

## **Analisis Kebocoran Gas SF6 Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling**

**Naftalin Winanti<sup>1\*)</sup>, Een Taryana<sup>2)</sup>, Gina Nur Sa'adah<sup>3)</sup>**

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Jenderal Achmad Yani  
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

<sup>\*)</sup>Korespondensi : Naftalin.winanti@lecture.unjani.ac.id

### **Abstrak**

Gas *Insulated Switchgear* Tegangan Ekstra Tinggi (GISTET) merupakan komponen sistem tenaga yang memiliki fungsi sebagai pusat penyaluran (transmisi) yang menghubungkan sistem transmisi tegangan ekstra tinggi melalui saluran-saluran ataupun gardu-gardu distribusi. Berdasarkan pemasangan dari peralatannya GISTET, mengandalkan gas hexafluorida (SF<sub>6</sub>) sebagai media isolasi pada peralatan. Peralatan di GISTET tidak selalu dalam keadaan baik, GISTET juga sering mengalami gangguan. Salah satu gangguan yang sering di alami GISTET yaitu, kebocoran gas SF<sub>6</sub> pada PMT (*circuit breaker*). Hal ini diperlukan penanganan yang disebut dengan *overhaul* GISTET. Maka dari itu penulis akan menganalisis tentang kebocoran Gas SF<sub>6</sub> sebagai isolasi pada PMT (*circuit breaker*) di GISTET Saguling.

Menurut hasil perhitungan pada penelitian ini tekanan gas SF<sub>6</sub> dengan tegangan tembus PMT saling berkaitan. Pada tekanan saat kebocoran gas terjadi berada pada nilai di bawah 5 kgf/cm<sup>2</sup>, maka tekanan tersebut hanya mampu menahan tegangan tembus dengan nilai yang rendah sehingga tidak dapat meredam busur api dengan baik, sedangkan pada tekanan di atas 5 kgf/cm<sup>2</sup> mampu menahan tegangan tembus dengan nilai yang tinggi sehingga sangat efektif untuk meredamkan busur api. Selain itu tekanan gas SF<sub>6</sub> berkaitan juga terhadap kecepatan busur api karena semakin rendah nilai tekanan pada saat kebocoran gas maka kecepatan busur api ikut menurun sehingga busur api akan lambat untuk di redam.

**Kata kunci** : Gas *Insulated Switchgear* Tegangan Ekstra Tinggi (GISTET), Gas SF<sub>6</sub>, PMT (*Circuit Breaker*), *Overhaul*

### **Abstract**

*Gas Insulated Switchgear Extra High Voltage (GISTET) is a power system component that has a function as a distribution center (transmission) that connects the extra high voltage transmission system through distribution channels or substations. Based on the installation of GISTET equipment, relying on hexafluoride gas (SF<sub>6</sub>) as an insulating medium on the equipment. Equipment at GISTET is not always in good condition, GISTET also often experiences problems. One of the disturbances that GISTET often experiences is the leakage of SF<sub>6</sub> gas at the PMT (circuit breaker). This requires a treatment called a GISTET overhaul. So in this paper the author will analyze the SF<sub>6</sub> gas leak as insulation on the PMT (circuit breaker) at GISTET Saguling.*

*According to the results of the calculations in this final project, the gas pressure of SF<sub>6</sub> and the breakdown voltage of PMT are interrelated. At the pressure when the gas leak occurs is at a value below 5kgf/cm<sup>2</sup> it is able to withstand the voltage. Penetrating with a high value so it is very effective to reduce arc fire. In addition, the SF<sub>6</sub> gas pressure is also related to the arc speed because the lower the pressure value at the time of gas leakage, the arc speed decreases, so the arc will be slow to muffle.*

**Keywords** : Gas *Insulated Switchgear* Tegangan Ekstra Tinggi (GISTET), PMT (*Circuit Breaker*), *Overhaul*

## **I. PENDAHULUAN**

Kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini meningkat cukup signifikan, terbukti banyaknya jaringan jaringan listrik yang telah dibuat oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Tidak hanya di kota-kota besar, saat ini listrik juga telah mencapai ke daerah terpencil. Sebelum listrik disalurkan ke beban atau konsumen maka listrik terlebih dahulu diturunkan tegangannya dari pembangkit melalui jaringan transmisi dan distribusi lalu ke beban.

Semakin banyaknya kawasan industri di Indonesia semakin membutuhkan listrik. Selain bidang industri juga terdapat pemukiman padat penduduk yang juga membutuhkan *supply* listrik sebagai kebutuhan sehari-hari. Dengan meningkatnya kebutuhan daya listrik maka diperlukan gardu induk yang bisa menyalurkan energi listrik khususnya untuk industri industri besar.

