

# EVALUASI KUALITAS SF<sub>6</sub> DALAM SWITCHGEAR BERINSULASI GAS 150KV

Aripriharta<sup>1\*</sup>, Evie Dwi Jayanti<sup>1</sup>, Irham Fadlika<sup>1</sup>, Sujito<sup>1</sup>, Muhammad Cahyo Bagaskoro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

Received: 29 Mei 2024

Accepted: 31 Juli 2024

Published: 7 Agustus 2024

## Keywords:

Switchgear Berinsulasi Gas; Kualitas SF<sub>6</sub>; Kemurnian, Kadar Air; Titik Embun; Gas SO<sub>2</sub>.

## Correspondent Email:

aripriharta.ft@um.ac.id

**Abstrak.** Penurunan kualitas SF<sub>6</sub> pada switchgear dapat terjadi seiring berjalannya waktu akibat adanya pelepasan sebagian yang mengakibatkan degradasi kinerja switchgear. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati dan menganalisis lima parameter penting yang berpotensi mengurangi kemurnian SF<sub>6</sub>, yang disebabkan oleh pelepasan sebagian dan penurunan fungsi isolasi. Kami melakukan penilaian langsung di lokasi untuk mengevaluasi kemurnian SF<sub>6</sub> pada switchgear 150kV yang berlokasi di Simpang, Indonesia. Evaluasi ini menggunakan standar IEEE sebagai acuan untuk menilai tingkat pengotor dan memastikan akurasi hasil. Dari hasil analisis, ditemukan bahwa nilai rata-rata kemurnian SF<sub>6</sub> pada switchgear yang diteliti adalah kurang dari 97%, dengan rata-rata titik embun tercatat pada -21,252°C, kadar air rata-rata mencapai 1684,7 ppmv, dan kadar gas SO<sub>2</sub> rata-rata sebesar 3,4069 ppmv. Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kualitas SF<sub>6</sub> pada GIS di Simpang telah mengalami penurunan di bawah tingkat yang diperbolehkan, yang berpotensi menyebabkan penurunan signifikan dalam kinerja sistem secara keseluruhan.

**Abstract.** A decrease in the quality of SF<sub>6</sub> in switchgear can occur over time due to partial release which results in degradation of switchgear performance. This research aims to observe and analyze five important parameters that have the potential to reduce the purity of SF<sub>6</sub>, which is caused by partial release and decreased isolation function. We conducted an on-site assessment to evaluate the purity of SF<sub>6</sub> on 150kV switchgear located in Simpang, Indonesia. This evaluation uses IEEE standards as a reference to assess the level of impurities and ensure the accuracy of the results. From the analysis results, it was found that the average value of SF<sub>6</sub> purity in the switchgear studied was less than 97%, with an average dew point recorded at -21.252°C, an average water content reaching 1684.7 ppmv, and an SO<sub>2</sub> gas content. the average is 3.4069 ppmv. Based on these findings, it can be concluded that the SF<sub>6</sub> quality of the GIS at Simpang has decreased below the permissible level, which has the potential to cause a significant reduction in overall system performance.

## 1. PENDAHULUAN

Gas Insulated Switchgear (GIS) adalah jenis switchgear yang menggunakan gas SF<sub>6</sub> bertekanan sebagai media isolasi dan pemadam api. GIS telah banyak digunakan dan dikembangkan di berbagai tempat karena

memiliki berbagai keunggulan dibandingkan gardu induk konvensional. Dari segi keekonomian, GIS hanya memerlukan 10-15% lahan yang dibutuhkan oleh gardu induk konvensional. Dari segi isolasi, gas SF<sub>6</sub> memiliki kekuatan dielektrik tiga kali lebih baik

dibandingkan udara pada tekanan yang sama, memungkinkan jarak pisah antar konduktor menjadi lebih kecil dan dimensi GIS menjadi lebih ringkas. Selain itu, peralatan dengan isolasi gas SF<sub>6</sub> dirancang untuk pengoperasian bebas perawatan, meskipun pengujian dan pengukuran rutin tetap diperlukan untuk menjaga stabilitas dan keandalan sistem.

Menurut *International Electromechanical Commission* (IEC, 1995), GIS menggunakan gas dielektrik SF<sub>6</sub> pada tekanan sedang untuk isolasi fase-ke-fase dan fase-ke-tanah. SF<sub>6</sub> adalah gas inert yang tidak beracun, tidak berbau, dan tidak mudah terbakar, terdiri dari satu atom belerang yang terikat erat dengan enam atom fluor. Gas ini memiliki kemampuan memadamkan api 100 kali lebih baik dibandingkan isolasi udara dan digunakan dalam GIS pada tekanan 400 hingga 600 kPa.

Karakteristik isolasi yang baik dari gas SF<sub>6</sub> menjadikannya ideal untuk digunakan dalam sistem transmisi pada jaringan listrik. Kondisi isolasi gas SF<sub>6</sub> berkorelasi langsung dengan keandalan dan kinerja keseluruhan GIS. Kualitas gas SF<sub>6</sub> yang memenuhi standar merupakan syarat fundamental untuk operasi GIS. Jika GIS tidak beroperasi sesuai standar, berarti parameter terkait keandalan kinerja GIS telah berubah dari standar pabrikan, yang dapat menyebabkan penurunan daya isolasi dan peningkatan risiko gangguan pada sistem jaringan listrik, seperti gangguan petir [1]. GIS membutuhkan proteksi petir yang lebih sedikit dibandingkan gardu induk konvensional karena karakteristik isolasinya yang superior.

