

Analisis Kualitas Gas SF₆ sebagai Media Isolasi Bay Penghantar Budikemuliaan 2 GIS Kebun Sirih Sebelum dan Setelah Reklamasi Gas SF₆

Candra Dwi Mukti¹, Samsurizal²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi PLN

Jl. Lkr. Luar Barat, RT.1/RW.1, Cengkareng, Jakarta Barat, 11750, INDONESIA

candra1911301@itpln.ac.id¹, samsurizal@itpln.ac.id²

Intisari – Gas SF₆ memiliki peranan penting sebagai media isolasi pada peralatan GIS. Kualitas gas SF₆ harus selalu dijaga dan dipantau secara rutin. Penyebab menurunnya kualitas gas SF₆ karena adanya kontaminan partikel lain, tingginya suhu lingkungan serta pemakaian gas SF₆ yang terlalu lama. Parameter penentuan kualitas gas SF₆ dengan melihat besarnya nilai titik embun, kadar uap air, dan tekanan gas SF₆. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas Gas SF₆ sebagai Media Isolasi Bay Penghantar Budikemuliaan 2 di GIS Kebun Sirih Sebelum dan Setelah Reklamasi Gas SF₆ nilai titik embun dan kadar uap air gas SF₆ sebagai media isolasi bay penghantar budikemuliaan 2 di GIS Kebun Sirih dengan menggunakan metode kuantitatif. Hasil yang diperoleh terdapat salah satu kompartemen yang kualitas gas SF₆-nya kurang baik yaitu pada kompartemen pemisah tanah rel mengalami penurunan kualitas gas SF₆ karena nilai kadar uap airnya sebesar 1.246 ppmv melebihi batas standar CIGRE 234 sebesar 674,20 ppmv dan nilai titik embun pada suhu lingkungan 20 °C sebesar 4 °C dengan batas standar <-5 °C. Oleh sebab itu, perlu dilakukan reklamasi untuk mengembalikan kualitas gas SF₆ agar tetap berfungsi dengan baik. Hasil reklamasi gas SF₆ pada kompartemen pemisah tanah rel, kualitas gasnya sudah membaik dengan nilai kadar uap air sebesar 172 ppmv dan nilai titik embunnya sebesar -19 °C.

Keyword - Isolasi, Gas SF₆, Reklamasi Gas SF₆

I. PENDAHULUAN

Isolasi berfungsi sebagai media yang memisahkan daerah yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan. Ketika isolasi tidak mampu bekerja dengan baik, dapat menimbulkan kegagalan isolasi yang dapat membahayakan peralatan listrik lainnya. Salah satu jenis isolasi yang umum digunakan pada peralatan listrik yaitu gas SF₆. Gas SF₆ banyak digunakan sebagai media isolasi pada *Gas Insulated Switchgear* (GIS), karena memiliki sifat isolasi yang baik, mampu menghantarkan panas dengan baik, mampu memadamkan busur api dengan cepat dan memiliki kekuatan dielektrik 2,3 kali lebih besar disbanding udara [1].

Ada beberapa parameter yang dapat dilihat untuk mengetahui kualitas gas SF₆ seperti nilai titik embun, kadar uap air, dan tekanan gas SF₆. Setiap parameter tersebut memiliki standar masing-masing. Kualitas gas SF₆ ditinjau parameternya 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.

Pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui kualitas dari gas SF₆ yaitu pengujian purity (kemurnian), dew point (titik embun), moisture content (kadar uap air), dan tekanan gas SF₆. Pengujian tersebut harus dibandingkan dengan standar yang berlaku untuk mengetahui apakah gas SF₆ masih memiliki kualitas yang baik atau tidak. Apabila terdapat kadar uap air yang tinggi pada gas SF₆, maka kemampuan isolasi gas tersebut akan menurun, sehingga perlu dilakukan pengujian titik embun. Nilai tekanan pada gas SF₆ dan suhu lingkungan juga mempengaruhi nilai titik embun dan kadar uap gas SF₆. Semakin rendah nilai tekanan gas SF₆, maka semakin sulit untuk memadamkan busur api dan menahan tegangan tembus [2].