GISTET yang merupakan kepanjangan dari Gas *Insulated Switchgear* Tegangan Ekstra Tinggi adalah Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi masa kini yang menggunakan teknologi maju dan telah banyak dipakai di banyak gardu untuk melayani kebutuhan listrik. GISTET merupakan teknologi inovatif yang digunakan sebagai sistem penghubung serta pemutus jaringan listrik dengan tempat yang tidak memakan lahan yang luas diantara kepadatan penduduk di wilayah suatu tempat. GISTET memerlukan gas untuk media isolasi pada setiap peralatannya, yang dimanakan gas SF<sub>6</sub> (Sulfur Hexafluoride) sebagai material isolasi elektrik dan pemadaman busur api [1].

Keunggulan Peralatan di GISTET sangat berpengaruh terhadap kinerja pada pralatan-peralatan GISTET. Jika peralatan mengalami suatu gangguan atau kerusakan maka akan berpengaruh buruk pada kinerja peralatan tersebut. Salah satu peralatan di di GISTET yang sering terjadi gangguan adalah *Circuit Breaker* atau yang dikenal dengan PMT.

Pada salah satu GISTET yaitu GISTET saguling pernah mengalami suatu gangguan kebocoran gas SF<sub>6</sub> pada PMT. Gangguan tersebut bisa terjadi dikarenakan O-Ring seal dan part-part pada PMT telah rusak [2]. Kebocoran gas SF<sub>6</sub> pada PMT sangat berbahaya bagi kinerja PMT serta dapat mempengaruhi lingkungan. Pada PMT GISTET Saguling kebocoran gas SF<sub>6</sub> mengakibatkan penurunan kinerja pada pada PMT. Menurunnya kualitas isolasi PMT sehingga tidak dapat meredam busur api dengan maksimal, dan apabila tidak segera di atasi dapat menyebabkan terkontaminasi oleh zat lain serta pengaruh paling parah dapat mengakibatkan PMT meledak. Pengecekan dan pemantauan terhadap tekanan untuk mendeteksi adanya kebocoran gas SF<sub>6</sub>. PMT tanpa manometer bisa menggunakan alat leak detector untuk mendeteksi kebocoran atau mengetahui tekanan gas SF<sub>6</sub> mengalami penurunan dengan munculnya alarm SF<sub>6</sub> low pada kompartemen [2].

Solusi untuk kebocoran gas SF<sub>6</sub> yaitu dapat dilakukan penambahan gas SF<sub>6</sub> terlebih dahulu, dan solusi permanennya dilakukan *Overhaul* pada kompartemen PMT dan mengganti *O-ring seal* atau *part-part* yang sudah rusak, karena *O-ring seal* atau *part-part* yang rusak inilah yang menjadi penyebab kebocoran gas SF<sub>6</sub> tersebut. Pengecekan dan pemeliharaan secara rutin pada PMT dapat mengurangi gangguan dan kerusakan di tiap komponen PMT, sehingga kinerja PMT akan berjalan dengan lancar serta tidak membahayakan peralatan yang lain.

#### *A. Pengertian GISTET (Gas Insulated Switchgear Tegangan Ekstra Tinggi)*

GISTET adalah sebuah gardu induk masa kini yang menggunakan Gas SF<sub>6</sub> (Sulfur Hexafluoride) sebagai media isolasi, Gas SF<sub>6</sub> ini banyak dipakai pada gardu untuk melayani kebutuhan listrik dimulai pada tahun 1960. Pada awalnya GISTET adalah sebuah konsep dari “ruang yang tertutup” oleh bahan logam pada dimana minyak digunakan sebagai bahan isolasi di dalamnya. Kemudian seiring berjalannya waktu gas digunakan untuk pertama kalinya sebagai media isolasi. Semakin berkembangnya teknologi munculah gas SF<sub>6</sub>, maka digunakannya gas SF<sub>6</sub> ini sebagai media mengisolasi sistem tegangan ekstra tinggi pada GISTET kemudian mulai diperkenalkan ke pasaran pada tahun 1968 sebagai pemadam busur api dan media isolasi [6].

GIS (Gas *Insulated Switchgear*) dan GISTET (Gas *Insulated Switchgear* Tegangan Ekstra Tinggi) adalah gardu induk yang sama sama mengandalkan gas SF<sub>6</sub> sebagai media isolasi sebagai pemadam busur api. Pengoperasian serta penempatan peralatannya pun sama yaitu di dalam ruangan, namun yang membedakan kedua Gardu Induk tersebut adalah kekuatan tegangan yang dihasilkan. GIS memiliki kekuatan tegangan 150 kV sedangkan GISTET memiliki kekuatan tegangan sebesar 500 kV[1].