Selain mempengaruhi kinerja peralatan GIS dan sistem kelistrikan, kebocoran gas SF<sub>6</sub> akibat penurunan tekanan dapat menyebabkan polusi dan pemanasan global. Pada Konferensi COP 3 di Kyoto tahun 1997, SF<sub>6</sub> diumumkan sebagai gas yang berpotensi menyebabkan pemanasan global. Studi di Inggris dalam beberapa tahun terakhir menyimpulkan bahwa SF<sub>6</sub> merupakan gas pemanasan global yang sangat kuat, dengan potensi pemanasan global (GWP) sebesar 22.800 kali lipat dibandingkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

Survei GIS di India menunjukkan bahwa Sebagian besar kegagalan GIS disebabkan oleh kegagalan material, penggantian material yang tidak tepat, dan pemilihan material yang salah. Faktor lain seperti korosi dan kelonggaran peralatan juga berkontribusi terhadap

kegagalan. Tekanan gas SF<sub>6</sub> yang tidak sesuai tidak hanya mempengaruhi keandalan sistem kelistrikan yang menggunakan isolasi gas SF<sub>6</sub>, tetapi juga mempengaruhi kinerja peralatan yang dipasang. GIS dirancang untuk mengurangi kegagalan isolasi pada sistem kelistrikan, namun sebagian besar kegagalan peralatan masih terjadi pada komponen seperti bushing dan sakelar pembumian.

Pendahuluan ini menggarisbawahi pentingnya kualitas gas SF<sub>6</sub> dalam mempertahankan kinerja dan keandalan GIS. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati kualitas SF<sub>6</sub> pada switchgear 150kV di Simpang, Indonesia, dan mengevaluasi dampaknya terhadap keandalan dan kinerja sistem kelistrikan. Dengan menggunakan standar IEEE sebagai acuan, penelitian ini akan mengidentifikasi parameter-parameter yang mempengaruhi kualitas SF<sub>6</sub> dan memberikan rekomendasi untuk menjaga kualitas gas dalam batas yang diperbolehkan untuk menghindari potensi gangguan dan dampak lingkungan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai rata-rata kemurnian SF<sub>6</sub> pada switchgear yang diteliti adalah kurang dari 97%, dengan rata-rata titik embun sebesar -21,252°C. Selain itu, analisis juga mencatat rata-rata kadar air sebesar 1684,7 ppmv dan rata-rata kadar gas SO<sub>2</sub> sebesar 3,4069 ppmv. Temuan ini menunjukkan adanya penurunan kualitas gas SF<sub>6</sub> yang dapat berdampak negatif pada keandalan dan kinerja keseluruhan switchgear, serta meningkatkan risiko gangguan dalam sistem jaringan listrik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian pendukung yang dijadikan referensi adalah sebagai berikut :

Penulis [1], menyoroti masalah spesifik yang terlibat dalam GIS seperti infus partikel di GIS, isolasi spacer dan keandalannya, dekomposisi gas SF<sub>6</sub> di GIS, yang menggunakan analisis berdasarkan pendekatan grafis dan dampak masalah yang timbul di pembangkit listrik India. sistem. Permasalahan khusus pada GIS adalah permasalahan pada gas SF<sub>6</sub> itu sendiri, penurunan kualitas gas SF<sub>6</sub> dapat menyebabkan gangguan pada relay sehingga diperlukan spacer isolasi untuk penanganannya. Hal ini perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Penulis [2] menggunakan persamaan regresi matematis yang diturunkan untuk tingkat pembangkitan efektif komponen GIS yang dipengaruhi oleh tekanan gas SF<sub>6</sub>. Hasilnya terlihat jika gas SF<sub>6</sub> dinonaktifkan dengan CF<sub>4</sub>, SOF<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SOF<sub>2</sub>, dan SO<sub>2</sub> maka tekanannya akan menurun. Dalam [3], Penulis meneliti dampak kebocoran dari GIS di Inggris. Kebocoran dievaluasi dengan menghitung emisi CO<sub>2</sub> dan gas buang dari SF<sub>6</sub> yang menyebabkan pencemaran udara dari tahun ke tahun. Selanjutnya mempelajari Situasi dan Analisis Produk Sekunder Sulfur Heksafluorida (SF<sub>6</sub>) pada *Gas Insulated Switchgear* di Guangdong. Ini tidak hanya merupakan produk sekunder dari gas SF<sub>6</sub> tetapi juga melakukan perbandingan antara GIS 220kV dan 500kV [4]. Pada [5] telah dilakukan percobaan di laboratorium HV di TU Delft dengan mengatur insulasi gas padat dengan tegangan AC. Parameter kontrol yang digunakan dalam percobaan ini adalah kondisi aktual GIS di daerah tropis.

Sebuah sistem untuk memantau kadar air GIS menggunakan sensor mikro-kantilever. Tujuan utama dari rancangan sistem yang diusulkan adalah untuk terus memantau konsentrasi kadar air di GIS untuk meningkatkan keamanan. Kegunaan sistem ini diusulkan karena memiliki kemampuan pemantauan berkelanjutan, memiliki sifat kompak dan dapat diterapkan pada lingkungan *smart grid* [7]. Gas SF<sub>6</sub> digunakan sebagai isolator dan pendingin karena kualitas dielektriknya yang tinggi dan kemampuan pemadaman kebakaran yang sangat baik pada segmen melingkar. *Switchgear* berinsulasi gas mengalami penurunan isolasi selama pengoperasian dan menyebabkan kegagalan karena aktivitas pelepasan sebagian yang disebabkan oleh cacat. Kegagalan ini sangat menghancurkan dan mengakibatkan pemadaman listrik di semua tahap [9]. Dalam [10], uji laboratorium tegangan tinggi dari pemutus sirkuit SF<sub>6</sub> 500 kV untuk memastikan penyesuaian isolasi efektif pemutus sirkuit tangki hidup untuk layanan BIL 1550 kV atau 1800 kV [11]. Berbagai bahan nosel diselidiki menggunakan *Blower* dan *Circuit Breaker* (CB) SF<sub>6</sub> yang dapat menyala sendiri. Selain itu, penghancur kecil SF<sub>6</sub> dihubungkan ke penganalisis massa waktu penerbangan (TOFMS) untuk memeriksa gas buang yang

terkontaminasi material ablasi. Erosi nosel yang diamati sangat ditentukan oleh bentuk perangkat busur. Erosi nosel dan komposisi kimia gas busur SF<sub>6</sub> sedikit bergantung pada kualitas nosel PTFE [12]. Penelitian lain dalam literatur membahas SF<sub>6</sub> pada switchgear dari aspek lain, mulai dari kesalahan hingga analisis kimia [13-24].