Pada GIS Kebun Sirih menggunakan media isolasi gas SF₆ untuk mengisolasi setiap kompartemen peralatan listriknya. Gas SF₆ memiliki peranan yang sangat penting dalam media isolasi peralatan listrik karena mampu memadamkan busur api dan mendinginkan peralatan listrik yang panas dengan cepat ketika terjadi gangguan hubung singkat. Namun, penggunaan gas SF₆ dalam jangka waktu yang lama dapat mempengaruhi kualitasnya, termasuk kemurnian, titik embun, kadar uap air, dan tekanan gas SF₆, yang berpotensi menyebabkan kegagalan isolasi dan mengganggu kinerja GIS. Selain itu, kegagalan isolasi dapat membahayakan dan merusak peralatan listrik itu sendiri. Pada GIS Kebun Sirih pernah mengalami penurunan kualitas gas SF₆, salah satunya pada bay penghantar

budikemuliaan 2. Oleh karena itu, diperlukan pengujian untuk mengetahui kondisi kualitas gas SF₆ dan jika perlu dilakukan reklamasi untuk mengembalikan kondisi kualitas SF₆ agar mampu bekerja dengan baik sebagai media isolasi dalam memadamkan busur api ketika terjadi gangguan hubung singkat dan untuk menghindari kemungkinan kegagalan isolasi pada peralatan listrik tersebut.

II. STUDI LITERATUR

Sejak awal tahun 1960-an, industri listrik telah sukses menggunakan SF₆ dalam peralatan listrik untuk distribusi listrik tegangan menengah dan transmisi tegangan tinggi seperti gardu insulasi gas, unit utama ring, pemutus sirkuit, trafo, dan kabel. SF₆ memberikan isolasi listrik yang sangat baik dan kemampuan switching yang unggul [3].

Gas SF₆ digunakan secara luas sebagai media isolasi dalam industri kelistrikan karena memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi daripada udara dan efektif dalam memadamkan busur api [4]. Beberapa sifat gas SF₆ yang membuatnya menjadi pilihan yang baik sebagai media isolasi antara lain:

- 1) Kemampuan sebagai penghantar panas,
- 2) Isolasi yang efektif,
- 3) Kemampuan memadamkan busur api,
- 4) Viskositas yang rendah,
- 5) Serta stabilitas dan tidak mudah bereaksi.

Gas SF₆ memiliki kekuatan dielektrik sebesar 2,3 kali udara dan memiliki sifat kimia yang stabil dan tidak mudah terbakar. Namun, ketika terkena suhu tinggi atau spark, ikatan gas SF₆ dapat pecah. Gas SF₆ yang digunakan untuk media isolasi harus memenuhi persyaratan kemurnian minimal 99,70% [5].

A. Kemurnian (Purity)

Persentase kemurnian gas SF₆ dalam kompartemen tidak dapat mencapai 100% karena kontaminan seperti udara tersisa, kebocoran pada valve dan difusi uap air dari luar kompartemen [6].

Pengujian *purity* bertujuan untuk memastikan bahwa kandungan gas SF₆ masih memenuhi persyaratan kemurnian setelah digunakan sebagai pemadam busur api. Batas kemurnian yang ditentukan adalah 97%, semakin tinggi persentase kemurnian, semakin rendah kontaminan dalam isolasi gas SF₆ [7].

B. Kadar Uap Air (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 [1].

- 1) Standar Alstom maksimum sebesar 350 ppmv untuk PMT pada semua level tegangan, dan 840 ppmv untuk peralatan selain PMT pada level tegangan < 170 kV, serta 610 ppmv untuk peralatan selain PMT pada level tegangan > 245 kV.
- 2) Standar Hitachi membatasi kandungan uap air maksimum sebesar 150 ppmv untuk PMT pada semua level tegangan dan 500 ppmv untuk peralatan selain PMT.
- 3) Standar internasional Cigre 234 menetapkan pH₂O < 400 Pa (T = 20°C) sebagai batas maksimum tekanan parsial uap air yang setara dengan nilai kadar uap air sebesar 400 Pa dikalikan dengan tekanan absolut SF₆ saat pengujian pada suhu 20°C.

C. Titik Embun (Dew Point)

Dew Point (titik embun) gas SF₆ adalah suhu di mana uap air dalam gas tersebut mulai mengkondensasi dan berubah menjadi cairan. Untuk menjaga kualitas gas SF₆ di dalam peralatan listrik, Titik embun gas harus diperhatikan agar tetap di bawah -5 °C pada suhu lingkungan 20 °C. Titik embun menunjukkan suhu dimana gas SF₆ akan berubah menjadi cairan karena kadar uap air yang terkandung [8].

Untuk menentukan nilai titik embun dapat menggunakan tabel IEEE 1125 hubungan nilai tekanan parsial terhadap nilai titik embun pada tabel I.