Pada Gambar 1 di bawah ini adalah peralatan tenaga listrik yang berada di GISTET. Berbeda dengan gardu induk konvensional, peralatan pada GISTET tidak memakan lahan yang luas serta di tempatkan di dalam ruangan tertutup, dan setiap peralatan tenaga listrik di lindungi oleh beberapa tabung yang berisikan gas SF<sub>6</sub> sebagai media isolasi. Meskipun terlihat aman namun tetap saja harus melakukan pengecekan setiap harinya agar setiap peralatan terjamin baik dan apabila ada kerusakan harus segera di tangani.





Gambar 1 GISTET (Gas Insulated Switchgear Tegangan Ekstra Tinggi)

### B. Pengertian Gas SF<sub>6</sub>

Gas SF<sub>6</sub> pada Pemutus Tenaga (PMT) berfungsi sebagai media pemadam busur api listrik saat terjadi pemutusan pada arus listrik dalam keadaan arus yang berbeban maupun tidak berbeban dan sebagai media isolasi antara bagian-bagian yang bertegangan yaitu pada kontak tetap dan kontak bergerak pada ruang pemutus. Pada PMT gas SF<sub>6</sub> juga memiliki fungsi sebagai isolasi pada bagian bertegangan maupun yang tidak bertegangan [7]. Saat ini gas SF<sub>6</sub> banyak digunakan pada peralatan GISTET (Gas Insulated Switchgear Tegangan Ekstra Tinggi) pada kekuatan tegangan sebesar 500 kV [1].

Sifat fisik gas SF<sub>6</sub> murni memiliki tekanan absolut = 1 Atm dan temperatur = 200 C, tidak memiliki warna, tidak berbau dan tidak beracun dengan berat isi 6,139 kg/m<sup>3</sup> dan sifat lainnya adalah mempunyai berat molekul 146,7 g, temperatur kritis 45,550 C dan bertekanan absolut kritis 3,78 Mpa.

Sifat kimiawi gas SF<sub>6</sub> memiliki kestabilan yang baik, pada *ambient* temperatur terdapat gas netral dan sifat pemanasan yang stabil. Pada temperatur diatas 150°C mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dala pemutus tenaga tegangan tinggi.

Sifat listrik sebagai isolasi listrik, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi, 2,35 kali kekuatan dielektrik udara dan kekuatan dielektrik ini bertambah tekanan serta mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat setelah arus buga api listrik melalui titik nol [1].

Standar IEC 376 dengan peruntukan khusus dalam penggunaan gas SF<sub>6</sub> pertama kali digunakan pada kemurnian 99,99% dan terdapat unsur-unsur kandungan lain berupa *Carbon Tetra Fluoride* (CF<sub>4</sub>) yang memiliki konsentrasi sebesar 0,03%, kandungan air 15 ppm, dan kandungan *Hydrogen Fluoride* (HF) sebesar 0,03 ppm. Standar IEC 480 untuk petunjuk pemeriksaan terhadap gas SF<sub>6</sub> pada peralatan listrik. Penguraian unsur dari gas SF<sub>6</sub> dapat terjadi pada saat kontak yang teraliri arus menjadi terbuka, dimana busur api yang timbul bertemperatur lebih besar 500 °C , maka gas SF<sub>6</sub> akan terurai menjadi unsur sulfur, *fluoride*, SF<sub>2</sub> dan unsur SF<sub>4</sub>. Semua unsur tersebut berkombinasi kembali ke temperatur ruang, yang berfungsi sebagai media isolasi dan pemadam busur api pad peralatan listrik, maka diperlukanlah tekanan gas SF<sub>6</sub> pada kisaran 5-6 bar [4].

### C. Pengertian PMT

*Circuit Breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang dapat bekerja sebagai penutup, mengalirkan, memutus serta menutup rus beban dalam kondisi normal, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (short circuit) [8]. Selain itu PMT mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dngan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam waktu periode tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.