Kami menganalisa kondisi aktual GIS Simpang pada tahun 2014-2018 yang menunjukkan bahwa pada GIS Simpang ini kondisi pengerjaannya belum sesuai standar. Dengan analisis menggunakan I-MR *Control Chart* dan diperkuat dengan Uji T maka dapat diketahui keberagaman pada data. Analisis menggunakan pendekatan 3 $\sigma$  untuk menentukan nilai batas kendali bawah dan batas kendali atas. Hasilnya diharapkan dapat menjadi acuan untuk dapat memantau kestabilan pengujian pada gas SF<sub>6</sub> sehingga kondisi GIS dapat bekerja dengan handal dan sesuai standar. Selain itu analisis ini dapat dijadikan acuan untuk melakukan penanganan khusus GIS dengan mengisolasi gas SF<sub>6</sub> khususnya di GIS Simpang, Indonesia.

### 3. METODE PENELITIAN

GIS terletak di Simpang, Surabaya, Indonesia. GIS Simpang merupakan salah satu Gardu Induk yang menggunakan insulasi gas SF<sub>6</sub> di area Perusahaan Listrik Negara Pelaksana Pemeliharaan Surabaya (PT. PLN (Persero) APP Surabaya). GIS Simpang merupakan GIS yang berperan penting di GIS Surabaya dalam pendistribusian listrik. Pada penelitian ini terdapat 4 indikator kualitas SF<sub>6</sub>, yaitu kemurnian, kadar air, titik embun, dan dekomposisi gas SO<sub>2</sub>. Data yang digunakan adalah data tahun 2014-2018 yang diperoleh dari penilaian gas pada pemeliharaan GIS. Setiap kompartemen diuji dengan alat analisa SF<sub>6</sub> untuk mendapatkan nilai kemurnian, kadar air, titik embun, dan dekomposisi.

Dari data yang diperoleh dilakukan analisis peta kendali I-MR untuk menghitung nilai rata-rata setiap parameter dan dapat dibandingkan dengan data standar yang diterbitkan oleh IEEE dan sesuai dengan SPLN (standar PLN). Hasil analisis dapat dijadikan rekomendasi perbaikan. Kami menggunakan metode penilaian umum untuk mengevaluasi parameter SF<sub>6</sub> Pada GIS 150 kV.

TABLE I. BOUNDARY VALUES GIS

Parameters and units	Boundary Value		
	1st Condition	2nd Condition	3rd Condition
Pressure (bar)	According the guidebook, with a decrease of <1% /year		
Purity (%)	<97%	97%	>97%
Dew point (° C)	>5°C	-5°C	<-5°C
Moisture content (ppmv)	>2000ppmv	1000-2000ppmv	<1000ppmv
Ambient temperature (° C)	>40°C	30-40°C	<30°C

### 3.1. Gas SF<sub>6</sub>

Gas SF<sub>6</sub> mempunyai konstanta dielektrik yang tinggi, kemampuan alat pemadam api yang lebih tinggi dibandingkan udara. Meski demikian, penggunaan gas SF<sub>6</sub> dalam jumlah besar memerlukan penanganan khusus untuk menghindari cacat isolasi. Penelitian telah menunjukkan bahwa medan listrik lokal yang kuat terjadi pada perangkat yang isolasinya rusak. Penghentian pada perangkat GIS terjadi sangat cepat, alur kerja tinggi dan meningkat terus menerus karena kesalahan grounding. Apabila terjadi gangguan, suhu tinggi yang disertai dengan keluarnya bunga api dapat mengancam kestabilan operasi jaringan listrik [3].

Pengendalian dan monitoring secara berkala harus dilakukan meskipun GIS sudah teruji sebagai peralatan bebas perawatan / hal utama yang perlu diperhatikan adalah parameter pengujian gas SF<sub>6</sub>. Kebocoran gas SF<sub>6</sub> dapat menyebabkan kerugian lingkungan. Standar peraturan telah ditetapkan yang mensyaratkan bahwa tidak lebih dari 0,1% dan 0,5% SF<sub>6</sub> harus bocor per tahun untuk tegangan menengah (MV) dan tegangan tinggi (HV) di setiap switchgear. Selain itu, nilai kemurnian, kadar air, titik embun, dan dekomposisi produk mempunyai pengaruh penuh terhadap kinerja GIS.

Kemurnian, Kemurnian pada gas SF<sub>6</sub> dapat menurun karena produk hasil dekomposisi yang dihasilkan selama operasi *switching*. Kemurnian dinyatakan dalam persentase Gas SF<sub>6</sub> murni dalam kompartemen GIS. Standar yang ditentukan oleh IEC adalah 60376, sedangkan untuk kemurnian gas SF<sub>6</sub> adalah >97%. Kemurnian, Kemurnian pada gas SF<sub>6</sub> dapat menurun karena produk hasil dekomposisi yang dihasilkan selama operasi *switching*. Kemurnian dinyatakan dalam persentase Gas SF<sub>6</sub> murni di kompartemen GIS. Standar yang ditentukan oleh IEC adalah

60376, sedangkan untuk kemurnian gas SF<sub>6</sub> adalah >97%.

