

Evaluasi Kualitas Gas SF₆ pada Gas *Insulated Switchgear* Setelah Revitalisasi Studi Kasus pada PT.PLN (PERSERO) GIS SIMPANG

Mario Jamal¹ dan Sri Artini²
^{1,2}Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Raya Kaligawe KM. 4 Semarang 50112
Jamalmarid0@gmail.com

Abstrak - Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas revitalisasi pada Gas Insulated Switchgear (*Gas Insulated Switchgear (GIS)*) Simpang milik PT. PLN (Persero) dengan fokus pada kualitas gas SF₆. Selain kemurnian, parameter lain seperti kadar air (*moisture content*), titik embun (*dew point*), dan kandungan produk dekomposisi juga dianalisis. Hasil pengujian kualitas gas SF₆ sebelum dan sesudah revitalisasi dibandingkan dengan standard, kemudian dianalisis menggunakan uji statistik non-parametrik Mann-Whitney. Analisis statistik menunjukkan hasil yang sangat signifikan ($p < 0,001$) untuk semua parameter yang diuji, yaitu kemurnian, kadar air, titik embun, dan kandungan produk dekomposisi. Nilai U yang sangat kecil pada semua parameter mengindikasikan adanya perbedaan yang sangat signifikan antara kondisi gas sebelum dan sesudah revitalisasi. Hal ini membuktikan bahwa proses revitalisasi telah berhasil meningkatkan kemurnian gas SF₆, menurunkan kadar air dan titik embun, serta mengurangi kandungan produk dekomposisi secara signifikan. Peningkatan kualitas gas SF₆ secara menyeluruh ini berimplikasi langsung pada peningkatan kinerja isolasi *Gas Insulated Switchgear (GIS)*, sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem dan memperpanjang umur pakai peralatan.

Kata kunci : Gas SF₆, Kualitas Gas, Revitalisasi, Uji Mann Whitney

Abstract - This research aims to evaluate the effectiveness of revitalization of the Gas Insulated Switchgear (*Gas Insulated Switchgear (GIS)*) Simpang owned by PT. PLN (Persero) with a focus on SF₆ gas quality. Apart from purity, other parameters such as moisture content, dew point and decomposition product content are also analyzed. The results of SF₆ gas quality testing before and after revitalization were compared with standards, then analyzed using the Mann-Whitney non-parametric statistical test. Statistical analysis showed highly significant results ($p < 0.001$) for all parameters tested, namely purity, water content, dew point, and decomposition product content. The very small U values for all parameters indicate a very significant difference between the gas conditions before and after revitalization. This proves that the revitalization process has succeeded in increasing the purity of SF₆ gas, reducing the water content and dew point, and significantly reducing the content of decomposition products. This overall improvement in SF₆ gas quality has direct implications for improving Gas Insulated Switchgear (*GIS*) insulation performance, thereby increasing system reliability and extending equipment life.

Key Word : SF₆ Gas, Gas Quality, Revitalization, Mann Whitney Test

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik dibutuhkan oleh setiap manusia dalam kehidupan di era modern sekarang ini, yaitu untuk keperluan sosial, ekonomi dan kebutuhan sehari-hari. Sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dibidang bisnis ketenagalistrikan di Indonesia, PT. PLN (Persero) bertanggung jawab untuk dapat memastikan listrik tersalurkan merata ke seluruh konsumen. Dalam upaya memastikan listrik dapat tersalurkan secara aman, andal, dan akrab. Maka diperlukan sebuah sistem penyaluran yang bisa diandalkan.

Untuk menyalurkan listrik dari pembangkit ke konsumen melewati 3 tahap, yaitu Pembangkitan, Saluran Transmisi, dan Saluran distribusi. Saluran Transmisi sendiri memiliki asset jaringan berupa Tower dan Gardu Induk sebagai persimpangan jalur. Gardu induk sendiri ada yang dikenal dengan Gardu induk Konvensional yang menggunakan udara

sebagai isolasi dan gardu induk *Gas Insulated Switchgear (GIS)* yang memanfaatkan gas SF₆ sebagai media isolasinya.

Gas Insulated Switchgear (Gas Insulated Switchgear (GIS)) adalah gardu listrik yang menggunakan gas SF₆ sebagai media isolasinya, *Gas Insulated Switchgear (GIS)* memiliki berbagai macam komponen, dimana komponen – komponen tersebut memiliki fungsi dan tugas masing – masing dalam kerja *Gas Insulated Switchgear (GIS)* [1]. Beberapa komponen umum yang ada pada *Gas Insulated Switchgear (GIS)* antara lain adalah : Pemutus Tenaga (*Circuit breaker*), Saklar Pemisah (*Disconnecting switch*), Saklar Pembumian (*Earthing switch*), Trafo arus (*Current transformer*), Trafo Tegangan (*Voltage transformer*), Rel Daya (*Busbar*), Sambungan kabel (*Cable connection*), Panel kontrol (*Control panel*). Selain itu *Gas Insulated Switchgear (Gas Insulated Switchgear (GIS))* dapat dibedakan dalam beberapa klasifikasi umum yaitu :

Berdasarkan jumlah fasa per tabung, yaitu *Gas Insulated Switchgear (GIS)* dengan satu fasa per tabung atau *Gas Insulated Switchgear (GIS)* dengan tiga fasa per tabung. Berdasarkan lokasi instalasi, yaitu *Gas Insulated Switchgear (GIS)* dengan instalasi indoor atau *Gas Insulated Switchgear (GIS)* dengan instalasi outdoor dan *Gas Insulated Switchgear (GIS)* bergerak (mobile) kemudian Berdasarkan jenis penggerak, yaitu penggerak motor, hydraulic, pneumatic, dan spring.

