

ANALISIS GANGGUAN PADA SISTEM GARDU LISTRIK BERBASIS GAS INSULATED SWITCHGEAR 150 kV DENGAN METODE *HIGH VOLTAGE TEST*

Karel Octavianus Bachri¹, Edoardo Jonathan², Arka Dwinanda Soewono^{2*}

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

E-mail: arka.soewono@atmajava.ac.id

ABSTRAK

Insulator pada gardu induk memegang peranan penting dalam menjaga keamanan dan efisiensi dalam sistem transmisi dan distribusi listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengujian dengan menggunakan metode pengujian tegangan tinggi (*High Voltage Test*) untuk memeriksa kemungkinan kerusakan pada gardu induk 150 kV yang dilengkapi dengan *Gas Insulated Switchgear* (GIS) sesuai dengan standar IEC 62271-203. Hasil pengukuran *Insulation Resistance* (IR) untuk komponen pada sistem GIS menunjukkan bahwa sistem tersebut masih memiliki tahanan isolasi yang tinggi untuk fase R, S dan T. Hasil pengujian untuk *Gas Insulated Switchgear* ketika dialiri listrik tegangan tinggi untuk tiga fase (R, S dan T) juga tidak menunjukkan adanya arus bocor sehingga dapat dipastikan bahwa sistem tersebut masih berjalan dengan baik.

Kata kunci :

Gardu induk; *Gas insulated switchgear*; *High voltage testing*; *Insulation resistance*

ABSTRACT

The insulator system in substations is essential in maintaining safety and efficiency in electricity transmission and distribution lines. The purpose of this research is to conduct High Voltage tests to check possible malfunctions in a gas-insulated switchgear (GIS) in a 150 kV substation following IEC standard 62271-203. Insulation Resistance (IR) measurement results for components in the GIS system show that the system still has high insulation resistance for the R, S, and T phases. High voltage testing results for the three-phase Gas Insulated Switchgear also did not exhibit current leakage, meaning the system still operates satisfactorily.

Keywords :

Gas insulated switchgear; High voltage testing; Insulation resistance; Substation

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan vital bagi masyarakat di Indonesia karena penggunaannya tersebar di berbagai sektor kehidupan seperti sektor industri, sektor komersial dan sektor rumah tangga.

Untuk itu, perlu adanya sistem transmisi dan distribusi listrik yang baik agar energi listrik dapat disalurkan ke seluruh lapisan masyarakat dan kontinuitasnya terjaga. Secara umum, energi listrik dari pusat pembangkit ditransmisikan terlebih dahulu ke pusat-pusat beban yang juga dikenal sebagai gardu induk dengan menggunakan tegangan tinggi (*high voltage*) untuk

meminimalkan daya yang hilang di sepanjang saluran transmisi [1]. Transmisi energi listrik ini dilakukan dengan menyalurkan energi listrik dengan bantuan transformator untuk mengatur besaran tegangan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik [2].

Proses penyaluran energi listrik melewati dua proses yaitu proses transmisi dan distribusi. Pada proses transmisi memanfaatkan transformator (trafo) *step-up* dan proses distribusi memanfaatkan trafo *step-down* dengan tujuan untuk mengurangi terjadinya kehilangan daya. Pemanfaatan arus listrik dengan tegangan tinggi menyebabkan perlunya ada suatu

sistem yang bersifat isolator agar mencegah terjadinya arus pendek [3].

Gardu induk adalah komponen paling penting sebagai media transmisi dan distribusi tenaga listrik dari pembangkit listrik sekaligus sebagai sistem pengendalian, pengawasan, dan pengamanan dari penyaluran listrik [4]. Untuk memenuhi peranan tersebut, gardu induk saat ini dilengkapi dengan sistem switchgear yang berfungsi untuk mengontrol aliran daya dan juga memastikan bahwa kegagalan dan malfungsi pada jaringan tetap terbatas pada area tertentu dan dalam batas aman secara teknis sehingga dapat menjamin stabilitas jaringan secara keseluruhan [5].