### 3.2. Dew Point

Titik embun menunjukkan seberapa banyak partikel air yang terkandung dalam isolasi gas SF<sub>6</sub>. Nilai titik embun ini sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan sekitar, semakin tinggi suhu lingkungan maka semakin tinggi pula kandungan uap air pada kompartemen tersebut [8]. Di lingkungan tropis, kandungan air akan jauh lebih tinggi, sedangkan pembentukan gas-gas lainnya sangat rentan. Produk penguraian, Pada SF<sub>6</sub> murni, molekul SF<sub>x</sub> akan bereaksi dengan atom F membentuk SF<sub>6</sub>. Terdapat bekas kotoran seperti O<sub>2</sub> pada saat pengosongan gas, dan H<sub>2</sub>O akibat peningkatan kadar air. Hal ini tidak dapat dihindari karena terlepasnya material internal atau kurangnya kinerja penyegelan. SF<sub>6</sub> kemudian bereaksi dengan O<sub>2</sub> dan membentuk SO<sub>2</sub> sebagai komponen yang terurai.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini terdapat 4 (empat) variabel indikator kualitas gas SF<sub>6</sub> yaitu kemurnian, kadar air, titik embun, dan dekomposisi gas SO<sub>2</sub>. Tujuan analisis ini adalah untuk mengidentifikasi indikator-indikatornya. Berikut hasil analisis Diagram Kendali I-MR pada masing-masing variabel.

### 4.1. Kemurnian

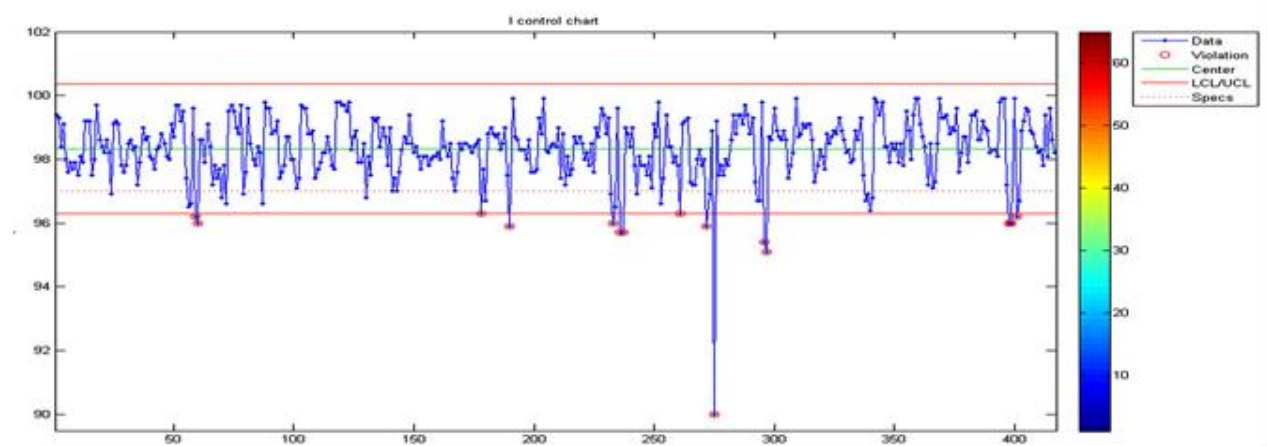
Batas spesifikasi data kemurnian dikatakan memenuhi standar jika nilai kemurniannya >97. Akan ditampilkan dua Control Chart yaitu Chart I (Individual) dan MR (*Moving Chart*). Dari hasil analisa diperoleh rata-rata kemurnian data sebesar 98,33276, dengan menggunakan pendekatan 3σ diperoleh batas kendali bawah (LCL) sebesar 96,3035 sedangkan batas kendali atas (UCL) sebesar 100,3517.

Hasil observasi yang disajikan pada Gambar 1, menunjukkan adanya observasi data

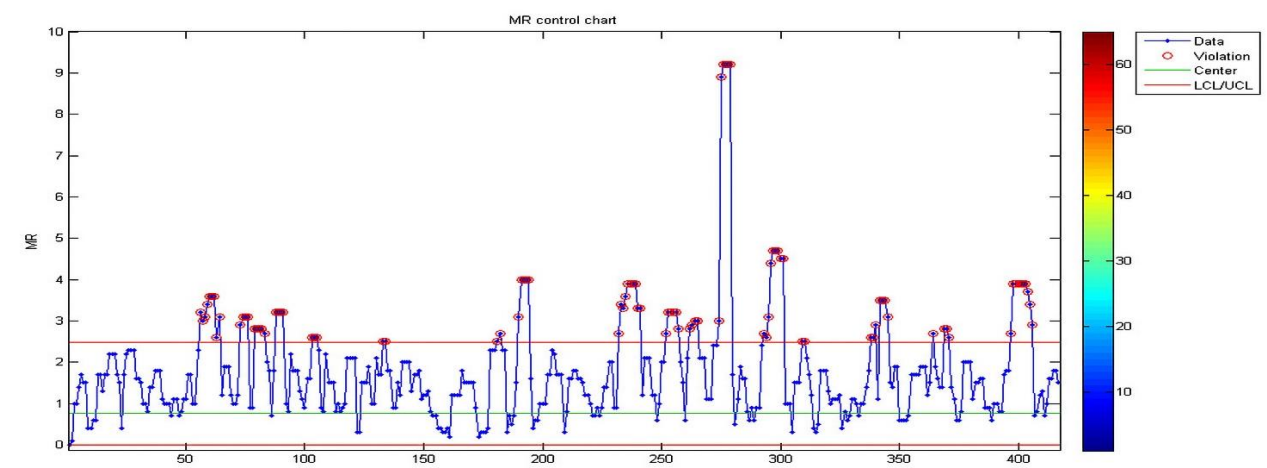
kemurnian yang keluar dari peta kendali LCL (garis merah pada grafik). Dari 417 data observasi, terdapat 13 data observasi yang keluar dari batas kendali LCL atau setara dengan 3,12% dari total data. Jika dilihat dari nilai spesifikasi standar, terdapat 36 data atau setara dengan 8,63% dari keseluruhan data kemurnian yang kurang dari nilai standar. Rinciannya adalah 5 observasi pada tahun 2014, 13 observasi pada tahun 2015, 10 observasi pada tahun 2016, 4 observasi pada tahun 2017, dan 4 observasi pada tahun 2018.