Hingga saat ini banyak gas SF₆ di pakai di seluruh dunia sebagai media isolasi dalam sistem kelistrikan dikarenakan sifat gas SF₆ sebagai penghantar panas (thermal conductivity) yang bersifat dapat mendisipasikan panas pada peralatan, isolasi yang sangat baik, mampu memadamkan busur api, stabil dan tidak mudah bereaksi. Sifat dielektrik yang bagus pada SF₆ karena luasnya penampang molekul SF₆ dan sifat electron affinity.

Namun, seiring dengan berjalannya waktu, kualitas gas SF₆ di dalam *Gas Insulated Switchgear (GIS)* dapat menurun akibat berbagai faktor seperti adanya kebocoran, kontaminasi, atau terjadinya partial discharge. Penurunan kualitas gas SF₆ ini dapat berdampak negatif pada kinerja *Gas Insulated Switchgear (GIS)*, meningkatkan risiko terjadinya gangguan, dan mengurangi umur pakai peralatan. Adapun hal hal yang menjadi titik ukur untuk menentukan kualitas dari SF₆ itu sendiri ada beberapa point antara lain untuk *purity*, *dew point* (moisture content), *decomposition product* dan tekanan gas SF₆ itu sendiri. Kualitas gas SF₆ di tiap paramaternya harus tetap dijaga dan dilakukan pengecekan secara rutin, karena jika terdapat salah satu parameter yang memiliki nilai yang jauh diatas standar, maka kualitas gas SF₆ tersebut dapat menurun dan dapat membahayakan peralatan listrik jika dibiarkan. Dengan penggunaan gas SF₆ terus-menerus dan *Gas Insulated Switchgear (GIS)* selalu bekerja juga mampu menurunkan kualitas gas SF₆.

Revitalisasi *Gas Insulated Switchgear (GIS)* merupakan upaya untuk mengembalikan kondisi *Gas Insulated Switchgear (GIS)* ke kondisi semula atau bahkan lebih baik. Proses revitalisasi biasanya meliputi pembersihan komponen, penggantian komponen yang rusak, dan penGas *Insulated Switchgear (GIS)*ian ulang gas SF₆. Setelah proses revitalisasi, penting untuk dilakukan evaluasi terhadap kualitas gas SF₆ untuk memastikan bahwa *Gas Insulated Switchgear (GIS)* telah berfungsi dengan baik dan aman selain itu juga memastikan keefektifan revitalisasi.

Gas Insulated Switchgear (GIS) Simpang sebagai salah satu instalasi penting dalam sistem tenaga listrik, merupakan penyuplai utama di pusat kota surabaya memerlukan perhatian khusus dalam hal pemeliharaan dan perawatan. *Gas Insulated Switchgear (GIS)* Simpang memiliki 2 trafo dengan kapasitas 60 MVA. Umur *Gas Insulated Switchgear (GIS)* Simpang yang hampir menginjak lebih dari 22 tahun yang tergolong sangat tua, kemudian juga persoalan - persoalan yang terjadi sebelum revitalisasi seperti kondisi gas SF₆ yang kian memburuk. Momen setelah pelaksanaan revitalisasi menjadi momen yang penting apakah kualitas gas SF₆ setelah revitalisasi sesuai dengan standard. Untuk itu perlu dilakukan pengujian Uji - Mann Whitney untuk melihat seberapa efektif pelaksanaan revitalisasi. Sehingga, evaluasi kualitas gas SF₆ pada *Gas Insulated Switchgear (GIS)* Simpang setelah revitalisasi menjadi sangat penting

dilakukan untuk memastikan keandalan pasokan listrik dan mencegah terjadinya gangguan yang dapat berdampak luas.

II. STUDI PUSTAKA

Gas Insulated Switchgear (GIS) didefinisikan sebagai rangkaian beberapa peralatan yang terpasang di dalam sebuah metal enclosure dan diisolasi dengan gas bertekanan, pada umumnya gas yang digunakan adalah Sulfur Hexafluoride (SF₆) [6]. *Gas Insulated Switchgear (GIS)* mempunyai umur seperti halnya masa hidup manusia di bumi. Banyak yang beranggapan bahwa *Gas Insulated Switchgear (GIS)* bebas pemeliharaan yang dikenal juga dengan istilah "*Free Maintenance*". Akan tetapi anggapan itu salah karena setiap peralatan pasti akan mengalami penuaan (*ageing*) sehingga perlu dilakukan perawatan dan pemeliharaan di mana khusus untuk *Gas Insulated Switchgear (GIS)* periode dan item pemeliharaan lebih sedikit "*Less Maintenance*" dibandingkan dengan peralatan konvensional yang lain. Hal ini bertujuan untuk menjamin kesiapan setiap peralatan *Gas Insulated Switchgear (GIS)* sehingga kontinuitas dan keandalan penyaluran tenaga listrik dapat terjamin. Parameter kualitas gas SF₆ yang umum dilakukan pengukuran dan pengujian diantaranya *purity*, *dew point* (moisture content) dan *decomposition product*. Pengujian tersebut dilakukan untuk mempertahankan performance peralatan dan mengetahui hasil pengujian semua komponen yang ada dalam kompartemen *Gas Insulated Switchgear (GIS)*.