TABEL I Nilai Tekanan Parsial Terhadap Nilai Titik Embun [9]

Nilai Tekanan Parsial Uap Air (mmHg)		Nilai Titik embun (°C)	Nilai Tekanan Parsial Uap Air (mmHg)		Nilai Titik embun (°C)
0,009	0,01	-59	0,861	0,862	-19
0,010	0,011	-58	0,947	0,948	-18
0,012	0,013	-57	1,041	1,042	-17
0,013	0,014	-56	1,142	1,143	-16
0,015	0,016	-55	1,252	1,253	-15
0,017	0,018	-54	1,373	1,374	-14
0,02	0,021	-53	1,503	1,504	-13
0,023	0,024	-52	1,644	1,645	-12
0,026	0,027	-51	1,798	1,799	-11
0,029	0,03	-50	1,964	1,965	-10
0,033	0,034	-49	2,144	2,145	-9
0,037	0,038	-48	2,34	2,341	-8
0,042	0,043	-47	2,55	2,551	-7
0,048	0,049	-46	2,778	2,779	-6

Nilai Tekanan Parsial Uap Air (mmHg)		Nilai Titik embun (°C)	Nilai Tekanan Parsial Uap Air (mmHg)		Nilai Titik embun (°C)
0,054	0,055	-45	3,025	3,026	-5
0,06	0,061	-44	3,291	3,292	-4
0,068	0,069	-43	3,578	3,579	-3
0,076	0,077	-42	3,887	3,888	-2
0,086	0,087	-41	4,22	4,221	-1
0,096	0,097	-40	4,58	4,581	0
0,108	0,109	-39	4,92	4,921	1
0,121	0,122	-38	5,29	5,291	2
0,135	0,136	-37	5,68	5,681	3
0,151	0,152	-36	6,1	6,101	4
0,169	0,17	-35	6,54	6,541	5
0,188	0,189	-34	7,01	7,011	6
0,209	0,21	-33	7,51	7,511	7
0,233	0,234	-32	8,04	8,041	8
0,259	0,26	-31	8,61	8,611	9
0,288	0,289	-30	9,21	9,211	10
0,319	0,32	-29	9,85	9,851	11
0,354	0,355	-28	10,52	10,521	12
0,392	0,393	-27	11,24	11,241	13
0,434	0,435	-26	11,99	11,991	14
0,48	0,481	-25	12,79	12,791	15
0,53	0,531	-24	13,64	13,641	16
0,585	0,586	-23	14,54	14,541	17
0,646	0,647	-22	15,49	15,491	18
0,712	0,713	-21	16,49	16,491	19
0,783	0,784	-20	17,55	17,551	20

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu studi literatur mengenai parameter-parameter kualitas gas SF₆ meliputi sumber-sumber seperti buku, jurnal dan artikel yang terkait dengan penelitian. Setelah itu, melakukan observasi dan wawancara untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk penelitian seperti melakukan pengujian gas SF₆ serta menghitung nilai tekanan absolut pada suhu lingkungan 20 °C, tekanan parsial dan standarisasi kadar uap air gas SF₆.

Tekanan absolut merupakan tekanan yang diukur relatif terhadap tekanan vakum atau nol mutlak. dengan menggunakan persamaan:

$$P_{absg} = \text{Inlet Press} + P_{normal} \quad (1)$$

Keterangan :

P_{absg} : Tekanan absolut gas SF₆ terhadap tekanan atmosfer sekitarnya (bar)

Inlet Press : Tekanan gas terukur (bar)

P_{normal} : Tekanan normal (bar)

Setelah menghitung tekanan absolut selanjutnya menghitung nilai tekanan absolut terhadap suhu lingkungan sebesar 20 °C dengan menggunakan persamaan :

$$P_{absolut\ 20\ ^\circ C} = \frac{P_{absolut} \times 293}{273 \times T_{SF_6}} \quad (2)$$

Keterangan :

T : Suhu gas SF₆

$P_{absolut\ 20\ ^\circ C}$: Tekanan absolut pada suhu 20 °C

Setelah mendapatkan nilai tekanan absolut terhadap suhu lingkungan 20 °C selanjutnya menghitung nilai tekanan parsial dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$P_{parsial} = \frac{\text{Kadar Uap Air}}{1\ M\ ohm} \times P_{absolut\ 20\ ^\circ C} \quad (3)$$

Keterangan :

$P_{parsial}$: Tekanan parsial uap air (mmHg)

Kadar uap air : Hasil pengujian kadar uap air (ppmv)

$P_{absolut\ 20\ ^\circ C}$: Tekanan absolut pada suhu 20 °C

Setelah dilakukan perhitungan nilai tekanan parsial berdasarkan nilai kadar uap air dan tekanan serta suhu gas SF₆, untuk menentukan nilai titik embun dapat menggunakan tabel IEEE 1125 dengan melihat tekanan parsial uap air yang telah dihitung berdasarkan pada tabel I nilai tekanan parsial terhadap nilai titik embun.