Berdasarkan metode insulasi, rancangan gardu induk dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu gardu induk dengan udara sebagai media insulasi (*Air Insulated Switchgear*) dan gardu induk dengan media insulasi gas (*Gas Insulated Switchgear*). Gardu induk dengan insulasi udara banyak digunakan karena biaya investasinya yang rendah, namun di sisi lain mereka lebih rentan terhadap gangguan kondisi cuaca dan lingkungan yang memiliki dampak buruk pada biaya pemeliharaan dan pengoperasian [6]. Gardu induk dengan insulasi gas memiliki biaya investasi yang tinggi, namun lebih terlindung dari faktor kondisi lingkungan sehingga memiliki biaya pengoperasian dan pemeliharaan yang lebih rendah karena desainnya yang tertutup. Gardu induk dengan *Gas Insulated Switchgear* memanfaatkan senyawa SF₆ sebagai isolator antara sistem kelistrikan dan penutup logam yang sebagai kutub bumi (*earthing*). Dikarenakan gas SF₆ memiliki kekuatan dielektrik hampir tiga kali lipat dari udara pada tekanan atmosfer, kebutuhan lahan untuk gardu dengan *Gas Insulated Switchgear* jauh lebih sedikit, hanya 10–25% dari kebutuhan gardu dengan *Air Insulated Switchgear* [6].

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pengujian dengan menggunakan metode *High Voltage Test*

untuk memeriksa gangguan pada gardu induk 150 kV dengan *Gas Insulated Switchgear* sesuai dengan standar yang ada. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan tidak ada kebocoran arus listrik di titik-titik tertentu pada rangkaian listrik di gardu tersebut.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, pengujian pada gardu induk bertegangan tinggi yang dilengkapi dengan *Gas Insulated Switchgear* dilakukan dengan menggunakan metode *High Voltage Test (HV Test)* sistem sangat diperlukan guna meningkatkan proteksi terhadap manusia. Salah satu pengujian yang dilakukan pada suatu sistem bertegangan tinggi adalah). Tujuan dilakukannya HV Test adalah untuk melakukan uji kelayakan untuk sistem isolasi gardu induk yang menggunakan gas SF₆ sehingga dapat meningkatkan faktor keamanan dan proteksi terhadap operator dan konsumen. Prosedur pelaksanaan *HV Test* ini adalah dengan mengalirkan secara langsung suatu aliran listrik bertegangan tinggi ke sistem kelistrikan di gardu induk termasuk sistem *Gas Insulated Switchgear*. Setelah itu, akan dilakukan pengecekan dua tahap (*electrical conditioning* dan *test voltage*) pada setiap komponen yang ada termasuk busbar dan circuit breaker. Pengujian dilakukan berdasarkan standar internasional IEC 62271-203 pada tiap komponen yang dilewati oleh arus listrik seperti *busbar*, *current transformer*, dan *circuit breaker*.

Prosedur pengujian *HV Test* pada *Gas Insulated Switchgear* (GIS) terdiri dari langkah-langkah berikut:

- Menonaktifkan Sistem *Gas Insulated Switchgear*
Sebelum melakukan proses pengujian, sistem kelistrikan perlu dibekukan agar tidak terjadi kecelakaan kerja. selain itu, hasil dari *HV Test* akan lebih valid. Proses pengetesan dilakukan pada

setiap komponen yang melewati busbar dalam rangkaian listrik.

- Mengukur *Insulation Resistance* (IR) Sebelum melakukan pengujian *HV Test*, pengukuran *Insulation Resistance* (IR) Dilakukan pada setiap titik yang diuji guna mengetahui kualitas isolasi dari sistem GIS dengan menggunakan Megger MIT1025 10 kV. Proses pengukuran IR dilakukan pada komponen *current transformer* dengan 3 kondisi fasa yaitu fasa R, fasa S, dan fasa T. Pengukuran IR untuk setiap fasa (R, S, dan T) dilakukan selama 1 menit dan hasilnya wajib memenuhi standar minimal yang telah ditentukan yaitu pengukuran IR pada CT harus lebih dari 5 M ohm (>5 Mohm). Data *Insulation Resistance* dari tiap fasa diamati sebelum dan setelah *HV Test*.