A. Purity (Kemurnian)

Purity dinyatakan dengan prosentase jumlah gas SF₆ murni dalam suatu kompartemen *Gas Insulated Switchgear (GIS)*. Semakin tinggi presentase ini maka semakin sedikit zat lain dalam isolasi gas SF₆. Untuk metode dilihat pada gambar di bawah. [6]

B. Decomposition Product

Decomposition Product (Produk hasil dekomposisi) terjadi karena ketidaksempurnaan pembentukan kembali gas SF₆. Hal ini dapat terjadi karena adanya pemanasan berlebih, percikan listrik dan busur daya [7]. jika *decomposition product* ini terjadi di dalam jumlah yang besar, maka kekuatan dielektrik dari isolasi gas SF₆ akan mengalami penurunan. [6]

C. Moisture Content

Pengujian *Moisture Content* (kadar uap air) dilakukan untuk mengukur jumlah kadar uap air yang terdapat pada kompartemen. Kondensasi uap air di dalam kompartemen dapat mengurangi efektivitas isolasi gas SF₆. Standar kadar uap airmengacu pada standar yang ditetapkan oleh pabrikan atau standar internasional jika standar pabrikan tidak tersedia[6].

D. Dew Point

Titik embun adalah titik dimana gas terpengaruh oleh kondisi suhu lingkungan hingga berubah menjadi air. Hal ini terkait dengan tingkat kelembaban gas SF₆, yaitu berapa banyak partikel air yang terkandung dalam isolasi gas SF₆. Semakin rendah suhu maka semakin tinggi kandungan uap air yang berada didalamnya [1].

Titik embun suatu gas dipengaruhi oleh tekanan dan suhu. Titik ini dapat disalahpahami ketika membandingkan titik embun di dalam wadah dengan titik embun yang diukur

pada tingkat tekanan yang berbeda. Kehadiran kelembaban dalam suatu gas merupakan faktor penting yang mempengaruhi titik embun dan proses kondensasi [8].

Revitalisasi bertujuan untuk mengembalikan kondisi *Gas Insulated Switchgear* (GIS) ke kondisi semula atau bahkan lebih baik, sehingga dapat beroperasi secara optimal dan aman. Proses revitalisasi meliputi pembongkaran, pembersihan, penggantian komponen yang rusak, pengisian ulang gas SF₆, dan pengujian. Proses revitalisasi dapat memengaruhi kualitas gas SF₆, terutama jika terjadi peningkatan kelembaban atau kontaminasi dari lingkungan selama perawatan. Oleh karena itu, evaluasi kualitas SF₆ setelah revitalisasi sangat penting untuk memastikan bahwa *Gas Insulated Switchgear* (GIS) tetap berfungsi dengan aman dan efisien.

Evaluasi bertujuan untuk mengetahui kondisi gas SF₆ dan memastikan bahwa gas tersebut masih memenuhi persyaratan teknis.

Tabel 1. Standard Kualitas Gas SF₆

<i>Parameter</i>	Standar Internasional	Conditions / Limits
<i>Purity (%)</i>	IEC 60376:2005	≥ 99,7%
<i>Dew Point (°C)</i>	CIGRE 234, 2003	Suhu 20 °C ≤ -5 °C
<i>Moisture content (ppmv)</i>	IEEE Std C37.122.1- 2014	≤ 610 ppmv (non-CB) ≤ 350 ppmv (CB)
<i>Tekanan Gas SF₆ (Bar Rel)</i>	GANZ	620 KPa (CB) 340 KPa (Non CB)
<i>Produk dekomposisi</i>	CIGRE 234- 2003	Kontaminasi Rendah: 1000 – 2000 ppmv Kontaminasi Tinggi: ≥ 2000 ppmv

Analisis Statistik adalah proses mengolah data numerik yang diperoleh dari pengukuran kualitas gas SF₆ sebelum dan sesudah revitalisasi, kemudian menganalisis data tersebut menggunakan metode statistik untuk menarik kesimpulan yang valid dan objektif.

Didalam pelaksanaannya akan dilakukan Uji - Mann Whitney dengan SPSS yang dimana Uji Mann-Whitney adalah metode yang sangat berguna untuk mengevaluasi efektivitas proses revitalisasi gas SF₆. Dengan menggunakan uji ini, dapat secara statistik membuktikan apakah proses revitalisasi telah berhasil meningkatkan kualitas gas SF₆.

Dalam uji Mann-Whitney, membandingkan dua kelompok independen untuk melihat apakah ada perbedaan signifikan di antara keduanya. Hasil uji ini memberikan dua nilai penting:

- Nilai U: Nilai ini menggambarkan perbedaan antara kedua kelompok. Semakin kecil nilai U, semakin besar potensi perbedaan antara kedua kelompok.
- Nilai p (Asymp. Sig.): Nilai ini menunjukkan seberapa mungkin hasil yang kita dapatkan terjadi secara kebetulan jika sebenarnya tidak ada perbedaan antara kedua kelompok.