Adapun untuk menghitung standarisasi kadar uap air pada gas SF₆ dapat dihitung berdasarkan standar CIGRE 234 dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Standarisasi Kadar Uap Air} = \frac{0,004}{P_{absolut}} \times 1000000 \quad (4)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Pengujian Gas SF₆ Kompartemen Bay Penghantar Budikemuliaan 2 di GIS Kebun Sirih

Untuk melakukan perhitungan nilai tekanan absolut, tekanan poarsial dan standarisasi kadar uap air diperlukan beberapa data seperti nilai tekanan gas SF₆ dan nilai suhu gas SF₆. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian gas SF₆ pada bay penghantar budikemuliaan 2 di GIS Kebun Sirih.

Berikut data hasil pengujian dengan menggunakan alat uji SF₆ Analyzer dapat dilihat pada tabel II.

TABEL II Data Hasil Pengujian Gas SF₆ Bay Penghantar Budikemuliaan

Kompartemen R,S,T	Suhu Gas SF ₆ (°C)	Tekanan Gas SF ₆ (bar)	Kadar Uap Air (ppmv)	Titik Embun (°C)
Pemutus Tenaga (PMT)	-23,2	7,34	91	-43,0
Pemisah Tanah Rel (DS Tanah QE1)	2,1	4,92	1.246	-17,8
Pemisah Rel 1 (DS Bus 1)	-41,2	5,08	21	-54,9
Pemisah Rel 2 (DS Bus 2)	-21,8	5,14	121	-40,4
Pemisah Line (DS Line)	-15	5,31	267	-40
Selling End	-22	5,15	152	-38,4
Trafo Tegangan	-12	7,57	582	-25,8

B. Perhitungan Nilai Standarisasi Kadar Uap Air dan Nilai Titik Embun Terhadap Nilai Tekanan Parsial

Untuk melakukan perhitungan tekanan absolut terhadap tekanan atmosfer diperlukan nilai tekanan gas yang terukur dan nilai tekanan atmosfer, Berdasarkan tabel 2. data hasil pengujian gas SF₆ bay penghantar budikemuliaan 2 di GIS Kebun Sirih diketahui nilai tekanan gas SF₆ yang terukur pada kompartemen PMT yaitu sebesar 7,34 bar, dan diketahui bahwa nilai tekanan atmosfer sebesar 1 atm atau 1,013 bar, dengan menggunakan persamaan 1 diperoleh hasil :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{absg}} &= P_{\text{Inlet Press}} + P_{\text{normal}} \\
 P_{\text{absg}} &= 7,34 \text{ bar} + 1,013 \text{ bar} \\
 P_{\text{absg}} &= 8,353 \text{ bar} \\
 P_{\text{absg}} &= 8,353 \text{ bar} \times 100.000 \text{ (untuk mengkonversi satuan dari bar ke pascal)} \\
 P_{\text{absg}} &= 835.300 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Nilai tekanan absolut yang diperoleh sebesar 8,353 bar atau setara dengan 835.300 Pa

Dari hasil perhitungan tekanan absolut terhadap tekanan atmosfer tersebut, dapat dilakukan perhitungan tekanan absolut pada suhu lingkungan 20 °C. Selanjutnya untuk menghitung nilai tekanan absolut pada suhu lingkungan 20 °C diperlukan data suhu gas SF₆, dimana dapat dilihat pada tabel 2 nilai suhu gas SF₆ pada kompartemen PMT yang terukur sebesar -23,2 °C dan nilai tekanan absolut terhadap tekanan atmosfer yang telah dihitung sebesar 8,353 bar atau

setara dengan 835.300 Pa, dengan menggunakan persamaan 2 diperoleh hasil :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{absolut}} 20 \text{ } ^\circ\text{C} &= \frac{P_{\text{absolut}} \times 293}{273 + T_{\text{SF}_6}} \\
 P_{\text{absolut}} 20 \text{ } ^\circ\text{C} &= \frac{835300 \text{ Pa} \times 293}{273 + (-23,2)} \\
 P_{\text{absolut}} 20 \text{ } ^\circ\text{C} &= 979755,4043 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Jadi nilai tekanan absolut gas SF₆ pada kompartemen PMT pada suhu 20 °C sebesar 979755,4043 Pa.