- Pengujian *HV Test* Proses pengetesan dengan diawali dengan instalasi alat di sistem GIS yang dapat menyuplai tegangan tinggi. Proses *HV Test* dilakukan oleh operator yang telah memiliki pengalaman lebih pada 5 tahun. *HV Test* dilakukan pada tiga fasa rangkaian secara bertahap yaitu fasa R, fasa S, dan fasa T. Data yang didapatkan dan dianalisis adalah data *HV Test* dan data *Insulation Resistance* dari tiap-tiap komponen. Sistem akan ditest sifat isolasinya dari sebelum dan setelah *HV Test*. Tujuan dilakukannya dua kali pencatatan data adalah untuk memantau dan melihat kondisi dari sistem untuk memastikan tidak terjadi kegagalan fungsi setelah dilakukan uji tegangan tinggi.

Pengujian *HV Test* pada umumnya dilakukan pada sistem GIS di gardu-gardu induk dalam jangka waktu tertentu agar kondisi dari sistem tetap terawat dan terjaga.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian sistem *Gas Insulated Switchgear* (GIS) untuk gardu

induk Tigaraksa II dapat dilihat pada Tabel 1. Data yang dicatat dari hasil pengujian tegangan tinggi (*HV Testing*) menunjukkan bahwa sistem GIS di gardu tersebut bekerja dengan baik dan mampu mengisolasi hingga tegangan 270 kV untuk fasa R, S, dan T. Hasil ini sesuai dengan ekspektasi dikarenakan sistem GIS tersebut masih baru.

Tabel 1. Hasil Pengujian *HV Test*

Fase	Step	Test Voltage (kV)	Test Duration (detik)	Hasil
R		87	300	<i>Passed</i>
S	<i>Conditioning</i>	87	300	<i>Passed</i>
T		87	300	<i>Passed</i>
R		270	60	<i>Passed</i>
S	<i>HV Testing</i>	270	60	<i>Passed</i>
T		270	60	<i>Passed</i>

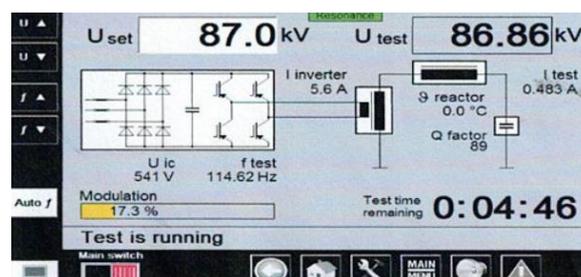
Hasil dari pengujian *HV Test* juga dapat digunakan untuk menemukan kerusakan pada setiap komponen pada sistem *Gas Insulated Switchgear* di gardu dan acuan untuk perawatan (*maintenance*) untuk memastikan sistem GIS dapat bekerja dengan optimal. Untuk itu, proses pengetesan tegangan tinggi diawali dengan pengecekan sifat ketahanan/isolasi sistem terhadap arus bertegangan tinggi melalui pengukuran *Insulation Resistance* (IR). Pengecekan *Insulation Resistance* dilakukan dengan menggunakan alat Megger MIT1025 yang dapat mengukur besaran resistansi listrik di tiga fasa. Data hasil pengujian *Insulation Resistance* terhadap sistem GIS untuk gardu induk Tigaraksa II selama 60 detik dapat dilihat pada Tabel 2. Pencatatan data dilakukan sebelum dan sesudah penlaksanaan *HV Test*.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Insulation Resistance*

Fase	<i>Insulation Resistance</i> (GΩ)		Hasil
	5 kV – 60 Sec		
	Sebelum <i>HV Test</i>	Sesudah <i>HV Test</i>	
R	62,4	132,9	Ok
S	61,4	121,3	Ok
T	95,1	239	Ok