Untuk mengambil keputusan, membandingkan nilai p dengan nilai signifikansi yang telah ditentukan (0,05):

- Jika nilai p kurang dari 0,05: Ini berarti hasil yang didapatkan sangat tidak mungkin terjadi jika tidak ada perbedaan antara kelompok. Oleh karena itu, menolak hipotesis nol dan menyimpulkan bahwa ada perbedaan signifikan antara kedua kelompok.
- Jika nilai p lebih besar dari 0,05: Ini berarti hasil yang didapatkan masih mungkin terjadi meskipun tidak ada perbedaan antara kelompok. Oleh karena itu, gagal menolak hipotesis nol dan menyimpulkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara kedua kelompok.

III. MODEL PENELITIAN

Untuk mendapatkan perumusan, analisis, serta pemecahan masalah, diperlukan proses pengumpulan data yang lengkap, detail, dan relevan. Oleh sebab itu, penelitian ini disusun menggunakan beberapa metode berikut ini:

A. Studi Pustaka

Metode yang dilakukan dengan mencari literatur buku perpustakaan, skripsi terdahulu, serta jurnal ilmiah yang dapat dijadikan panduan yang sebelumnya sudah dilakukan tinjauan pustaka sehingga bisa menjadi referensi yang relevan dalam penulisan proyek akhir ini.

B. Metode Komparatif

Melakukan pendekatan yang sangat relevan untuk mengevaluasi perubahan kualitas gas SF₆ pada Gas Insulated Switchgear (GIS) Simpang sebelum dan setelah revitalisasi. Metode ini memungkinkan kita untuk membandingkan data sebelum dan sesudah perlakuan, sehingga dapat disimpulkan secara objektif apakah revitalisasi telah memberikan dampak yang signifikan terhadap kualitas gas SF₆.

C. Uji - Mann Wheatney

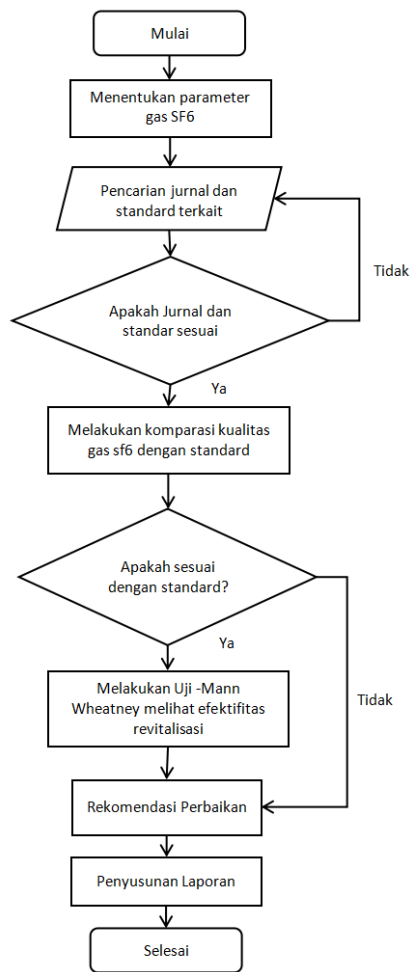
Melakukan metode statistik yang sangat berguna untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara dua kelompok data. Dalam konteks evaluasi kualitas gas SF₆ pada Gas Insulated Switchgear (GIS) Simpang sebelum dan setelah revitalisasi, uji mann whitney dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan apakah proses revitalisasi telah memberikan dampak yang signifikan terhadap kualitas gas SF₆.

D. Konsultasi

Konsultasi yang dilakukan dengan cara berdiskusi dengan penanggung jawab pekerjaan, supervisor, dan team pemeliharaan gardu induk mengenai masalah yang diteliti.

E. Diagram Alir

Diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan diperlihatkan pada gambar berikut:



Proses Pengolahan data Statistik Uji Mann-Whitney dengan SPSS

Untuk Melakukan proses pengolahan data statistik dengan Uji Mann-Whitney di perlukan beberapa bahan :

- Laptop yang sudah terinstal apk SPSS
- Data Kualitas gas SF6 sebelum revitalisasi (*purity, moisture content, dew point & decomposition product*)
- Data Kualitas gas SF6 sesudah revitalisasi (*purity, moisture content, dew point & decomposition product*)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari observasi yang telah dilakukan pada saat dilapangan atau di lingkungan Gas Insulated Switchgear (GIS) 150 kV Simpang diperoleh beberapa data mengenai pengujian Kualitas Gas SF6 Sebelum dan setelah di revitalisasi. Data yang diperoleh kemudian di evaluasi terkait apakah sudah sesuai dengan standard dan tingkat keberhasilan revitalisasi apakah revitalisasi memberikan dampak yang signifikan terhadap kualitas Gas SF6 melalui analisis statistik Uji - Mann Whitney. Pada bab ini memaparkan sebuah data pengujian kualitas Gas SF6 dan analisis statistik.

