

Evaluasi Kualitas Gas SF₆ Pada Peralatan *Gas Insulated Switchgear* (GIS) 150 kV Kedinding

¹Mochamad Bintang Ari Nugraha, ²Titiek Suheta, ³Fitra Aditya Anggoro
¹²³ Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Kota Surabaya
e-mail: nugrahabintang16@gmail.com, hita@itats.ac.id, fitraaveiro@gmail.com

Abstract - Circuit breakers (CBs) function to connect and disconnect electrical circuits in substations, both under load and during current disturbances, so a life analysis is required to ensure their reliability. This study aims to evaluate the quality of SF₆ gas and predict the remaining lifespan of the PMT at Bay Ujung and Kenjeran by utilizing gas parameter data and the number of trips during the 2020–2024 period. SF₆ gas plays a crucial role as an insulating medium and arc extinguishing agent, so its quality directly impacts insulation capability and operational reliability. The analysis was conducted using mathematical methods and polynomial regression based on the specifications of the Merlin Gerin Type FG 3 circuit breaker, which has an operational limit of 2,000 trips. Test results for SF₆ gas from 2021 to 2023 indicate that conditions remain safe with a purity of 99.9% (>97%), maximum moisture content of 105 ppmv, dew point of -41.7 °C to -45.4 °C, and SO₂ of 0 ppmv (<12 ppmv). Predictions indicate that the 2,000-trip limit will be reached at Bay Ujung in 2052 and Bay Kenjeran in 2053. The novelty of this research lies in the evaluation of SF₆ gas quality in the 150 kV Kedinding GIS based on actual field data compared with IEC and CIGRE standards. The results provide a mapping of gas conditions and technical recommendations for preventive maintenance to extend equipment lifespan and maintain the reliability of the power system.

Keywords — SF₆ gas; PMT; GIS; Prediction; Polynomial regression

Abstrak — Pemutus Tenaga (PMT) berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian listrik pada gardu induk, baik dalam kondisi berbeban maupun saat terjadi gangguan arus, sehingga diperlukan analisis umur untuk menjamin keandalannya. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas gas SF₆ dan memprediksi sisa umur PMT pada Bay Ujung dan Kenjeran dengan memanfaatkan data parameter gas serta jumlah trip periode 2020–2024. Gas SF₆ memiliki peran penting sebagai media isolasi dan pemadam busur api, sehingga kualitasnya berpengaruh langsung terhadap kemampuan isolasi dan keandalan operasi. Analisis dilakukan menggunakan metode matematis dan regresi polinomial dengan acuan spesifikasi CB Merlin Gerin Tipe FG 3 yang memiliki batas operasi 2000 kali trip. Hasil pengujian gas SF₆ periode 2021–2023 menunjukkan kondisi masih aman dengan purity 99,9% (>97%), moisture content maksimum 105 ppmv, dew point -41,7 °C hingga -45,4 °C, serta SO₂ 0 ppmv (<12 ppmv). Prediksi menunjukkan batas 2000 trip tercapai pada Bay Ujung tahun 2052 dan Bay Kenjeran tahun 2053. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi kualitas gas SF₆ pada GIS 150 kV Kedinding berdasarkan data lapangan aktual yang dibandingkan dengan standar IEC dan CIGRE. Hasilnya memberikan pemetaan kondisi gas serta rekomendasi teknis pemeliharaan preventif untuk memperpanjang umur peralatan dan menjaga keandalan sistem tenaga listrik.

Kata Kunci — Gas SF₆; PMT; GIS; Prediksi; Regresi Polinomial

I. PENDAHULUAN

Salah satu komponen penting dalam sistem transmisi dan distribusi tegangan tinggi adalah *Gas Insulated Switchgear* (GIS). GIS dipilih karena memiliki keunggulan berupa ukuran yang lebih kompak, keandalan tinggi, serta kemampuan isolasi yang lebih baik dibandingkan dengan switchgear konvensional berbasis udara[1][2].