Berdasarkan hasil perhitungan tekanan absolut pada suhu 20 °C telah didapat nilai tekanan absolutnya sebesar 979755,4043 Pa, dan pada tabel 2 diketahui nilai kadar uap air gas SF₆ pada kompartemen PMT hasil pengujian yang telah dilakukan sebesar 91 ppmv, dengan menggunakan persamaan 3 dapat dihitung nilai tekanan parsial berikut ini:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{parsial}} &= \frac{\text{Kadar Uap Air}}{1 \text{ M ohm}} \times P_{\text{absolut}} 20 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 P_{\text{parsial}} &= \frac{91 \text{ ppmv}}{1000000 \text{ ohm}} \times 979755,4043 \text{ Pa} \\
 P_{\text{parsial}} &= 89,1577 \text{ Pa} \\
 P_{\text{parsial}} &= 0,6688503 \text{ mmHg}
 \end{aligned}$$

Nilai tekanan parsial yang didapat dari hasil perhitungan adalah 89,1577 Pa atau setara dengan 0,6688503 mmHg.

Dari perhitungan tekanan parsial diatas, kemudian dibandingkan dengan menggunakan tabel I, dimana nilai tekanan parsial yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 89,1577 Pa atau setara dengan 0,6688503 mmHg. Dari tabel 1 dengan nilai tekanan parsial 0,6688503 maka nilai titik embunnya sebesar -21 °C.

Selanjutnya perhitungan standarisasi kadar uap air sesuai dengan standar CIGRE 234. Standar CIGRE 234 merupakan salah satu standar internasional yang digunakan sebagai acuan untuk membandingkan dan mengetahui kondisi kualitas gas SF₆ yang telah diuji dengan menggunakan alat uji SF₆ analyzer yang nantinya hasil pengujian tersebut akan dibandingkan dengan standar CIGRE 234. Dari hasil perhitungan sebelumnya didapat nilai tekanan absolut sebesar 8,353 bar, sehingga dapat dihitung standarisasi kadar uap air berdasarkan standar CIGRE dengan menggunakan persamaan 4 :

$$\begin{aligned}
 \text{Standarisasi Kadar Uap Air} &= \frac{0,004}{P_{\text{absolut}}} \times 1000000 \\
 \text{Standarisasi Kadar Uap Air} &= \frac{0,004}{8,353 \text{ bar}} \times 1000000 \\
 \text{Standarisasi Kadar Uap Air} &= 478,8698671
 \end{aligned}$$

Jadi untuk nilai standarisasi kadar uap air pada kompartemen PMT adalah 478,8698671 ppmv.

Untuk menghitung nilai tekanan absolut terhadap tekanan atmosfer, tekanan absolut pada suhu lingkungan 20 °C, tekanan parsial, penentuan nilai titik embun terhadap tekanan parsial serta perhitungan nilai standarisasi kadar uap air pada kompartemen peralatan listrik pemisah rel 1, pemisah rel 2, pemisah line, pemisah tanah rel, *sealing end* dan trafo tegangan dapat menggunakan persamaan dan cara perhitungan yang sama pada kompartemen PMT dengan menggunakan data masing-masing kompartemen yang terdapat pada tabel II. Hasil perhitungan keseluruhan kompartemen bay penghantar budikemuliaan 2 dapat dilihat pada tabel III.

TABEL III Data Hasil Perhitungan Gas SF₆ Pada Bay Penghantar Budikemuliaan 2

Kompartemen	Suhu Gas SF ₆ (°C)	Tekanan Gas SF ₆ (bar)	Kadar Uap Air (ppmv)	Standar CIGRE 234 Hasil Perhitungan (ppmv)	Titik Embun (°C)		Standar CIGRE 234 (°C)	Ket.
					Hasil Pengujian	Hasil Perhitungan		
Pemisah Tenaga (PMT)	-21,2	7,34	91	< 478,87	-42,0	-21	< -5	Normal
Pemisah Tanah Rel (PM Tanah (RT))	2,3	4,92	1.246	< 674,20	-17,8	4	< -5	Gas Lembab
Pemisah Rel 1 (PM Rel 1)	-41,2	5,88	71	< 478,87	-54,9	-39	< -5	Normal
Pemisah Rel 2 (PM Rel 2)	-21,8	5,14	121	< 478,87	-40,4	-22	< -5	Normal
Pemisah Line (PM Line)	-11	3,31	267	< 478,87	-40	-13	< -5	Normal
Sealing End	-22	5,13	152	< 478,87	-36,4	-20	< -5	Normal
Trafo Tegangan	-12	7,57	392	< 478,87	-25,8	-1	< -5	Normal