A. Asessment Kulit Gas SF6 Sebelum Revitalisasi

Tabel 2. Kualitas Gas SF6 sebelum Revitalisasi

BAY	KOMPARTEMEN	PHASA	DILO ANALYZER				TEKANAN GAS SF6 (Bar)
			Purity (%)	Moisture content	Dew Point °C @atm.p	SO2	
NGAGEL 1	PMT	R	99,5	192	-36,3	1,3	6,42
		S	99,4	152	-38,4	1,4	6,48
		T	99,9	193	-36,3	0	6,5
	CT BUS, PMS BUS A	R	99	3212	-7,5	2,8	3,69
		S	98,8	3202	-7,6	2,7	3,68
		T	98,9	3410	-6,8	3,1	3,58
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	98,8	2811	-9,1	1,9	3,74
		S	98,4	2945	-8,5	2,1	3,73
		T	97	3134	-7,8	3,9	3,27
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	97,5	2045	-12,6	1,9	3,62
		S	98,6	1902	-13,4	1,5	3,6
		T	99,7	1620	-15,2	0	3,95
NGAGEL 2	PMT	R	99,4	526	-26,8	1,3	6,36
		S	99,8	377	-30	0	5,74
		T	99,9	359	-30,5	0	5,97
	CT BUS, PMS BUS A	R	99	3279	-7,3	3,8	3,65
		S	99,1	3192	-7,6	2	3,66
		T	99	3384	-6,9	3	3,42
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	98,1	2951	-8,5	3,7	3,64
		S	97,3	2916	-8,6	1,9	3,5
		T	99,2	29950	-8,5	1	3,72
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	97,9	2101	-12,3	2,3	3,35
		S	97,6	1985	-12,9	2,7	3,6
		T	97,6	2015	-12,8	2,2	3,64
TRAFO 1	PMT	R	99,4	275	-33	1,1	6,41
		S	99,5	160	-38	1,3	6,44
		T	99,6	222	-35	1,2	6,42
	CT BUS, PMS BUS A	R	97,1	3354	-7	5,7	3,28
		S	96,2	3354	-7	6,4	3,48
		T	96	3396	-6,9	5,2	34,9
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	98,7	3037	-8,2	1,3	3,5
		S	98,7	2651	-9,7	1,1	3,65
		T	98	2573	-10,1	3,1	3,71
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	98,3	2734	-9,4	2	3,63
		S	97,8	2833	-9	2,6	3,56
		T	98,1	2695	-9,5	3,6	3,41
TRAFO 2	PMT	R	99,8	174	-37,2	0	6,63
		S	99,4	272	-33,1	1,5	6,39
		T	99,9	133	-39,6	0	6,7
	CT BUS, PMS BUS A	R	98,8	3249	-7,4	3,8	3,63
		S	98,7	2912	-8,7	3,6	3,6
		T	99,2	3167	-7,7	2,3	3,59
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99,8	1526	-15,8	0	3,03
		S	96,9	3334	-7,1	2,8	3,33
		T	96,8	3131	-7,8	4,1	3,32
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	99,8	2429	-10,7	0	3,58
		S	99,3	2114	-12,7	0	3,41
		T	99,7	2151	-12,1	0	3,49
KOPEL	PMT	R	99,3	122	-40,4	1,4	6,42
		S	99,5	89	-43,1	1,4	6,34
		T	99,1	82	-43,8	3,9	6,42
	CT BUS, PMS BUS A	R	98,2	3558	-6,4	3	3,6
		S	98,2	3506	-6,5	2,4	3,71
		T	98,4	3427	-6,8	3,4	3,71
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	97,4	3133	-7,8	3,2	3,51
		S	98,7	3077	-8	0	3,74
		T	97,6	3174	-7,7	2,7	3,76
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	99,6	2010	-12,8	0	3,66
		S	99,1	2369	-11	0	3,67
		T	97,9	1188	-11,3	3,5	3,55

Hasil Tabel 1 di dapatkan data standard pengujian dan juga hasil asesment pada kualitas gas SF6 sebelum revitalisasi, pada bagian ini dijelaskan Kondisi keseluruhan kompartemen di *Gas Insulated Switchgear (GIS)* Simpang, mulai dari bay line ngagel 1, bay line ngagel 2, bay trafo 1, bay trafo 2 dan bay kopel. Kemurnian gas SF6 secara keseluruhan mengalami penurunan kemurnian bahkan pada kompartemen bay trafo 1 mengalami penurunan kemurnian yang signifikan sampai pada 96% hal ini tentu menjadi kekhawatiran akan kondisi kemurnian peralatan di *Gas Insulated Switchgear (GIS)* Simpang. Penurunan kemurnian pada beberapa titik, yang disebabkan oleh kontaminasi atau reaksi kimia dengan komponen lain dalam sistem. Untuk moisture content pada sebagian besar titik pengukuran mengalami pemburukan tidak sesuai dengan standard. Pemburukan moisture content, terutama pada bay ngagel 2 kompartemen CT Bus, PMS Bus A,

PMS Bus B, PMS Ground Pengapit atas, CT line, PMS line, PMS Ground dan Sealing end. Peningkatan kadar air dapat mengindikasikan adanya kebocoran atau kondensasi di dalam peralatan, hal ini di buktikan dengan penurunan tekanan gas pada CT Bus, PMS Bus A, PMS Bus B, PMS Ground Pengapit atas, CT line, PMS line, PMS Ground dan Sealing end.

Untuk dew point sesuai secara standard normal tetapi dengan suhu lingkungan di sekitar *Gas Insulated Switchgear (GIS)* Simpang lebih besar yakni 30 derajat dew point menjadi warning ketika menyentuh -30 derajat. Dew Point pada keseluruhan menjadi warning karena tingginya dew point menunjukkan bahwa kandungan uap air dalam gas SF6 masih relatif tinggi dan tidak memenuhi standar yang direkomendasikan. Kondisi ini dapat menimbulkan berbagai akibat negatif pada peralatan penurunan kekuatan dielektrik, korosi dan pembentukan produk sampingan yang korosif dan berbahaya. SO2 pada tabel di atas secara standard masi di katakan normal idealnya nilai SO2 adalah 0 artinya ketika ada nilai pada SO2 memberikan warning pada keseluruhan peralatan CT Bus, PMS Bus A, PMS Bus B, PMS Ground Pengapit atas, CT line, PMS line, PMS Ground dan Sealing end.

