

Evaluasi Kualitas Gas SF₆ pada Gas Insulated Switchgear setelah Revitalisasi Studi Kasus pada PT.PLN (PERSERO) GIS Simpang

Mario Jamal¹, Sri Arttini Dwi Prasetyowati²

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, Semarang

Jl. Raya Kaligawe KM. 4 Semarang 50112

Jamalmarid0@gmail.com

Intisari — *Gas Insulated Switchgear (GIS)* merupakan komponen krusial dalam sistem transmisi tenaga listrik yang menggunakan gas SF₆ sebagai media isolasi. Seiring waktu, kualitas gas SF₆ dapat menurun akibat kebocoran, dekomposisi, kontaminasi, atau usia peralatan, yang berdampak negatif pada kinerja dan keandalan GIS. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas revitalisasi pada GIS Simpang milik PT. PLN (Persero) untuk mengatasi masalah pemburukan kualitas gas SF₆. Fokus evaluasi meliputi *Purity* (kemurnian), kadar air (*moisture content*), titik embun (*dew point*), dan kandungan produk dekomposisi gas SF₆. Metode komparasi digunakan dengan membandingkan hasil pengujian kualitas gas SF₆ sebelum dan sesudah revitalisasi dengan standar yang berlaku. Analisis statistik non-parametrik Mann-Whitney digunakan untuk menganalisis perbedaan signifikan antara kondisi gas sebelum dan sesudah revitalisasi. Hasil analisis statistik menunjukkan hasil yang sangat signifikan ($p < 0,001$) untuk semua parameter yang diuji. Nilai probabilitas yang sangat kecil mengindikasikan perbedaan signifikan antara kondisi gas sebelum dan sesudah revitalisasi. Proses revitalisasi terbukti 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 GIS, sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem dan memperpanjang umur pakai peralatan.

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

Abstract — *Gas Insulated Switchgear (GIS)* is a crucial component in electrical power transmission systems that utilizes SF₆ gas as an insulation medium. Over time, the quality of SF₆ gas can degrade due to leaks, decomposition, contamination, or equipment aging, negatively impacting GIS performance and reliability. This research aims to evaluate the effectiveness of revitalization on the Simpang GIS owned by PT. PLN (Persero) to address the issue of SF₆ gas quality degradation. The evaluation focuses on *Purity*, moisture content, dew point, and decomposition product content of the SF₆ gas. A comparative method is employed by comparing the SF₆ gas quality test results before and after revitalization with applicable standards. The non-parametric Mann-Whitney statistical analysis is used to analyze significant differences between the gas conditions before and after revitalization. The statistical analysis results show highly significant results ($p < 0.001$) for all parameters tested. The very small probability value indicates a significant difference between the gas conditions before and after revitalization. The revitalization process has proven successful in increasing SF₆ gas purity, lowering moisture content and dew point, and significantly reducing decomposition product content. This overall improvement in SF₆ gas quality directly impacts the enhancement of GIS insulation performance, thereby increasing system reliability and extending equipment lifespan.

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* adalah gardu listrik yang menggunakan gas SF₆ sebagai media isolasinya, GIS memiliki berbagai macam komponen, dimana komponen – komponen tersebut memiliki fungsi dan tugas masing – masing dalam kerja GIS [1]. Beberapa komponen umum yang ada pada 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 GIS dapat dibedakan dalam beberapa klasifikasi umum yaitu : Berdasarkan jumlah fasa per tabung, yaitu GIS dengan satu fasa per tabung atau GIS dengan tiga fasa per tabung. Berdasarkan lokasi instalasi, yaitu GIS dengan instalasi *indoor* atau GIS dengan instalasi *outdoor* dan 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 GIS dapat menurun akibat berbagai faktor seperti adanya kebocoran, kontaminasi, atau terjadinya *partial discharge*. Penurunan kualitas gas SF₆ ini dapat berdampak negatif pada kinerja 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 GIS selalu bekerja juga mampu menurunkan kualitas gas SF₆.