## II. METODE

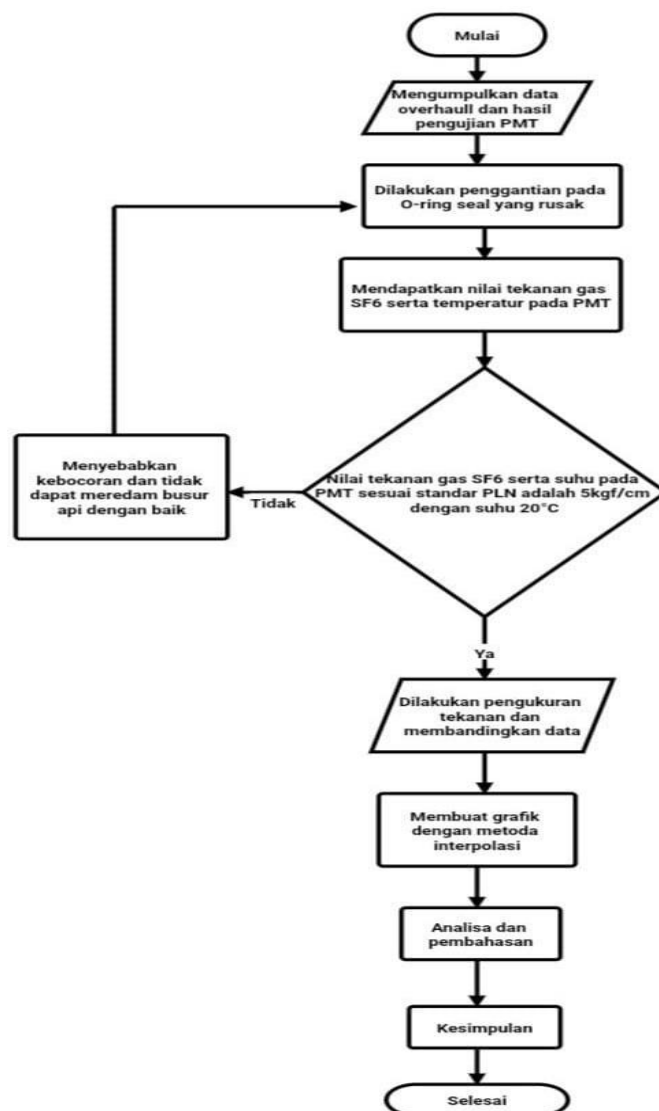
### A. Diagram Alir Penelitian

Pada GISTET Saguling terdapat gangguan yang sering di alami yaitu kebocoran gas SF<sub>6</sub> yang terjadi pada PMT. PMT yang mengalami kebocoran yaitu 7A1 fasa S, 7A2 fasa S, GM23 fasa R, GM32 fasa S, dan GM22 fasa R, hal ini terjadi karena O-ring seal yang rusak oleh kotoran, goresan serta suhu yang terlalu panas. O-ring seal yang rusak akan menyebabkan tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT menurun, sehingga gas SF<sub>6</sub> tidak dapat meredam busur api dengan baik sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada PMT bahkan dapat mengakibatkan kebakaran serta ledakan. Tekanan gas SF<sub>6</sub>

***Analisis Kebocoran Gas SF<sub>6</sub> Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling***

***(Naftalin Winanti, Een Taryana, Gina Nur Sa'adah: Halaman 20-28)***

dipengaruhi oleh suhu di dalam PMT, jika suhu dibawah 200C dapat mengakibatkan penurunan nilai tekanan gas SF<sub>6</sub>, sehingga secara periodik dilakukan setiap hari untuk pengecekan tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT. Pada diagram alir penelitian nilai tekanan dan suhu gas SF<sub>6</sub> diketahui dari data hasil pengujian Overhaul PMT, apakah nilai-nilai tersebut memenuhi standar atau tidak. Menurut standar PLN yang berlaku, tekanan gas SF<sub>6</sub> dalam keadaan normal bernilai 5 kgf/cm<sup>2</sup> dengan suhu 20 0C dan dalam keadaan tidak normal bernilai 4,6 kgf/cm<sup>2</sup> dengan suhu di bawah 20 0C. Jika tekanan dan suhu gas SF<sub>6</sub> dalam kondisi tidak normal maka PMT akan mengalami kebocoran, hal ini harus segera di atasi agar tidak merusak peralatan yang lainnya, dengan cara penggantian O-ring seal serta pengisian gas SF<sub>6</sub>. Kondisi PMT yang mengalami kebocoran dan keadaan normal perlu di cek tekanannya setiap hari, karena suhu lingkungan yang turun dapat menyebabkan tekanan gas SF<sub>6</sub> juga ikut menurun, maka harus dilakukan pengisian gas SF<sub>6</sub> sampai nilai tekanan mencapai normal kembali. Pastikan anda menggunakan template ini. Dalam penyajian metode dapat dibagi atas sub bagian. Penulisan makalah sebaiknya bukan seperti laporan praktikum. Apabila diperlukan informasi bahan dan alat sebaiknya dituliskan secara implisit.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

Perbandingan nilai tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT sebelum dan sesudah mengalami kebocoran, dibuat grafik hubungan antara tekanan gas dengan tegangan tembus. Grafik tersebut dibuat dengan menggunakan metoda interpolasi, kemudian dilakukan analisa dan pembahasan untuk mendapatkan kesimpulan dari hasil penelitian ini. Metoda interpolasi adalah sebuah metoda untuk mengestimasi

keluaran sebuah fungsi dari dua pasang data sebagai perbandingan, dari metoda tersebut dapat menaksir nilai tengah dari perbandingan saat keadaan sebelum dan setelah *overhaul*.