B. Asessment Kualitas Gas SF6 Sesudah Revitalisasi

Tabel 3. Kualitas Gas SF6 sebelum Revitalisasi

BAY	KOMPARTEMEN	PHASA	DILO ANALYZER				TEKANAN GAS SF6
			Purity (%)	Moisture Content	Dew Point	SO2	
NGAGEL 1	PMT	R	99,9%	68	-45,4	0	6,37
		S	99,9%	60	-45	0	6,27
		T	99,9%	57	-46,9	0	6,52
	CT BUS, PMS BUS A	R	99,9%	27	-52,8	0	3,4
		S	99,9%	20	-55	0	3,33
		T	99,9%	20	-55	0	3,33
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99,9%	27	-52,6	0	3,37
		S	99,9%	20	-53,9	0	3,38
		T	99,9%	20	-55	0	3,45
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	99,9%	20	-55	0	3,28
		S	99,9%	20	-55	0	3,4
		T	99,9%	20	-55	0	3,47
NGAGEL 2	PMT	R	99,9%	210	-35,5	0	6,35
		S	99,9%	121	-40,5	0	6,39
		T	99,9%	120	-42,9	0	6,39
	CT BUS, PMS BUS A	R	99,9%	39	-55	0	3,34
		S	99,9%	65	-55	0	3,32
		T	99,9%	157	-54,6	0	3,15
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99,9%	141	-39,1	0	3,25
		S	99,9%	95	-42,6	0	3,4
		T	99,9%	85	-43,5	0	3,45
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	99,9%	65	-52,9	0	3,44
		S	99,9%	53	-55	0	3,36
		T	99,9%	46	-55	0	3,44
TRAFO 1	PMT	R	99,9%	97	-42,4	0	6,45
		S	99,9%	90	-43	0	6,44
		T	99,9%	58	-46,8	0	6,44
	CT BUS, PMS BUS A	R	99,9%	39	-50	0	3,31
		S	99,9%	28	-52,5	0	3,31
		T	99,9%	26	-53,1	0	3,34
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99,9%	46	-48,6	0	3,37
		S	99,9%	71	-45	0	3,33
		T	99,9%	55	-47,1	0	3,35
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	99,9%	40	-49,7	0	3,42
		S	99,9%	28	-52,5	0	3,41
		T	99,9%	28	-52,7	0	3,42
TRAFO 2	PMT	R	99,9%	73	-44,8	0	6,43
		S	99,9%	69	-45,2	0	6,32
		T	99,9%	65	-45,8	0	6,42
	CT BUS, PMS BUS A	R	99,9%	20	-55	0	3,3
		S	99,9%	20	-55	0	3,18
		T	99,9%	21	-54,6	0	3,36
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99,9%	31	-51,8	0	3,36
		S	99,9%	31	-51,6	0	3,34
		T	99,9%	35	-50,7	0	3,29
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	99,9%	27	-52,9	0	3,42
		S	99,9%	20	-55	0	3,39
		T	99,9%	20	-55	0	3,42
KOPEL	PMT	R	99,9%	57	-46,9	0	6,33
		S	99,9%	62	-46,1	0	6,4
		T	99,9%	65	-45,8	0	6,29
	CT BUS, PMS BUS A	R	99,9%	27	-50,6	0	3,46
		S	99,9%	20	-54,1	0	3,2
		T	99,9%	20	-55	0	3,37
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99,9%	36	-50,6	0	3,46
		S	99,9%	23	-54,1	0	3,47
		T	99,9%	20	-55	0	3,35
	CT Line, PMS Line, PMS Ground (Pengapit bawah, line), Sealing End	R	99,9%	30	-52	0	3,43
		S	99,9%	25	-53,4	0	3,4
		T	99,9%	28	-52,5	0	3,43

Pada tabel di atas didapatkan data standard pengujian dan juga hasil asesment pada kualitas gas SF6 sesudah revitalisasi, pada bagian ini dijelaskan Kondisi keseluruhan kompartemen di *Gas Insulated Switchgear (GIS)* Simpang, mulai dari bay line ngagel 1, bay line ngagel 2, bay trafo 1, bay trafo 2 dan bay kopel. Untuk kemurnian Gas SF6 setelah revitalisasi hampir semua data menunjukkan kemurnian gas SF6 99,9%. Ini adalah indikator yang baik bahwa gas SF6 dalam kondisi baik dan tidak terkontaminasi secara signifikan. Kondisi Moisture Content (Kandungan uap air) bervariasi secara signifikan antar kompartemen dan bay. Beberapa nilai sangat rendah (pada Ngagel 1 kompartemen CT BUS, PMS BUS A Phasa S,T sebesar 20 ppmv 20), sementara yang lain cukup tinggi (Pada bay Ngagel 2 kompartemen PMT sebesar 210). Nilai kandungan uap air yang tinggi perlu diinvestigasi lebih lanjut karena dapat mempengaruhi kinerja isolasi gas SF6.