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

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. GIS Simpang memiliki 2 trafo dengan kapasitas 60 MVA. Umur 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 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]. GIS mempunyai umur seperti halnya masa hidup manusia di bumi. Banyak yang beranggapan bahwa 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 GIS periode dan item pemeliharaan lebih sedikit “*Less Maintenance*” dibandingkan dengan peralatan konvensional yang lain. Hal ini bertujuan untuk menjamin kesiapan setiap peralatan 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 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 air mengacu 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 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 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

Parameter	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:

- 1) Nilai U: Nilai ini menggambarkan perbedaan antara kedua kelompok. Semakin kecil nilai U, semakin besar potensi perbedaan antara kedua kelompok.
- 2) 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):

- 1) 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.
- 2) 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 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 Whitney*

Melakukan metode statistik yang sangat berguna untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara dua kelompok data. Dalam konteks evaluasi kualitas gas SF₆ pada 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.

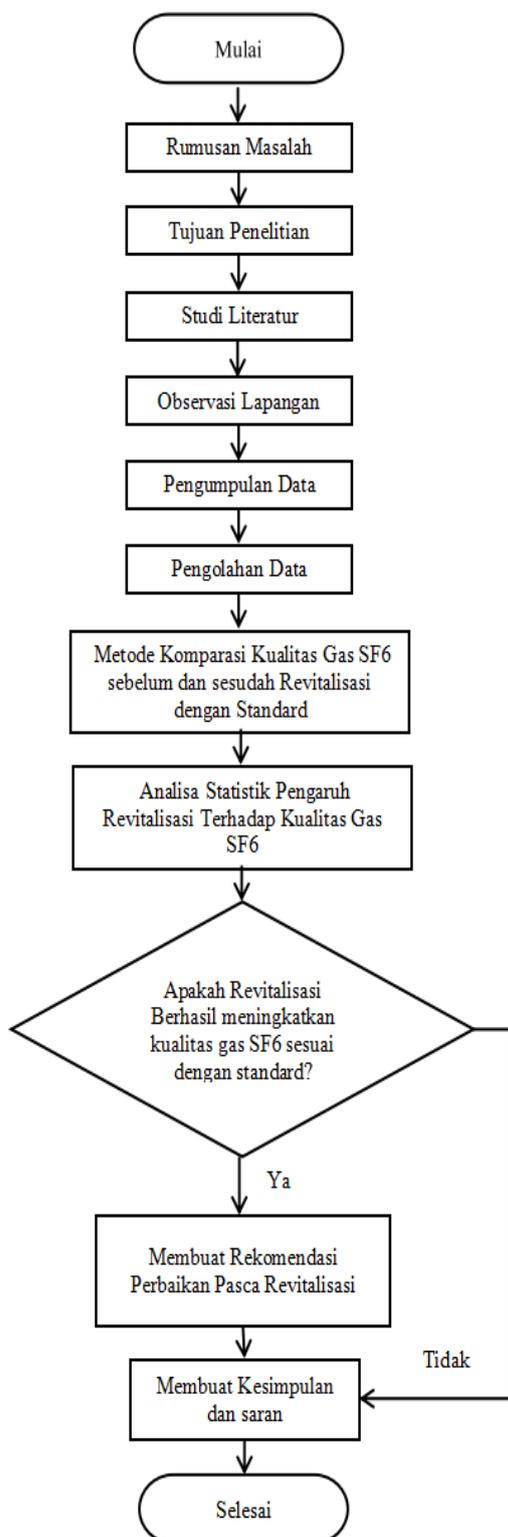
D. *Konsultasi*

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 :

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



Gbr . 1 Diagram Alir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari observasi yang telah dilakukan pada saat dilapangan atau di lingkungan 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

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 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 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*.

Tabel 2. Kualitas Gas SF6 sebelum Revitalisasi

Bay	Kompartemen	Phasa	Dilo Analyzer				Tekanan SF6
			Purity (%)	Moisture	Dew Point	SO2	(Bar)
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	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	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	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

	CT Line, PMS Line, PMS Ground	T	96,8	3131	-7,8	4,1	3,32
		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	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

B. Asessment Kualitas Gas SF6 Sesudah Revitalisasi

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 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.

Untuk dew point sesuai secara standard normal tetapi dengan suhu lingkungan di sekitar 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*.