### III. HASIL DAN DISKUSI

Setelah diketahui adanya kebocoran gas SF<sub>6</sub> yang terjadi pada PMT GISTET Saguling maka dilakukannya penelitian untuk mengetahui performa pada PMT tersebut. Pada penelitian ini maka akan didapat nilai tahanan isolasi, nilai perbandingan sebelum dan sesudah dilakukannya *Overhaul*, nilai kecepatan busur api, serta nilai arus hubung singkat. Nilai tersebut diperoleh dari beberapa pustaka dan telah disesuaikan dengan metode interpolasi.

#### A. Pengujian Tahanan Isolasi

Nilai *operate* menunjukkan tekanan yang dapat meng ON kan *density switch alarm, stage 1* dan *stage 2*, misalkan nilai 4,82 kgf/cm<sup>2</sup> itu berarti nilai pada saat tekanan 5,10 kgf/cm<sup>2</sup> di turunkan sehingga menjadi 4,82 kgf/cm<sup>2</sup> pada nilai tersebut alarm bekerja, dan di turunkan lagi hingga bernilai 4,40 kgf/cm<sup>2</sup> maka pada nilai tersebut *stage 1* dan *stage 2* bekerja. Pada kolom *reset* itu kebalikannya, misal tekanan sudah diturunkan hingga 4,4 kgf/cm<sup>2</sup> maka *sensor density switch alarm, stage1* dan *stage 2* sudah dalam keadaan ON.

Tabel 1 Hasil pengujian tekanan gas SF<sub>6</sub>

Titik Ukur	Hasil Uji Fungsi					
	Phasa R (kgf/cm <sup>2</sup> )		Phasa S (kgf/cm <sup>2</sup> )		Phasa T (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Operate	Reset	Operate	Reset	Operate	Reset
<b>Alarm</b>	4,82	5,10	5,00	5,20	4,85	5,20
<b>Stage 1</b>	4,40	4,80	4,40	4,70	4,40	4,90
<b>Stage 2</b>	4,40	4,80	4,50	4,70	4,40	4,90

Pada Tabel 2 di bawah adalah data nilai dari tahanan kontak pada PMT SF<sub>6</sub> pada pengujian tahanan kontak PMT pada GISTET berbeda dengan konvensional, PMT pada GISTET pada pengujian tahanan kontak perlu bantuan PMS tanah untuk menghubungkan alat uji ke kontak PMT, sehingga saat pengujian langsung 3 kontak yg terukur sehingga nilai tahanan kontak akan lebih besar dari standar. Standar PLN bernilai 50uOhm ke bawah, sedangkan hasil uji tersebut sekitar 140uOhm, karena saat pengujian itu langsung mengukur 3 kontak maka 140 masih di anggap normal, karena secara logika 140/3 masih d bawah 50uOhm.

Tabel 2 Hasil Uji Tahanan Kontak

Titik ukur	Phasa R,S,T								
	Standar	Th.lalu	Hasil ukur	Standar	Th. lalu	Hasil ukur	Standar	Th. lalu	Hasil ukur
Atas-Bawah PMT ON	<50μΩ	126	135	<50μΩ	140	142	<50μΩ	-	147

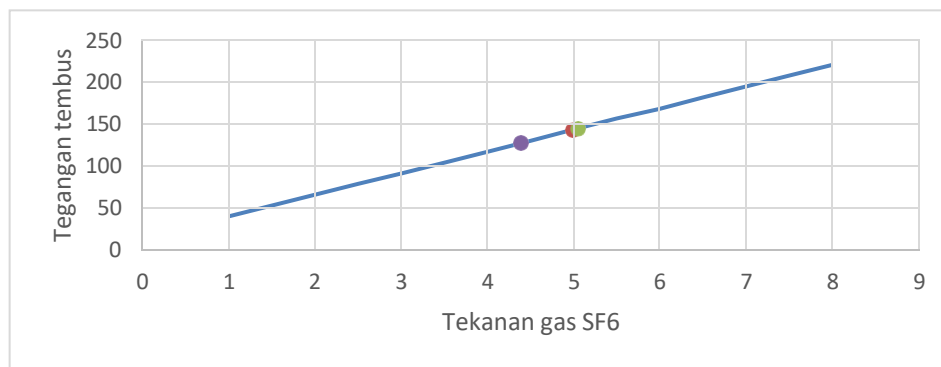
Setelah melakukan perhitungan interpolasi maka hasil tegangan tembus dimasukkan pada Tabel 3 di bawah ini

Tabel 3 Perhitungan interpolasi pada masing-masing phasa

Phasa	Nilai rata-rata (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tegangan tembus (kV)
R	5	142,85
S	5,06	144,4
T	5,1	145,42

Berikut adalah grafik hubungan antara nilai rata-rata pada masing phasa terhadap tegangan tembus. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa bagaimana perbandingan pada masing-masing phasa dengan tegangan tembus yang mampu di tahan oleh tekanan.