Titik embun juga bervariasi, dengan beberapa nilai di bawah -50°C (sangat baik) dan yang lainnya di atas -30°C (perlu perhatian). Nilai titik embun yang tinggi menunjukkan potensi masalah kelembaban dalam peralatan. Hampir semua data menunjukkan kandungan SO2 adalah Ini adalah indikator yang baik karena SO2 adalah produk sampingan yang tidak diinginkan dalam gas SF6 dan dapat menunjukkan adanya masalah. Secara umum, data menunjukkan bahwa gas SF6 dalam kondisi baik dengan tingkat kemurnian yang tinggi dan kandungan SO2 yang rendah. Namun Beberapa nilai Moisture Content (kandungan uap air) dan dew point (titik embun) yang tinggi memerlukan perhatian khusus.

C. Analisis Statistik Uji - Mann Whiatney efektifitas proses revitalisasi di dalam meningkatkan kinerja Gas Insulated Switchgear (GIS)

Analisis Statistik ini melihat apakah proses revitalisasi berhasil meningkatkan kualitas gas SF6 dan memenuhi standard yang di tetapkan. Didalam Pelaksanaan nya indikator yang di uji adalah purity, moisture content, dew point dan decomposition product.

1. Uji Mann Whitney Purity

Tabel 4. Test Statistik Purity

Test Statistics	
Peningkatan Nilai Purity	
Mann-Whitney U	90.000
Z	-9.706
Asymp. Sig. (2-tailed)	<.001

Berdasarkan tabel test statistik dengan Uji Mann-whitney Nilai statistik U Mann-Whitney adalah 90.000. Nilai ini menunjukkan seberapa besar perbedaan antara kedua kelompok data. Semakin kecil nilai U, semakin besar perbedaan antara kedua kelompok. Nilai Z adalah skor standar yang menunjukkan seberapa jauh nilai U dari rata-rata distribusi. Dalam hal ini, Z = -9.706. Nilai negatif menunjukkan bahwa kelompok 2 (sesudah revitalisasi) memiliki nilai yang lebih tinggi (kemurnian lebih baik) daripada kelompok 1 (sebelum revitalisasi). Didalam mengambil keputusan, membandingkan nilai P (Asymp.Sig (2-tailed)) dengan taraf signifikansi yang telah ditentukan sebesar 5% atau 0,05, pada test statistik didapatkan nilai dari nilai P (Asymp.Sig (2-tailed)) adalah

$<0,001$ artinya kecil dari 0,05 berarti menolak hipotesis nol atau menyatakan bahwa ada perbedaan signifikan antara kedua kelompok. Kemudian nilai probabilitas P (Asymp.Sig (2-tailed)) juga kecil dari 0,05 yakni $<0,001$ menunjukkan kemungkinan mendapatkan hasil seperti ini secara kebetulan sangat tidak mungkin terjadi jika sebenarnya tidak ada perbedaan antara kedua kelompok.

2. Uji Mann Whitney Moisture Content

Tabel 5. Test Statistik Moisture Content
Test Statistics^a

Penurunan Moisture	
Mann-Whitney U	29.000
Z	-9.303
Asymp. Sig. (2-tailed)	$<,001$

Pada data diatas nilai mann-whitney U (1092.000) nilai ini relatif tinggi, namun perlu diingat bahwa nilai ini dapat bervariasi tergantung pada ukuran sampel dan distribusi data. Nilai Z (-3.721) nilai Z yang sangat negatif menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, menunjukkan bahwa rata-rata peringkat untuk kelompok "sebelum revitalisasi" lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok "sesudah revitalisasi". Artinya, titik embun sebelum revitalisasi memang lebih tinggi. Nilai Asymp. Sig. (2-tailed) $< 0,001$ Nilai p yang sangat kecil ini mengindikasikan bahwa probabilitas untuk mendapatkan hasil seperti ini sangat rendah. Berdasarkan hasil uji statistik di atas, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan dalam penurunan titik embun sebelum dan setelah proses revitalisasi. Artinya, proses revitalisasi berhasil menurunkan titik embun secara signifikan.

3. Uji Mann Whitney Dew Point

Tabel 6. Test Statistik Dew Point
Test Statistics

Penurunan dew point	
Mann-Whitney U	1092.000
Z	-3.721
Asymp. Sig. (2-tailed)	$<,001$

Pada data diatas nilai mann-whitney U (1092.000) nilai ini relatif tinggi, namun perlu diingat bahwa nilai ini dapat bervariasi tergantung pada ukuran sampel dan distribusi data. Nilai Z (-3.721) nilai Z yang sangat negatif menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, menunjukkan bahwa rata-rata peringkat untuk kelompok "sebelum revitalisasi" lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok "sesudah revitalisasi". Artinya, titik embun sebelum revitalisasi memang lebih tinggi. Nilai Asymp. Sig. (2-tailed) $< 0,001$ Nilai p yang sangat kecil ini mengindikasikan bahwa probabilitas untuk mendapatkan hasil seperti ini sangat rendah. Berdasarkan hasil uji statistik di atas, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan dalam penurunan titik embun sebelum dan setelah proses revitalisasi. Artinya, proses revitalisasi berhasil menurunkan titik embun secara signifikan.