Tabel 3. Kualitas Gas SF6 sesudah Revitalisasi

Bay	Kompartemen	Phasa	Dilo Analyzer				Tekanan SF6
			Purity %	Moisture	Dew point	SO2	(Bar)
Ngagel 1	PMT	R	99	68	-45,4	0	6,37
		S	99	60	-45	0	6,27
		T	99	57	-46,9	0	6,52
	CT Bus, PMS Bus A	R	99	27	-52,8	0	3,4
		S	99	20	-55	0	3,33
		T	99	20	-55	0	3,33
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99	27	-52,6	0	3,37
		S	99	20	-53,9	0	3,38
		T	99	20	-55	0	3,45
	CT Line, PMS Line, PMS Ground	R	99	20	-55	0	3,28
		S	99	20	-55	0	3,4
		T	99	20	-55	0	3,47
Ngagel 2	PMT	R	99	210	-35,5	0	6,35
		S	99	121	-40,5	0	6,39
		T	99	120	-42,9	0	6,39
	CT Bus, PMS Bus A	R	99	39	-55	0	3,34
		S	99	65	-55	0	3,32
		T	99	157	-54,6	0	3,15
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99	141	-39,1	0	3,25
		S	99	95	-42,6	0	3,4
		T	99	85	-43,5	0	3,45
	CT Line, PMS Line, PMS Ground	R	99	65	-52,9	0	3,44
		S	99	53	-55	0	3,36
		T	99	46	-55	0	3,44
Trafo 1	PMT	R	99	97	-42,4	0	6,45
		S	99	90	-43	0	6,44
		T	99	58	-46,8	0	6,44
	CT Bus, PMS Bus A	R	99	39	-50	0	3,31
		S	99	28	-52,5	0	3,31
		T	99	26	-53,1	0	3,34
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99	46	-48,6	0	3,37
		S	99	71	-45	0	3,33
		T	99	55	-47,1	0	3,35
	CT Line, PMS Line, PMS Ground	R	99	40	-49,7	0	3,42
		S	99	28	-52,5	0	3,41
		T	99	28	-52,7	0	3,42
Trafo 2	PMT	R	99	73	-44,8	0	6,43
		S	99	69	-45,2	0	6,32
		T	99	65	-45,8	0	6,42
	CT Bus, PMS Bus A	R	99	20	-55	0	3,3
		S	99	20	-55	0	3,18
		T	99	21	-54,6	0	3,36

	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99	31	-51,8	0	3,36
		S	99	31	-51,6	0	3,34
		T	99	35	-50,7	0	3,29
	CT Line, PMS Line, PMS Ground	R	99	27	-52,9	0	3,42
		S	99	20	-55	0	3,39
		T	99	20	-55	0	3,42
Kopel	PMT	R	99	57	-46,9	0	6,33
		S	99	62	-46,1	0	6,4
		T	99	65	-45,8	0	6,29
	CT Bus, PMS Bus A	R	99	27	-50,6	0	3,46
		S	99	20	-54,1	0	3,2
		T	99	20	-55	0	3,37
	PMS Bus B, PMS Ground pengapit atas	R	99	36	-50,6	0	3,46
		S	99	23	-54,1	0	3,47
		T	99	20	-55	0	3,35
	CT Line, PMS Line, PMS Ground	R	99	30	-52	0	3,43
		S	99	25	-53,4	0	3,4
		T	99	28	-52,5	0	3,43

C. Analisis Statistik Uji - Mann Whitney 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 Pelaksanaannya indikator yang di uji adalah *purity*, *moisture content*, *dew point* dan *decomposition product*.

1) Uji Mann Whitney Purity

Tabel 4. Tes Statistik Purity

Tes Statistik	
	peningkatan nilai purity
mann-whitney U	90.000
Z	-9.706
asyp. 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. Tes Statistik *Moisture Content*

Tes Statistik	
	penurunan moisture
mann-whitney u	29.000
Z	-9.303
asyp. 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. Tes Statistik Dew Point

Tes Statistik	
	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. Tes Statistik Decomposition Product

Tes Statistik	
	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, Ini artinya sangat yakin bahwa perbedaan yang diamati tidak terjadi secara kebetulan, melainkan karena adanya pengaruh nyata dari proses revitalisasi. 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 Swichgear* (GIS) dengan melakukan observasi, komparasi dan asesment kualitas gas SF6 sebelum dan sesudah revitalisasi kemudian dilakukan analisis statistik untuk melihat efektifitas revitalisasi di 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 asesment masing - masing kompartemen normal.

Hasil asesment 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 Prasajo, 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 ASESMEN 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 Keandalan peralatan *Gas Insulated Switchgear (Gis)* Simpang Haru Padang" *JTE-ITP ISSN NO.2252-3472*.
- [5] Royden Zulfai Hutapea, Syahrawardi "CONDITION ASESMEN 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 Jawa.