***Analisis Kebocoran Gas SF<sub>6</sub> Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling***  
 (Naftalin Winanti, Een Taryana, Gina Nur Sa'adah: Halaman 20-28 )



Gambar 3 Grafik interpolasi pada masing-masing fasa

Keterangan :

- Phasa R
- Phasa S
- Phasa T

Pada Tabel 4 di bawah adalah nilai rata-rata pada masing-masing kompartemen setelah pengisian gas SF<sub>6</sub>. Nilai-nilai tersebut di dapat dengan cara menjumlahkan nilai tekanan pada seluruh kompartemen baik yang mengalami kebocoran maupun tidak, lalu nilai rata-rata tersebut di masukan pada rumus interpolasi agar menghasilkan nilai tegangan tembus pada masing-masing kompartemen.

Tabel 4 Nilai rata-rata pada masing-masing kompartemen setelah pengisian gas SF<sub>6</sub>

No	Kompartemen	Tekanan gas SF <sub>6</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tekanan rata-rata kompartemen (kgf/cm <sup>2</sup> )
		Phasa R	Phasa S	Phasa T	
1.	GM23	4,9	5,0	5,1	5
2.	7A2	5,1	5,4	5,2	5,23
3.	GM32	5,1	5,0	5,0	5,03
4.	GM33	5,0	5,0	5,2	5,06
5.	7AB4	5,0	5,1	5,0	5,03
6.	7A1	5,0	5,2	5,0	5,06
7.	GM22	4,9	5,1	5,1	5,03

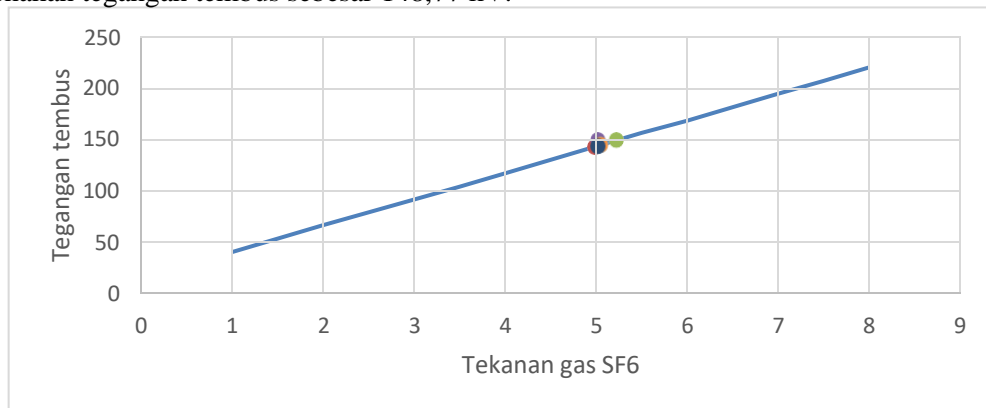
Setelah mendapatkan nilai tekanan rata-rata pada masing-masing fasa, maka selanjutnya nilai tersebut dihitung menggunakan rumus interpolasi untuk mendapatkan nilai tegangan tembus. Pada Tabel 5 adalah hasil perhitungan tegangan tembus menggunakan rumus interpolasi.

Tabel 5 Perhitungan interpolasi pada masing-masing kompartemen

Kompartemen	Nilai rata-rata (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tegangan tembus (kV)
GM23	5	142,85
7A2	5,23	148,77
GM32	5,03	143,62
GM33	5,06	144,4
7A1	5,06	144,4
GM22	5,03	143,62

Setelah mendapatkan nilai tegangan tembus pada masing-masing kompartemen setelah pengisian gas SF<sub>6</sub> maka dapat dibuat grafik hubungan antara tekanan pada masing-masing kompartemen setelah pengisian gas SF<sub>6</sub> terhadap tegangan tembus seperti Grafik 4 di bawah ini. Pada grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa tekanan gas paling kecil terletak paling bawah, pada titik tersebut merupakan kompartemen GM23 terbukti pada kompartemen tersebut hanya memiliki tekanan rata-rata sebesar 5 kgf/cm<sup>2</sup> sehingga pada tekanan tersebut hanya mampu menahan tegangan tembus yang bernilai kecil yaitu hanya sebesar 142,85 kV. Untuk tekanan paling besar terletak paling tinggi pada grafik tersebut,

titik tersebut merupakan kompartemen 7A2 dengan nilai rata-rata tekanan sebesar 5,23 kgf/cm<sup>2</sup> yang dapat menahan tegangan tembus sebesar 148,77 kV.