4. Uji Mann Whitney Decomposition Product (SO2)

Tabel 7. Test Statistik Decomposition Product (SO2)

Test Statistics^a

Penurunan Decomposition Product	
Mann-Whitney U	390.000
Z	-8.408
Asymp. Sig. (2-tailed)	$<,001$

Nilai Mann-Whitney U (390.000) nilai ini memberikan informasi tentang peringkat relatif antara kedua kelompok. Meskipun nilai spesifiknya tidak memberikan interpretasi langsung, nilai ini digunakan untuk menghitung statistik uji lainnya. Nilai Z (-8.408) nilai Z yang sangat negatif ini menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok dan menunjukkan bahwa rata-rata peringkat untuk kelompok "sebelum revitalisasi" lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok "sesudah revitalisasi". Artinya, tingkat produk dekomposisi sebelum revitalisasi memang lebih tinggi. Nilai Asymp. Sig. (2-tailed) $< 0,001$ nilai p yang sangat kecil ini mengindikasikan bahwa probabilitas untuk mendapatkan hasil seperti ini secara kebetulan sangat rendah. Berdasarkan hasil uji statistik di atas, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan dalam penurunan produk dekomposisi sebelum dan setelah proses revitalisasi. Artinya, proses revitalisasi berhasil mengurangi jumlah produk dekomposisi secara signifikan.

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan evaluasi kualitas gas SF6 pada Gas Insulated Switchgear (GIS) dengan melakukan observasi, komparasi dan assessment kualitas gas sf6 sebelum dan sesudah revitalisasi kemudian dilakukan analisis statistik untuk melihat efektifitas revitalisasi di Gardu Induk Gas Insulated Switchgear (GIS) 150kV Simpang dapat ditarik kesimpulan Kualitas gas SF6 sesudah dilakukan revitalisasi sangat sesuai dengan standard. Hal ini di buktikan dengan metode komparatif bahwasanya nilai *purity*, *moisture content*, *dew point* maupun *decomposition product* dengan hasil assesment masing - masing kompartemen normal. Hasil assesment kualitas gas SF6 sesudah revitalisasi memberikan gambaran adanya penurunan tekanan gas SF6 pada pms busbar B fasa R bay kopel dan pms busbar a pada bay line ngagel 2 setelah dilakukan pengecekan belum diketahui titik kebocoran yang pasti, hal ini tentu harus dilakukan pengecekan berulang dan tindakan perbaikan yang dilakukan segera. Kualitas gas SF6 sebelum dan sesudah dilakukan revitalisasi terdapat perbedaan yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan analisis statistik uji mann whitney pada kemurnian (*purity*), *moisture content*, *dew point* maupun *decomposition product* nilai probabilitas nya sangat kecil yakni ($<0,001$) menunjukkan bahwa sangat tidak mungkin mendapatkan hasil seperti ini secara kebetulan jika tidak ada perbedaan yang sebenarnya antara kedua kelompok. Dengan kata lain, menolak hipotesis nol (yaitu tidak ada perbedaan) dan menyimpulkan bahwa ada perbedaan yang signifikan.

REFERENSI

- [1] Rahman azis prasojo,Devi soviati mahmudah,imron ridzki, muhammad fahmi hakim dan priya surya harijanto, "PENILAIAN KUALITAS GAS SF6 PADA *Gas Insulated Switchgear (GIS)*"TET 500/150 kV, "Elposy Jurnal Sistem Kelistrikan Vol.09No.3,ISSN:2407-232X, E-ISSN: 2407-2338, 2022.
- [2] Anis hani kurniawati, arfa mumtaza ghalya, ni cening nicky prasada gayatri, dwi januar dan kusnad, "PARAMETER GAS SF6 UNTUK CONDITION ASESMENT PADA *Gas Insulated Switchgear (GIS)*," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Volume 7 Tahun 2022*
- [3] Muhammad Ridwan, deni irawan "ANALISIS MOISTURE CONTENT DAN DEW POINT GAS SF6 PMT DI GITET PT. PLN (PERSERO) TRANSMISI JAWA BAGIAN TIMUR DAN BALI"Jtein:jurnal Teknik elektro indonesia Vol4,No.2,2023
- [4] Antonov Bachtiar,Tony Sudaryanto"EVALUASI KEANDALANPERALATAN *Gas Insulated Switchgear (GIS)* SIMPANG HARU PADANG"JTE-ITP ISSN NO.2252-3472.
- [5] Royden Zulfai Hutapea, Syahrawardi "CONDITION ASSESMENT GAS SF6 *Gas Insulated Switchgear (GIS)* 150 kV GLUGUR MEDAN"USU,MEDAN,2015.
- [6] PT.PLN (Persero), "Pedoman Pemeliharaan Gas Insulated Substation (*Gas Insulated Switchgear (GIS)*),"Pdm/Pgi/14:2014,2014.
- [7] IEEE Guide for Gas Insulated Substations IEEE Std C37.122.1 TM - 1993 (R2002)
- [8] CIGRE B3.02 Task Force 01 SF6 Recycling Guide Revision 2003
- [9] IKA.C30.TJBTB.GAS.02 "Instruksi Kerja Alat Pengukuran Kemurnian (Purity) Gas SF6 dengan Menggunakan DILO"PT.PLN (PERSERO) Unit Induk Transmisi Jawa bagian Timur dan Bali, Bidang Kontruksi dan Pemeliharaan Tahun 2016
- [10] IEC 60376, 2005 (Specification of technical grade sulfur hexafluoride SF6 for use in electrical equipment)
- [11] Muhid, A. (2019). Analisis statistik 5 langkah praktis analisis statistik dengan SPSS for Windows. Zifatama Jawara.