor berputar, semua bagian rotor akan mengalami gaya sentrifugal. Kerusakan minor isolasi (*inter turn* atau *turn to ground*), dalam kondisi diam tidak terdeteksi. Sehingga pada kondisi berputar tanpa adanya tegangan eksitasi pengukuran RSO (Repetitive Surge Oschilloscope) ini lebih akurasi.

RSO digunakan untuk mendeteksi short belitan rotor, dilakukan saat kondisi diam maupun running (tanpa tegangan eksitasi). Short pada *turn winding* rotor generator dapat menyebabkan vibrasi elektrik karena *thermal bending* (pemanasan yang tidak merata) sehingga menyebabkan ketidak simetrisan arus DC dan rugi-rugi pada belitan.



Gambar 1. Hasil pengujian RSO (Repetitive Surge Oscilloscope)

Berdasarkan Instruction Manual Generator Rotor Shorted Turn Analyzer for turbo-generator DC-field Winding hasil tabel diatas di dapatkan tidak ada shorted turn pada rotor sinyal pole inner & outer atau sebaliknya. Hasil dari pengujian RSO (Repetitive Surge Oscilloscope) normal yaitu berupa sinyal pole inner dan outer identik.

E. Rotor Ventilation

Rotor ventilasi bertujuan untuk mengetahui cooling hole pada rotor dalam kondisi baik atau tidak ada tersumbat atau tertutup. Metode yang di lakukan dengan cara mengisi dengan udara kering melalui GRR (Generator Retaining Ring). Setelah itu mengisolasi bagian hole yang tidak di uji, hole yang tidak ditutup dilakukan pengujian menggunakan hot wire anemometer dengan satuan meter/second.

Berdasarkan standart pengujian rotor ventilation, apabila nilai pengujian kurang dari 1 m/s maka cooling hole tersebut tertutup sebagian atau tertutup semua. Dari pengujian tersebut didapatkan cooling hole yang tertutup sebagian atau tertutup

semua yaitu 24 dari 2880 cooling hole rotor. Berikut cooling hole yang tertutup sebagian atau semua :



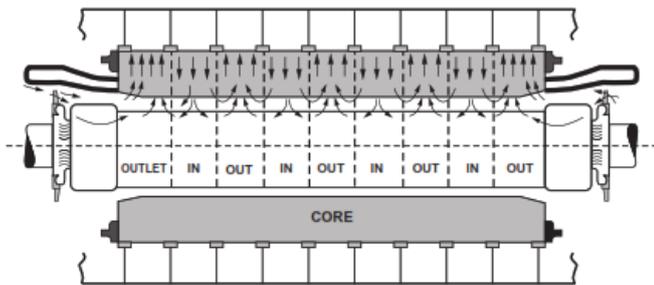
Gambar 2. Cooling hole normal dan cooling hole tertutup

Ada beberapa penyebab cooling hole rotor tertutup yaitu slight migration coil/winding, kontaminasi kotoran dan slight migration insulation. Semua hal tersebut terjadi karena life time operation.

F. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diketahui bahwa setelah melakukan beberapa pengujian berupa pengujian tahanan isoalsi, pengujian tahanan belitan, impedansi rotor, repetitive surge oscilloscope dan rotor ventilation. Pada rotor

ventilation di temukan bahwa adanya beberapa jalur cooling hole rotor yang tertutup. Tertutupnya beberapa cooling hole pada rotor generator menyebabkan sirkulasi sistem pendinginan pada rotor tidak merata. Sistem pendinginan rotor seperti gambar 3 di bawah ini:



Gambar 4. Zona pendinginan rotor dan stator generator

Karena adanya beberapa *cooling hole* tertutup pada generator menyebabkan sirkulasi pendinginan pada rotor tidak merata. Pada saat generator beroperasi, ketika menaikkan daya reaktif (MVar) maka temperatur pada rotor juga naik. Karena adanya beberapa *cooling hole* yang tertutup sehingga menyebabkan timbulnya perbedaan temperatur atau panas berlebih pada salah satu titik bagian rotor. Sehingga menyebabkan rotor *bowing* atau rotor membungkuk seperti gambar 5 dibawah ini :



Gambar 5. Rotor Bowing

Rotor bowing menyebabkan gaya axial dan gaya sentrifugal pada rotor tidak stabil sehingga menyebabkan peningkatan vibrasi pada generator

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil nilai pengujian tahanan isolasi rotor generator yaitu $4.42 \text{ G}\Omega$ maka tahanan isolasi rotor generator dalam keadaan bagus berdasarkan standart IEE 43-2013 nilai minimal tahanan isolasi dengan rating tegangan dibawah 1 Kv adalah tahanan isolasi pada menit pertama $5 \text{ M}\Omega$.

Berdasarkan nilai hasil pengujian tahanan belitan sebesar 0.16784922395% , nilai deviasi kategorikan accepted

berdasarkan standart IEE 62.2-2004 nilai maksimal deviasi antara data commissioning dengan data pengujian yaitu 2% .

Berdasarkan pengujian rotor ventilation bahwa ditemukan adanya cooling hole yang tertutup sebanyak 24 dari 2880. Sehingga menyebabkan rotor bowing atau rotor membungkuk. Rotor bowing menyebabkan peningkatan vibrasi pada generator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada tim saya, yang telah membantu dalam pembuatan riset ini sehingga bisa terbit di jurnal teknologi elektro. Selain itu kami juga mengucapkan terima kasih kepada Universitas Mercu Buana, prodi Teknik elektro yang telah memberikan fasilitas untuk menunjang penelitian ini. Terima kasih kami ucapkan kepada Ibu Kepala Pusat penelitian dan P4 UMB dan tim yang telah membantu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Report Siemens, "Generator Fact Finding Generator 4.1 Muara Tawar Generator Rotor Pole Balance Test", Bekasi
- [2] Klemper, Geof and I. Kerszenbaum. "Handbook of Large Turbo-Generator Operation and Maintenance Second Edition", California, 2008.
- [3] S. C. Bhuwana. "Turbo Generator Rotor and Stator Wedge Replacment Handbook". Canada. 2008
- [4] R. J. Zawoysky and W. M. Genovese, "Generator Rotor Thermal Sensitivity—Theory and Experience", GE Power System.
- [5] R. J. Zawoysky and T. C. Karl, "GE Generator Rotor Design, Operational Issues, and Refurbishment Options", GE Power Systems Schenectady.