Gambar 4 Grafik interpolasi pada masing-masing kompartemen

Pada Tabel 6 di bawah adalah data tekanan gas  $SF_6$  pada PMT yang mengalami kebocoran sebelum dan sesudah pengisian gas  $SF_6$  beserta waktu pengisian dan keterangannya. Tekanan gas yang mengalami penurunan menandakan bahwa gas  $SF_6$  sedang mengalami kebocoran sehingga tekanan gas berkurang, hal ini harus segera ditangani dengan cara pengisian gas  $SF_6$  kembali serta mengganti komponen-komponen pada PMT yang rusak agar pada saat pemutusan busur api dapat teredam dengan baik. Pada tekanan alarm sekitar 4.8kgf/cm<sup>2</sup> dianggap sudah perlu diisi kembali gas  $SF_6$ , pada tekanan 4,6 kgf/cm adalah kondisi dimana tekanan sudah dianggap sangat kurang dan akan sangat berbahaya apabila PMT tetap dioperasikan maka pengisian gas  $SF_6$  harus segera dilakukan serta mengecek dan mengganti apabila ada komponen PMT yang rusak. Pengecekan tekanan gas dilakukan setiap hari.

Tabel 6 Tekanan gas sebelum dan sesudah pengisian pada PMT yang mengalami kebocoran

Jam Server	Tanggal	Kompartemen	Fasa	Tek. Sebelum (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tek. Sesudah (kgf/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
4/2/2021 09.48.45	4/2/2021	GM23	R	4,1	4,9	Sudah diisi
6/2/2021 23.14.55	5/2/2021	7A2	S	4,9	5	Pengisian di sore hari
28/2/2021 11.43.09	28/2/2021	7A2	S	4,85	5,4	Sudah diisi
4/3/2021 11.38.04	4/3/2021	GM23	R	4,3	4,9	Sudah diisi
8/3/2021 15.42.22	8/3/2021	GM32	S	4,2	4,9	Sudah diisi
30/3/2021 13.33.38	30/3/2021	7A1	S	4,78	5,18	Mengatasi gangguan PMT 7A1 fasa S (Pengisian gas)
6/4/2021 11.23.44	6/4/2021	GM23	R	4,15	4,7	Mengatasi gangguan PMT GM23 Fasa R (Pengisian gas)
15/4/2021 11.02.18	15/4/2021	7A2	S	4,9	5,2	Antisipasi gangguan PMT 7A2 fasa S
6/5/2021 10.57.50	6/5/2021	7A2	S	4,9	5,4	Antisipasi gangguan PMT 7A2 fasa S
8/7/2021 17.35.41	8/7/2021	GM32	S	4,35	5	Antisipasi gangguan PMT GM32 fasa S
28/7/2021 11.31.12	28/7/2021	GM22	R	4,3	4,9	Antisipasi alarm

***Analisis Kebocoran Gas SF<sub>6</sub> Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling***

***(Naftalin Winanti, Een Taryana, Gina Nur Sa'adah: Halaman 20-28)***

***B. Analisa Kecepatan Busur Api pada Gas SF<sub>6</sub>***

Untuk mengetahui kecepatan busur api pada gas SF<sub>6</sub> bertekanan dapat dilakukan dengan langkah berikut : Berdasarkan data kecepatan busur api berhubungan dengan tekanannya, GISTET Saguling memiliki tekanan nominal 510 kPa yang didapatkan dari  $5.2 \text{ kgf/cm}^2 \times 98,0665$ , namun pada saat terjadi kebocoran gas maka tekanan otomatis akan menurun pada kasus kebocoran pmt GISTET Saguling tekanan menurun menjadi 480 kPa yang nilainya didapatkan dengan cara  $4,1 \text{ kgf/cm}^2 \times 98,0665 = 402 \text{ kPa}$  Sedangkan penurunan kecepatan busur api adalah 0,2 cm/s kA kPa.

Setelah melakukan perhitungan penurunan kecepatan busur api sebelum pengisian gas dan setelah pengisian gas seperti rumus di atas, maka hasil dari perhitungan pada seluruh kompartemen dapat di lihat pada Tabel 7 dan 8 di bawah ini.

Tabel 7 Hasil perhitungan penurunan kecepatan busur api sebelum pengisian gas SF<sub>6</sub>

No	Kompartemen	Phasa	Nilai tekanan (kgf/cm <sup>2</sup> )	Perubahan tekanan (kPa)	Faktor penurunan kecepatan busur api (cm/s kA)	Penurunan kecepatan busur api terhadap tekanan (cm/s kA)
1.	GM23	R	4,1	108	21,6	62,4
2.	7A2	S	4,9	30	6	78
3.	GM32	S	4,35	84	16,8	67,2
4.	GM33	S	4,2	99	19,8	64,2
5.	7A1	S	4,8	40	8	76
6.	GM22	R	4,3	89	17,8	66,2

Tabel 8 Hasil perhitungan penurunan kecepatan busur api setelah pengisian gas SF<sub>6</sub>