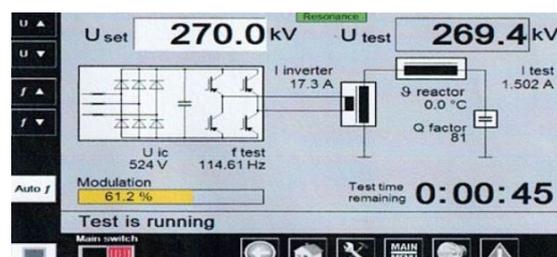
Hasil dari pengukuran *Insulation Resistance* (IR) pada sistem GIS Tigaraksa II pada fase R, S dan T memiliki nilai yang cukup jauh di atas besaran minimum yang ditentukan pada standar yaitu sebesar 5 MΩ. Hal ini berarti proses pengujian dapat dilanjutkan ke pengujian *High Voltage Test*. Jika sistem GIS tidak memiliki nilai minimum isolasi yang baik pada hasil pengukuran IR, maka proses *HV Test* tidak dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kebocoran arus yang terjadi ketika disalurkan listrik dengan tegangan tinggi ke sistem [7, 8].

Proses pengujian *HV Test* pada GIS dilakukan dengan 2 langkah. Langkah pertama adalah pengkondisian sistem elektrik (*electrical conditioning*) yang bertujuan untuk memantau kondisi awal sistem kelistrikan sebelum nantinya dialirkan arus dengan tegangan lebih tinggi. Jika terjadi kerusakan pada sistem GIS ataupun alat ukur yang digunakan pada *HV Test*, diharapkan kerusakan dapat diidentifikasi dan ditanggulangi di tahap ini. *Electrical conditioning* dilakukan dengan waktu 5 menit pada tegangan 87 kV. Proses ini juga dilakukan pada tiga fase secara berurutan (fase R, S, dan T). Ilustrasi pelaksanaan pengujian *slectrical conditioning* untuk fase R dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Electrical conditioning* fase R

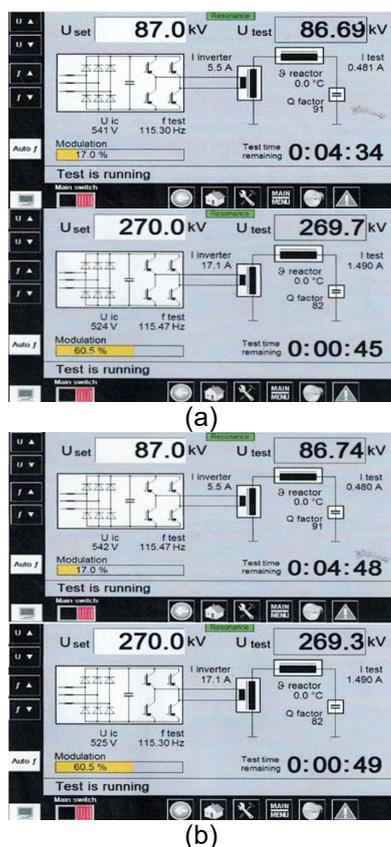
Setelah proses *electrical conditioning* telah selesai dilakukan, maka arus listrik dengan tegangan 270 kV akan dialirkan ke sistem kelistrikan *Gas Insulated Switchgear* pada gardu Tigaraksa II selama 1 menit. Pada tahap ini, proses kerja GIS akan meningkat secara drastis dan proses kerja dari alat *HV Test* akan meningkat ke level 60%. Setelah tahap persiapan selesai, tegangan pada sistem GIS akan secara perlahan dinaikan menjadi 270 kV. Proses ini dapat memakan waktu hingga 5 menit. Hasil pengujian *HV Test* untuk tegangan 270 kV pada fase R dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Test voltage* fase R