Selanjutnya hasil observasi yang disajikan pada Gambar 2 menunjukkan tingginya variasi

data, hal ini ditandai dengan data kemurnian moving range (MR) yang keluar dari peta kendali UCL (garis merah pada grafik). Nilai moving range terbesar terdapat pada data pengamatan ke 276 yaitu 9,20 (Transformer1, kompartemen PMT, fase T, 2016). Banyaknya keberagaman data menunjukkan buruknya pengendalian proses data. Berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan bahwa data kemurnian berada di luar kendali/tidak terkendali secara statistik yang berarti kemurnian tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan.



Gambar 1. Grafik I Bagan Kendali data kemurnian



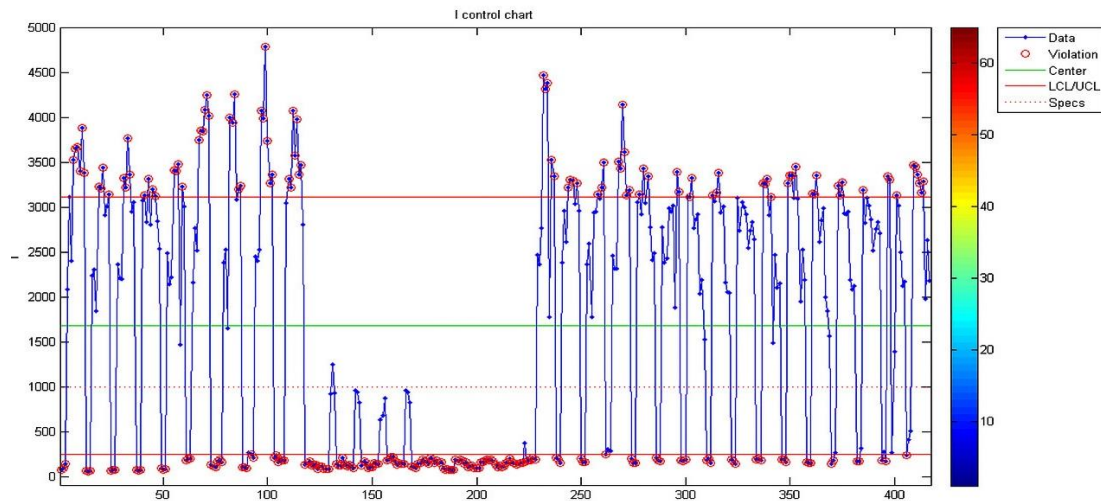
Gambar 2. Grafik data kemurnian MR Control Chart

#### 4.2. Kadar Air

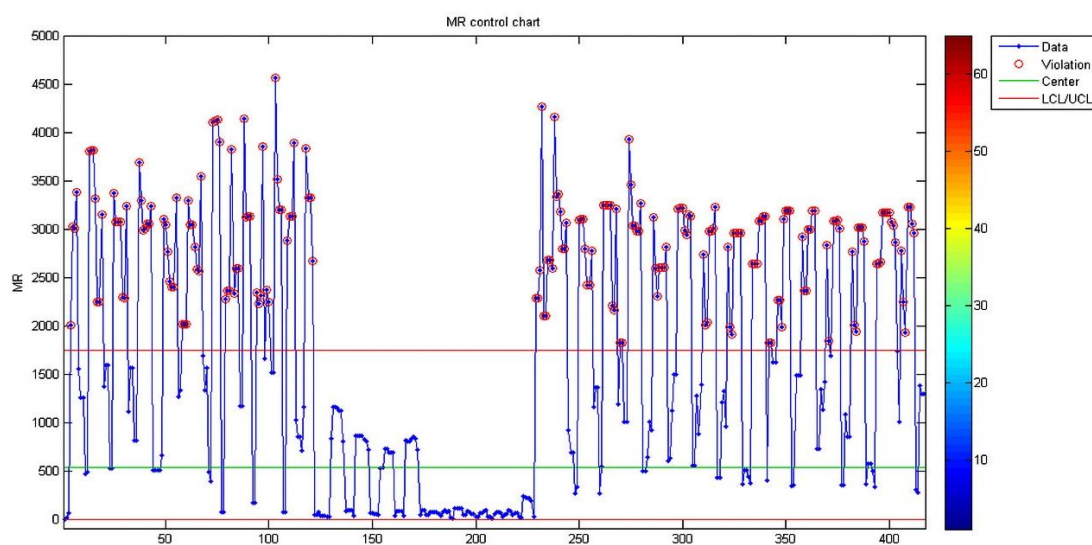
Batas spesifikasi kadar air dapat dikatakan memenuhi baku mutu apabila nilai kadar air  $<1000$ . Dari hasil analisa I peta kendali dibawah ini diperoleh rata-rata kadar air sebesar 1684,7 dan dengan menggunakan pendekatan  $3\sigma$  maka diperoleh batas kendali bawah (LCL) sebesar 256,2871 dan batas kendali atas (UCL) sebesar 3113,2. Dari Kontrol MR diperoleh rata-rata MR yaitu sebesar 537,0947 sedangkan batas kendali bawah (LCL) sebesar 0 dan batas kendali atas (UCL) sebesar 1754.

Hasil pengamatan yang disajikan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat data pengamatan kelembaban yang keluar dari peta kendali LCL dan UCL. Sebanyak 269 observasi (64,51%) keluar dari peta kendali. Sedangkan

jika dilihat dari nilai baku mutu, kadar air sebanyak 225 pengamatan (53,96%) melebihi baku mutu. Kadar air berada pada tingkat pencemaran yang rendah, hal ini ditunjukkan dengan nilai rata-rata yaitu 1648,7 pada interval 1000-2000 ppmv. Pengamatan yang disajikan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa terdapat keragaman data yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan data MR Chart yang keluar dari peta kendali UCL. Nilai MR terbesar terdapat pada data ke-73 sebesar 141,60 (kopling, kompartemen PT, Fasa R, 2015). Dengan memperhatikan hasil di atas dapat disimpulkan bahwa data tersebut tidak terkendali secara statistik dan tidak memenuhi spesifikasi.