No	Kompartemen	Phasa	Nilai tekanan (kgf/cm <sup>2</sup> )	Perubahan tekanan (kPa)	Faktor penurunan kecepatan busur api (cm/s kA)	Penurunan kecepatan busur api terhadap tekanan (cm/s kA)
1.	GM23	R	4,9	30	6	78
2.	7A2	S	5,4	-19	-3,8	87,8
3.	GM32	S	5,0	20	4	80
4.	GM33	S	5,0	20	4	80
5.	7A1	S	5,2	1	0,2	83,8
6.	GM22	R	4,9	30	6	78

**IV. KESIMPULAN**

Pada PMT SF<sub>6</sub> di GISTET Saguling terdapat phasa yang sering mengalami kebocoran, yaitu phasa S sedangkan phasa yang tidak mengalami kebocoran adalah phasa T. Pada kompartemen yang sering mengalami kebocoran adalah GM23, 7A2, GM32, GM33, 7A2 dan GM22, sedangkan pada kompartemen yang tidak mengalami kebocoran adalah 7AB4.

Dampak yang terjadi pada kebocoran gas SF<sub>6</sub> pada PMT yaitu tidak dapat meredam busur api dengan baik sehingga dapat merusak PMT bahkan peralatan yang lainnya, dan apabila busur api yang dihasilkan besar maka akan mengakibatkan ledakan dan kebakaran pada peralatan.

Penurunan tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT berpengaruh pada kecepatan busur api yang di hasilkan. Pada tekanan gas SF<sub>6</sub> yang belum dilakukan pengisian maka kecepatan busur api menjadi kecil sehingga busur api akan melambat sehingga busur api akan lama untuk diredam oleh tekanan gas SF<sub>6</sub>, hal tersebut dapat membahayakan peralatan bahkan dapat menimbulkan kebakaran dan ledakan. Sedangkan pada PMT yang telah dilakukan pengisian gas SF<sub>6</sub> nilai tekanannya akan naik sehingga penurunan kecepatan busur apinyapun akan lebih tinggi sehingga busur api akan cepat untuk di redam oleh gas SF<sub>6</sub>.

Hubungan antara tekanan gas dengan tegangan tembus dapat dilihat dengan menggunakan metode interpolasi sehingga dapat dilihat bagaimana letak titik tertinggi dan terendah pada masing-masing kompartemen dan masing-masing fasa. Pada PMT yang memiliki tekanan gas yang rendah terdapat pada PMT kompartemen GM23 fasa R dengan nilai tekanan sebelum pengisian gas sebesar 4,1 kgf/cm<sup>2</sup> dan setelah pengisian bernilai 4,9 kgf/cm<sup>2</sup>, pada kompartemen tersebut terletak pada titik grafik paling bawah dan hanya mampu menahan tegangan tembus yang bernilai rendah sebesar 119,71 kV pada saat sebelum pengisian gas dan 140,28 kV setelah pengisian gas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Iman Setiono, " Gas SF<sub>6</sub> (Sulfur Hexafluorida) Sebagai Pemadam Busur Api Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Saluran Transmisi Tegangan Tinggi " Juni 2017 Vol.13 (12) :1-6
- [2] PT. PLN (Persero), "Buku Pedoman Pemeliharaan Gas Insulated (GIS)" p.83, 2014.
- [3] Yulistiawan, Bachtiar Hasan, Hasbuloh, "Analisis Penggunaan Gas SF<sub>6</sub> Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Cigereleng" Vol, No.2 (2012)
- [4] Arif Georitno, Syofyan Rasiman, Zaky Komara, "Kinerja Pemutus Tennaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF<sub>6</sub> Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri" EECCIS Vol 12, No.2 Oktober 2018.
- [5] S. Robaga, A. Setyo, I. Samsu, dan E. Al, "Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga" PT.PLN, pp. 1-61, 2009.
- [6] Royden Zulfai Hutapea, "Condition Assesment Gas SF<sub>6</sub> GIS 150 kV Glugur Medan" Desember 2012.
- [7] Rizma Kharizmawati, "SPLN 1.1995 Tegangan Standar" 31 Maret 2017.
- [8] Didik Aribowo, "Analisis Hasil Uji PMT 150 kV Pada Gardu Induk Cilegon Baru BAY KS 1" 15 Agustus 2019.
- [9] Alfianto Rico, "Evaluasi Penggunaan Pemutus Tenaga (PMT) Pada Gardu Induk Sungai Juaro Palembang" 2015.
- [10] Hendrayani Yani, Lia Novitasari, Rahmat Triadmojo, Mailina, M. Mahwari, "Gas Circuit Breaker (GCB) Dengan Media Gas SF<sub>6</sub>" 2 Oktober 2014.
- [11] Jhony, "Pengaruh Busur Api Terhadap Kekuatan Dielektrik Gas SF<sub>6</sub>" 2011.