Pengujian serupa dilakukan untuk fase S dan T seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Mempertimbangkan bahwa sistem GIS pada gardu Tigaraksa II masih dalam kondisi baru, hasil pengujian *HV Test* menunjukkan bahwa isolasi pada sistem GIS masih berfungsi dengan baik ketika dialirkan listrik dengan tegangan maksimum sebesar 270 kV untuk tiga fase R, S dan T. Setiap komponen dari sistem GIS juga masih dalam kondisi baik. Kerja alat akan meningkat ketika arus yang dialiri memiliki tegangan yang lebih tinggi. Batas maksimum dari kerja alat *HV Test* yaitu 90%. Selain itu, modulasi yang berbeda juga diamati pada tahap pengujian

electrical conditioning dan tegangan tinggi dari fase satu dengan fase yang lain. Hal ini berarti bahwa listrik tiga fase ini dijamin memiliki pasokan daya yang mencukupi yang dapat terus mengalirkan arus listrik meskipun salah satu fase tidak bekerja dengan baik.



Gambar 2. *Electrical conditioning* dan *HV Test* untuk fase S (a) dan T (b)

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi (*HV Test*) yang dilakukan pada sistem *Gas Insulated Switchgear* di gardu induk Tigaraksa II yang telah dilakukan, bahwa sistem GIS tersebut masih memiliki sistem isolasi yang baik untuk tiga fase (R,S dan T) ketika dialiri listrik tegangan tinggi, serta tiap komponennya masih berfungsi dalam mengisolasi energi listrik di gardu tersebut. Hasil pengukuran *Insulation Resistance* menunjukkan bahwa tiap komponen pada GIS masih memiliki nilai yang jauh di atas besaran standar minimum sebesar $5 \text{ M}\Omega$ sehingga dapat dipastikan bahwa tidak ada komponen yang mengalami *malfuction*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Thabendra, N. Yaw, K. S. Sanjeev, R. Bhuvana, and A.C. David, "Multi-Objective Optimization Methods for Power Loss Minimization and Voltage Stability", *Journal of Advanced Power Systems*, vol. 9, no. 2, pp. 1–10, 2009.
- [2] A. R. Hidayat, A. Jamal, A. N. N. Chamim, R. Syahputra, and Jeckson, "Analysis of Power Transformer Insulation: A Case Study in 150 kV Bantul Substation," *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, vol. 3, no. 2, pp. 50–60, 2019.
- [3] S. Qi, S. huaibing Chang, and L. Cao, "Transient Discharge Characteristics of Insulator Short-Circuit Under High Voltage." *Alexandria Engineering Journal*, vol. 6, no. 6, pp. 5175–5181, 2021.
- [4] E. K. Yulyawan and M. A. Baihaqi, "Studi Evaluasi Pengetanahan Gardu Induk Dengan Adanya Perubahan Tegangan Sistem Dari 70 kV Menjadi 150 kV", *ELPOSYS:Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 1, pp. 18–23, 2022.
- [5] D. Kamthe and N. R. Bhasme, "Comparative Analysis between Air Insulated and Gas Insulated Substaion – A Review," *International Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 24–32, 2018.
- [6] R. Nagarsheth, and S. Singh, "Study of Gas Insulated Substation and Its Comparison with Air Insulated Substation," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 55, pp. 481–485, 2014.
- [7] Yusniati, Z. Pelawi, Armansyah, and I.Taufik, "Pengukuran Resistansi Isolasi Instalasi Penerangan Basement Pada Gedung Rumah Sakit Grend Mitra Medika Medan," *Buletin Utama Teknik*, vol. 16, no. 3, pp. 240–247, 2021.
- [8] D. A. Saputra, Joko, A. I. Agung, and S. I. Haryudo, "Analisis Kelayakan

Pemutus Tenaga Bay Trafo 2
Berdasarkan Hasil Uji Shutdown
Measurement di Gardu Induk 150 KV

Kenjeran Surabaya," *JURNAL
TEKNIK ELEKTRO*, vol. 11, no. 3,
pp. 440–446, 2022.