Dari tabel III dapat dilihat hasil pengujian suhu gas SF₆, tekanan gas SF₆, kadar uap air gas SF₆, titik embun gas SF₆ dan hasil perhitungan standarisasi kadar uap air berdasarkan standar CIGRE 234, nilai titik embun, serta kondisi kualitas gas SF₆ pada setiap kompartemen bay penghantar budikemuliaan 2 di GIS Kebun Sirih. Dimana berdasarkan pengujian dan perhitungan didapatkan hasil kualitas gas SF₆ pada masing-masing kompartemen peralatan listrik. Dimana pada kompartemen pemutus tenaga, pemisah rel 1, pemisah rel 2, pemisah line, *sealing end* dan trafo tegangan memiliki kualitas gas SF₆ yang masih baik atau dalam kondisi normal dikarenakan nilai kadar uap air dan nilai titik embunnya masih memenuhi standar yang berlaku.

Sedangkan pada kompartemen pemisah tanah rel memiliki kualitas gas SF₆ yang dapat dikatakan gas SF₆-nya dalam kondisi lembab dikarenakan nilai kadar uap airnya sangat tinggi sebesar 1.246 ppmv yang melebihi standar CIGRE 234 sebesar 674,20 ppmv dan nilai titik embun hasil pengujian sebesar -17,8 °C serta nilai titik embun hasil perhitungan pada suhu lingkungan 20 °C sebesar 4 °C dengan batas standar sebesar <-5 °C. Hasil pengujian nilai

titik embun dengan menggunakan alat SF₆ Analyzer nilainya lebih kecil dibanding dengan hasil perhitungan nilai titik embun pada suhu lingkungan 20 °C. Hal tersebut dikarenakan pada pengujian alat SF₆ Analyzer tidak memperhatikan nilai suhu lingkungan sekitar, sedangkan pada perhitungan memperhatikan suhu lingkungan sekitar sebesar 20 °C yang merupakan batas standar yang diizinkan untuk gas SF₆ pada suhu lingkungan sekitar. Tingginya nilai kadar uap air dan nilai titik embun pada gas SF₆ dapat disebabkan oleh beberapa factor seperti absorbent pada kompartemen tersebut yang sudah tidak berfungsi dengan baik yaitu sebagai penyerap kadar uap air atau adanya kontaminan partikel debu yang terdapat dalam kompartemen tersebut serta nilai suhu lingkungan sekitar yang sangat tinggi.

Kualitas gas SF₆ perlu untuk dijaga dan dipantau secara rutin, nilai kadar uap air dan titik embun yang tinggi dapat mengurangi kinerja isolasi gas tersebut, sehingga dapat berdampak negative pada efisiensi dan keandalan system GIS Kebun Sirih. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengembalikan kondisi kualitas gas SF₆ pada kompartemen pemisah tanah rel agar nilai kadar uap air dan titik embun memenuhi standar yang berlaku yaitu dengan melakukan reklamasi gas serta pergantian absorbent.

Selain reklamasi pada kompartemen pemisah tanah rel perlu dilakukan juga reklamasi pada kompartemen yang bersebelahan dengan kompartemen pemisah tanah rel yaitu kompartemen pemisah rel 1 bay penghantar budikemuliaan. Hal tersebut dilakukan untuk mencegah terjadinya retakan pada kompartemen pemisah tanah rel ketika proses reklamasi dimana gas SF₆ pada kompartemen pemisah tanah rel harus dikeluarkan untuk proses reklamasi sehingga pada kompartemen pada pemisah rel 1 juga perlu dikeluarkan gas SF₆-nya untuk menyamakan nilai tekanan gas SF₆ pada kedua kompartemen tersebut.