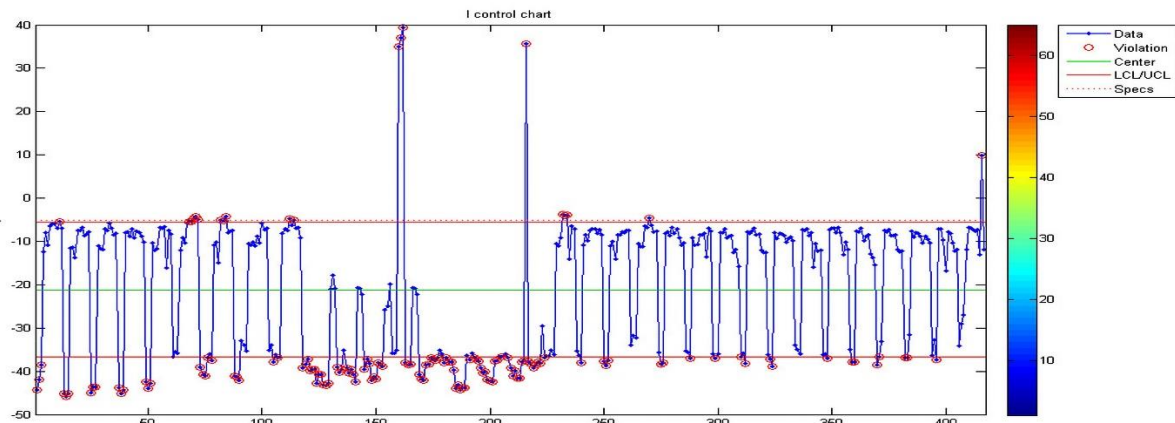


Gambar 3. Grafik I Grafik Kontrol Data Kadar Air

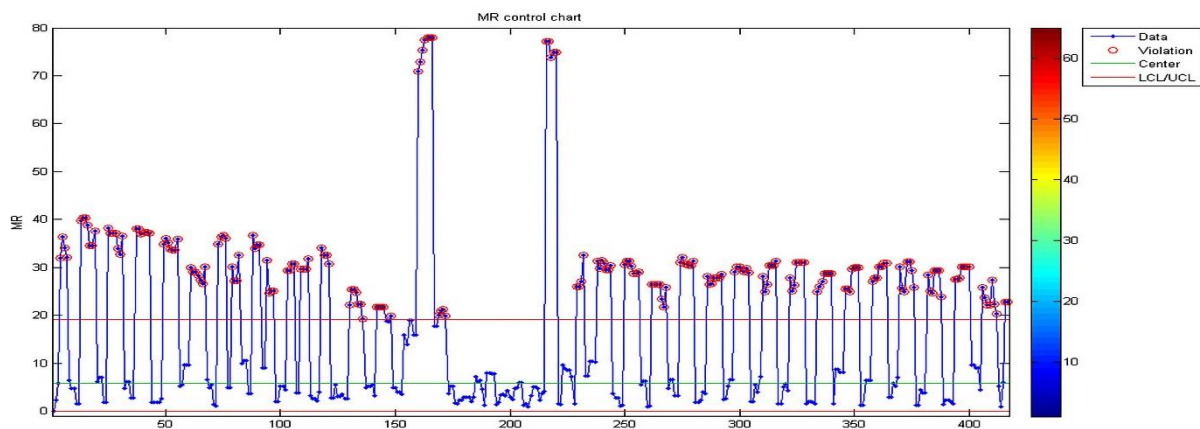


Gambar 4. Grafik Kontrol MR Dari Data Kelembaban





Gambar 5. Grafik I Grafik Kontrol Data Titik Embun



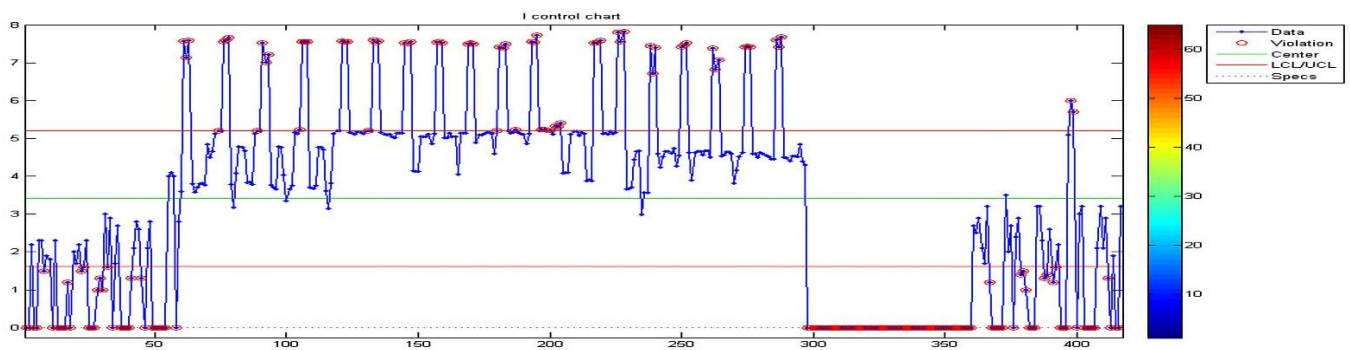
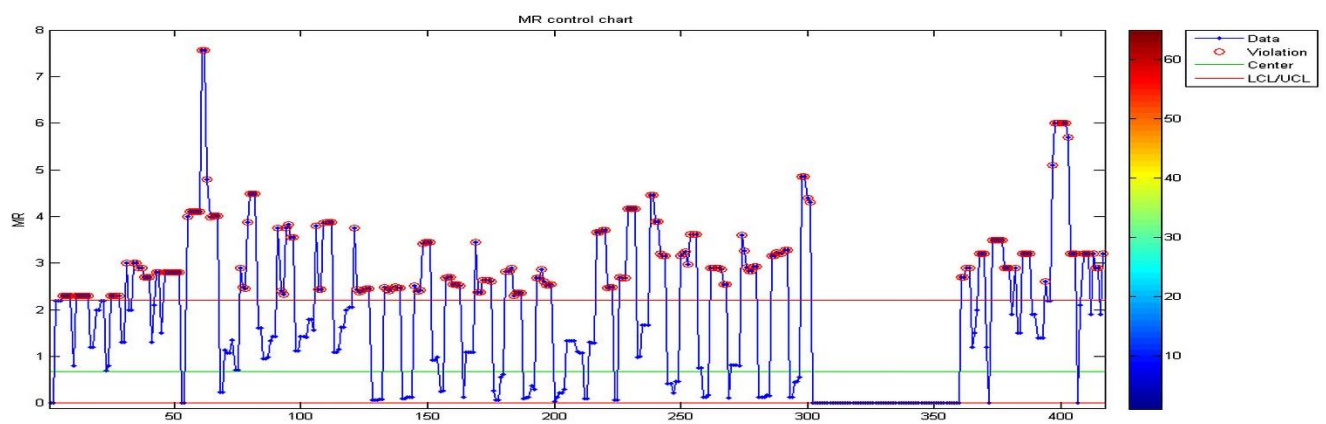
Gambar 6. Grafik Data Titik Embun Diagram Kontrol MR