Proses reklamasi dilakukan secara bertahap, dimana pada tahap pertama yaitu mengevakuasi atau memindahkan gas SF₆ pada kompartemen pemisah tanah rel dan pemisah rel 1 untuk dilakukan penyaringan atau pemurnian secara bersamaan dengan perlahan-lahan sampai nilai tekanan pada barometer kompartemen menunjukkan 0 bar ke dalam peralatan reklamasi. Setelah semua gas SF₆ dikeluarkan, selanjutnya melakukan proses vakum pada kompartemen tersebut sebelum gas SF₆ dimasukan kembali. Proses vakum dilakukan bertujuan untuk menghilangkan kelembaban dalam kompartemen tersebut, menghilangkan partikel dan kontaminan padat yang berasal dari abrasi peralatan atau kontaminasi lingkungan, serta pembersihan peralatan atau daerah kompartemen. Setelah proses vakum selesai, gas SF₆ yang telah direklamasi dimasukan kembali ke dalam

kompartemen pemisah tanah rel dan pemisah rel 1 secara bersamaan dengan perlahan-lahan sampai menunjukkan nilai tekanan pada kompartemen pemisah tanah rel dan pemisah rel 1 sebesar 5 bar sesuai dengan standar atau spesifikasi pada kompartemen tersebut. Selain melakukan reklamasi gas SF₆, untuk memperbaiki nilai kadar uap air pada kompartemen pemisah tanah rel dapat dilakukan pergantian absorbent pada kompartemen tersebut yang berfungsi sebagai penyerap kelembapan. Namun, pada saat ingin dilakukan pergantian absorbent, tidak ditemukan absorbent pada kompartemen pemisah tanah rel. Tidak adanya absorbent bisa menjadi salah satu penyebab tingginya nilai kadar uap air pada kompartemen pemisah tanah rel, karena tidak ada yang menyerap kelembapan pada kompartemen tersebut.

Setelah dilakukan proses reklamasi, gas SF₆ perlu diuji kembali dengan menggunakan alat SF₆ Analyzer untuk mengetahui kualitasnya. Data hasil pengujian gas SF₆ setelah reklamasi pada kompartemen pemisah tanah rel dan pemisah rel 1 dapat dilihat pada tabel IV.

TABEL IV Hasil Reklamasi Gas SF₆

Kompartemen	Suhu Gas SF ₆ (°C)	Tekanan Gas SF ₆ (bar)	Kadar Uap Air (ppmv)	Standar CIGRE 234 Hasil Perhitungan (ppmv)	Titik Embun (°C)		Standar CIGRE 234 (°C)	Krit.
					Hasil Pengujian	Hasil Perhitungan		
Pemisah Tenaga (PMT)	-	-	-	-	-	-	-	-
Pemisah Tanah Rel (DS Tanah QE1)	-19	4,96	172	667,45	-38,1	-19	-5	Normal
Pemisah Rel 1 (DS Bus 1)	-23	5,00	111	665,23	-43,4	-23	-5	Normal
Pemisah Rel 2 (DS Bus 2)	-	-	-	-	-	-	-	-
Pemisah Line (DS Line)	-	-	-	-	-	-	-	-
Sealing End	-	-	-	-	-	-	-	-
Trafo Tegangan	-	-	-	-	-	-	-	-

Dari tabel IV dapat dilihat hasil pengujian setelah dilakukan reklamasi pada kompartemen pemisah tanah rel dan pemisah rel pada bay penghantar budikemuliaan 2 di GIS Kebun Sirih, dimana pada kompartemen pemisah tanah rel memiliki nilai kadar uap air sebesar 172 ppmv dengan batas standar sebesar 667,45 ppmv dan nilai titik embun hasil pengujian sebesar -38 °C serta nilai titik embun hasil perhitungan pada suhu lingkungan 20 °C sebesar -19 °C dengan batas standar kurang dari -5 °C. Kompartemen pemisah rel 1 didapatkan nilai kadar uap airnya sebesar 111 ppmv dengan batas standarnya sebesar 665,23 dan nilai titik embun hasil pengujian sebesar -43,4 °C serta nilai titik embun hasil perhitungan pada suhu lingkungan 20 °C sebesar -23 °C dengan batas standar kurang dari -5 °C. Dalam artian, kualitas gas SF₆ pada kedua kompartemen tersebut sudah dalam kondisi baik atau normal.

Berdasarkan hasil pengujian gas SF₆ setelah dilakukan reklamasi, gas SF₆ dapat dikategorikan ke dalam tiga kategori diantaranya, gas SF₆ dapat digunakan kembali pada semua rentang tekanan gas pada peralatan tanpa ada batasan tekanan. Kedua, gas SF₆ dapat digunakan ulang pada rentang tekanan yang rendah, artinya gas tersebut dapat digunakan kembali pada peralatan yang memiliki tekanan lebih dari 2 bar atau 200 kPa. Ketiga, gas SF₆ tidak dapat digunakan lagi dan memerlukan perawatan atau perlakuan lebih lanjut. Dari hasil pengujian setelah reklamasi gas SF₆ pada kompartemen pemisah tanah rel dan pemisah rel 1 masuk kedalam kategori pertama dimana gas SF₆-nya masih dapat digunakan kembali pada semua rentang tekanan gas karena hasil pengujiannya yang baik jauh dari batas standar yang diizinkan yaitu standar CIGRE 234 masing-masing kompartemen tersebut.

V. PENUTUP

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini, berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan kualitas gas SF₆ pada bay penghantar budikemuliaan 2 di GIS Kebun Sirih yaitu, pada kompartemen pemisah tanah rel (DS tanah QE1) memiliki nilai titik embun sebesar 4 °C untuk hasil perhitungan serta nilai kadar uap air sebesar 1.246 ppmv yang diatas standar dan dalam kondisi gas lembab dan perlu dilakukan reklamasi gas SF₆ pada kompartemen tersebut. Setelah dilakukan reklamasi gas SF₆ pada kompartemen tersebut kualitas gas SF₆-nya sudah membaik dengan nilai titik embunnya sebesar -19 dan kadar uap airnya sebesar 172 ppmv. Sedangkan pada kompartemen pemutus tenaga (PMT), pemisah rel 1 (DS Bus 1), pemisah rel 2 (DS Bus 2), pemisah line (DS Line), *sealing end* dan trafo tegangan masih dalam kondisi normal dengan nilai titik embun hasil perhitungan berurutan sebesar -21 °C, -38 °C, -22 °C, -13 °C, -20 °C dan -1 °C, dengan nilai kadar uap air berurutan sebesar 91 ppmv, 21 ppmv, 121 ppmv, 267 ppmv, 152 ppmv dan 582 ppmv.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini sehingga bisa dapat dipublikasi dalam bentuk jurnal.

REFERENSI

- [1] PT.PLN (Persero), "Pedoman Pemeliharaan Gas Insulated Substation (GIS)," *Pdm/Pgi/14:2014*, 2014.
- [2] D. S. Nurjannah, D. B. Santoso, and I. A. Bangsa, "Analisa Pengujian Kualitas Gas SF₆ Pada Pemutus

- Tenaga (PMT) 66 KV Bay Reaktor 4R2 di GITET Bandung Selatan,” *Power Elektron. J. Orang Elektro*, vol. 10, no. 2, 2021.
- [3] S. Committee, I. Power, and E. Society, “IEEE Guide for Moisture Measurement and Control in SF₆ Gas-Insulated Equipment IEEE Power and Energy Society,” vol. 2013, 2013.
- [4] I. Setiono, “Gas SF₆ (Sulfur Hexa Fluorida) Sebagai Pemadam Busur Api Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Saluran Transmisi Tegangan Tinggi,” *Metana*, vol. 13, no. 1, pp. 1–6, 2018, doi: 10.14710/metana.v13i1.14676.
- [5] I. Aditia Pratama and T. Arfianto, “Analisis SF₆ Pada Sealingend Terhadap Tekanan Moisture Content dan Dewpoint GIS Kiaracandong,” *Rang Tek. J.*, vol. Vol. 2, 2019.
- [6] Antonov Bachtiar and Tony Sudaryanto, “Evaluasi Keandalan Peralatan Gis Simpang Haru Padang,” *Jte - Itp*, vol. 5, no. 2, pp. 165–169, 2016.
- [7] A. Sewageetra and D. Fauziah, “Analisis Moisture Content dan Dew Point Gas SF₆ Pada PMT di Gardu Induk Cigereleng PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Tengah,” *Semin. Nas. Energi, Telekomun. dan Otomasi*, pp. 305–315, 2021.
- [8] R. Duanaputri, I. Ridzki, M. S. Hidayatullah, and M. I. Yulianto, “Studi Kelayakan Gas Insulated Switchgear di PT. Paiton Operation & Maintenance Indonesia Unit 8,” *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan*, vol. 8, no. 1, pp. 34–40, 2021, doi: 10.33795/elposys.v8i1.34.
- [9] Institute of Electrical and Electronics Engineers. and IEEE-SA Standards Board., *IEEE guide for sulphur hexafluoride (SF₆) gas handling for high-voltage (over 1000 Vac) equipment*, no. January. 2012.