#### 4.3. Penguraian $SO_2$

Batas spesifikasi data  $SO_2$  dapat dianggap memenuhi standar jika nilai  $SO_2$  bernilai nol, menunjukkan absennya kontaminasi  $SO_2$  dalam gas  $SF_6$ . Selanjutnya, kami menyajikan dua Control Chart untuk analisis lebih lanjut, yaitu I (Individual) Chart dan MR (Moving Range) Chart. Hasil analisis menggunakan I Control Chart menunjukkan bahwa rata-rata data  $SO_2$  yang terukur adalah sebesar 3,4069 ppmv. Dengan menggunakan pendekatan statistik  $3\sigma$  (tiga sigma), kami memperoleh batas kendali bawah (Lower Control Limit, LCL) sebesar 1,6127 ppmv dan batas kendali atas (Upper Control Limit, UCL) sebesar 5,2011 ppmv. Ini menunjukkan rentang variabilitas yang diharapkan dalam kondisi operasi normal, dengan nilai  $SO_2$  yang berada dalam batas kendali yang ditetapkan.

Selanjutnya, hasil analisis menggunakan MR (Moving Range) Control Chart menunjukkan bahwa rata-rata MR adalah sebesar 0,6746 ppmv. Berdasarkan perhitungan

statistik, batas kendali bawah (LCL) untuk Moving Range Chart adalah 0 ppmv, sedangkan batas kendali atas (UCL) adalah sebesar 2,2040 ppmv. Ringkasan dari kedua Control Chart ini memberikan gambaran tentang stabilitas dan variabilitas konsentrasi  $SO_2$  dalam gas  $SF_6$  yang digunakan dalam switchgear. Selain itu, mereka membantu dalam mengidentifikasi potensi penyimpangan dari kondisi normal yang dapat berdampak pada kinerja sistem, sehingga memungkinkan untuk tindakan korektif yang tepat waktu dan efektif untuk menjaga keandalan operasional switchgear.

Gambar. 7. Grafik I Grafik Kontrol Data SO<sub>2</sub>Gambar. 8. Grafik Diagram Kontrol MR data SO<sub>2</sub>

Hasil pengamatan yang disajikan pada gambar 7 menunjukkan bahwa terdapat pengamatan data SO<sub>2</sub> yang keluar dari peta kendali LCL dan UCL (garis merah pada grafik). Dari 417 pengamatan data SO<sub>2</sub>, terdapat 198 pengamatan yang keluar dari batas kendali atau setara dengan 47,48% dari total data. Sedangkan jika dilihat dari nilai spesifikasi standar (garis merah putus-putus pada grafik), dari 417 pengamatan data SO<sub>2</sub>, sebanyak 307 pengamatan melebihi spesifikasi standar (SO<sub>2</sub> = 0) atau setara dengan 73,62% dari total data. Hasil tersebut terdiri dari 34 pengamatan di tahun 2014, 117 pengamatan di tahun 2015, 60 pengamatan di tahun 2016, dan 36 pengamatan di tahun 2018.

Selanjutnya, hasil pengamatan yang disajikan pada Gambar 8, menunjukkan bahwa terdapat variasi yang tinggi pada data, hal ini ditunjukkan dengan nilai moving range (MR) data SO<sub>2</sub> yang keluar dari peta kendali UCL (garis merah pada grafik). Nilai moving range terbesar terdapat pada pengamatan data ke-400 yaitu sebesar 5,70 (Trafo 2, kompartemen PMS Bus B, PMS Ground upper clamp, Fasa R,

2018). Besarnya keragaman pada data tersebut mengindikasikan buruknya manajemen pengendalian proses pada data tersebut. Berdasarkan hasil di atas dapat disimpulkan bahwa data SO<sub>2</sub> tidak terkontrol (uncontrolled) secara statistik dan tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

## 5. KESIMPULAN

Dengan demikian, evaluasi terhadap kualitas insulasi gas SF<sub>6</sub> pada GIS Simpang, Indonesia, menunjukkan bahwa rata-rata kemurnian SF<sub>6</sub> pada switchgear yang diteliti kurang dari 97%, dengan titik embun rata-rata -21,252°C, kadar air rata-rata 1684,7 ppmv, dan kadar gas SO<sub>2</sub> rata-rata 3,4069 ppmv. Hasil ini mengisyaratkan bahwa kualitas SF<sub>6</sub> pada GIS pengganti tidak memenuhi standar yang ditetapkan, menandakan kondisi kritis dari sistem insulasi tersebut. Oleh karena itu, tindakan pemeliharaan mendesak diperlukan untuk meningkatkan kinerja switchgear. Temuan ini menjadi landasan penting dalam pengambilan keputusan terkait keberlanjutan penggunaan SIG, mempertimbangkan apakah



perlu dilakukan pemeliharaan atau bahkan perombakan lebih lanjut untuk memastikan keandalan dan kinerja sistem kelistrikan secara keseluruhan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Pekerjaan ini didukung oleh Internal UM 2022, Indonesia, dengan kontrak 19.5.1255/UN32.20.1/LT/2022.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Aaradhi and K. Gaidhani, "Special problems in gas insulated substations (GIS) and their effects on indian power system," 2012 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON), Auckland, 2012, pp. 1-5.
- [2] J. Tang et al., "Investigation on SF6 spark decomposition characteristics under different pressures," in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 24, no. 4, pp. 2066-2075, 2017.
- [3] Widger, Phillip and Haddad, Abderrahmane 2018. Evaluation of SF6 leakage from gas insulated equipment on electricity networks in Great Britain. *Energies* 11 (8).
- [4] Q. Fu, Y. Wang, Z. Li, W. Yao and X. Zhuang, "Situation and Analysis of Sulfur Hexafluoride (SF6) Byproducts of Gas Insulated Switchgear in Guangdong," 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Chengdu, 2010, pp. 1-4.
- [5] A. P. Purnomoadi, A. R. Mor and J. J. Smit, "Condition assessment model for GIS operating under tropical conditions," 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Sanur, 2017, pp. 544-549.
- [6] CIGRE 150, "Report On The Second International Survey On High Voltage Gas Insulated Substation Service Expected," Februari, 2000.
- [7] J. Biasse, E. Otegui and B. Tilwitz-von Keiser, "Benefits of proper SF6 handling to reduce SF6 emissions for sustainable Electricity Transmission and Distribution," CIGRE 2010 Proceedings, Nanjing, 2010, pp. 1-6.
- [8] CIGRE 15/23-1 Diagnostic Methods For GIS Insuling System, 1992
- [9] C. F. Sonnenberg and J. J. Brado, "Insulation Coordination Qualities of 500-kV SF6 Circuit Breakers," in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 84, no. 10, pp. 851-863, Oct. 1965, doi: 10.1109/TPAS.1965.4766114.
- [10] R. Meier, F. K. Kneubuhl, R. Coccioni, H. Wyss, E. Fischer and H. J. Schotzau, "Investigations of Nozzle Materials in SF6 Circuit Breakers," in IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 14, no. 4, pp. 390-394, Aug. 1986, doi: 10.1109/TPS.1986.4316566.
- [11] V. M. Ibrahim et al., "Comparison of the effect of fixed metallic defects in coaxial gas insulated switchgear condition monitoring," 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), 2017, pp. 264-269, doi: 10.1109/ICECOS.2017.8167146.
- [12] R. T. Harrold, "Acoustical properties of insulating liquids and gases," 1978 IEEE International Conference on Electrical Insulation, 1978, pp. 300-303, doi: 10.1109/EIC.1978.7463651.
- [13] Z. Liu, Y. Li, T. Jin, Z. Zhang, S. Zhang and J. Zhang, "Design and Development of Combined SF6 Enclosed Gas Insulated Series Resonance Testing Equipment," 2019 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM), 2019, pp. 1-3, doi: 10.1109/COMPEN.2019.8779152.
- [14] R. P. Dewimaruto, A. Rahardjo, R. Setiabudy, F. H. Jufri and F. Husnayain, "Quality Analysis and Lifetime Prediction of SF6 in High Voltage Gas Insulated Switchgear (GIS) at CSW Bulungan," 2019 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICIRD47319.2019.9074712.
- [15] W. Huan, L. Tao-mei and T. Jiang-ping, "Research on intellectualization of 126kV SF6 circuit breaker," The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC), 2014, pp. 2161-2165, doi: 10.1109/CCDC.2014.6852525.
- [16] H. Miao, R. Ni, K. Liu and L. He, "A D-S evidence theory fault diagnosis method based on MapReduce for SF6 high voltage switchgear," 2017 IEEE 17th International Conference on Communication Technology (ICCT), 2017, pp. 1817-1821, doi: 10.1109/ICCT.2017.8359944.
- [17] N. Qiu, G. Xie, Q. Yao, Y. Miao, F. Zeng and L. Dai, "The Detection of Hydrolyzable Fluoride in SF6 Equipment by Ion Chromatography and Application in Fault Determination," 2019 2nd International Conference on Electrical Materials and Power Equipment (ICEMPE), 2019, pp. 125-130, doi: 10.1109/ICEMPE.2019.8727271.
- [18] A. Bastian, D. S. Rahmani and A. Muchtar, "Developing norm for SF6 quality of tropical GIS," 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, 2012, pp. 454-457, doi: 10.1109/CMD.2012.6416176.
- [19] S. Umesh, Suma K, T. C. Balachandra and Usha A, "Carbon nanotube based Surface Acoustic

- Wave gas sensor for condition monitoring of gas insulated switchgear systems," 2015 International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT), 2015, pp. 413-417, doi: 10.1109/ERECT.2015.7499051.
- [20] P. Bolin and H. Koch, "Gas insulated substation GIS," 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006, pp. 3 pp.-, doi: 10.1109/PES.2006.1709113.
- [21] Menglei Zheng et al., "Application of solid insulated materials on medium voltage switchgear of distribution lines," CICED 2010 Proceedings, 2010, pp. 1-3.
- [22] C. G. Zhu et al., "Improvement of Measurement Accuracy of Infrared Moisture Meter by Considering the Impact of Moisture Inside Optical Components," in IEEE Sensors Journal, vol. 14, no. 3, pp. 920-925, March 2014, doi: 10.1109/JSEN.2013.2291033.
- [23] R. Jannesari, I. Bergmair, S. Zamiri and K. Hingerl, "Design and fabrication of si-based photonic crystal stamps," 2009 11th International Conference on Transparent Optical Networks, 2009, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICTON.2009.5185311.
- [24] G. Mazzanti, G. Stomeo and S. Mancini, "State of the art in insulation of gas insulated substations: main issues, achievements, and trends," in IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 32, no. 5, pp. 18-31, September-October 2016, doi: 10.1109/MEI.2016.7552373.