Gas *Sulfur Hexafluorida* (SF₆) merupakan salah satu media pemadam busur api pada Pemutus Tenaga (PMT) yang paling baik dan juga sebagai media isolasi karena mempunyai kekuatan dielektrik lebih tinggi dibandingkan dengan udara maupun minyak[3][4][5]. Salah satu bentuk pemeliharaan pada Pemutus Tenaga (PMT) adalah melakukan pengujian gas SF₆ untuk memastikan tingkat kemurniannya[6][7][8][9]. Karena penurunan gas SF₆ akan mengganggu kinerja dari PMT, untuk itu dilakukan analisis dengan FMEA penyebab menurunnya tekanan gas SF₆ [10][11].

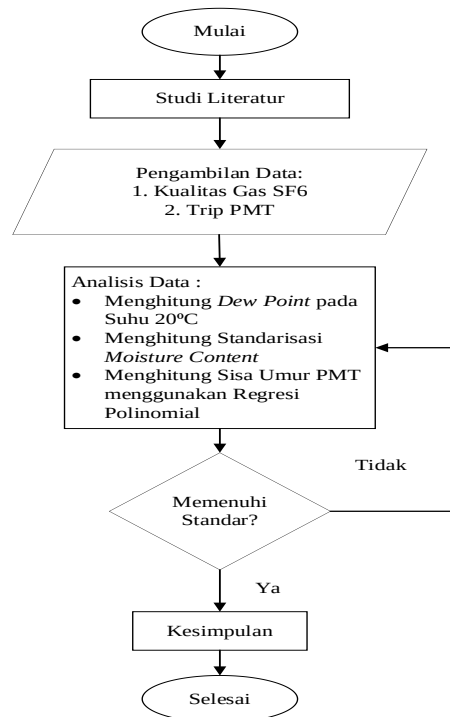
Dalam penelitian ini penulis lebih fokus kepada analisis kualitas hasil uji nilai *Dew Point* (Titik embun) dan *Moisture Content* (Kadar Uap Air) gas SF₆ pada PMT Bay Ujung dan Kenjeran PT. PLN (Persero). Dan juga menganalisa nilai *dew point* pada suhu 20°C dan melihat pengaruh yang terjadi pada kedua nilai dengan suhu lingkungan sekitar yang berbeda. Menentukan juga estimasi sisa umur PMT dengan menganalisis data jumlah trip menggunakan metode regresi polinomial. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi kualitas gas SF₆ pada peralatan *Gas Insulated Switchgear* (GIS) 150 kV Kedinding berdasarkan data lapangan aktual. Evaluasi dilakukan terhadap parameter kemurnian, kadar kelembaban, serta kandungan *by-product*, kemudian dibandingkan dengan standar internasional IEC dan CIGRE untuk menilai kesesuaian dan implikasinya terhadap keandalan operasi GIS. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru berupa pemetaan kondisi kualitas gas SF₆ pada GIS Kedinding dan rekomendasi teknis yang relevan untuk strategi pemeliharaan preventif, sehingga dapat mendukung upaya perpanjangan umur peralatan dan peningkatan keandalan sistem tenaga listrik.

II. METODE PENELITIAN

A. Metode

1. Study Literatur
Mengumpulkan referensi terkait fungsi SF₆ pada GIS/PMT, sifat-sifat gas, standar kualitas dan metode pengujian yang lazim digunakan.
2. Pengambilan Data
Mengambil sampel gas SF₆ dan berapa kali trip pada PMT.
3. Pengujian Gas SF₆
Dilakukan dengan menggunakan *Gas Analyzer* (misalnya DILO, MBW, atau sejenisnya) untuk parameter berikut:
 - Kemurnian SF₆ (% volume)
 - Parameter *dew point* dan *moisture content*
4. Analisis Data
 - Membandingkan hasil pengujian dengan standar SPLN.
 - Mengidentifikasi indikasi penurunan kualitas gas.
 - Menentukan estimasi sisa umur PMT dengan menganalisis data jumlah trip menggunakan metode regresi polinomial

B. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Kualitas Gas SF₆

Tabel 1. Tahun 2021

Bay	Phasa	Purity (%)	Moisture Content (ppmv)	Dew Point (°C)	SO ₂ (ppmv)
Hasil Uji					
Ujung	R	99,9	105	-41,7	0
	S	99,9	83	-43,7	0
	T	99,9	68	-45,4	0
Kenjeran	R	99,9	87	-43,3	0
	S	99,9	101	-42	0
	T	99,9	90	-43	0

Purity SF₆ mencapai 99,9% (standar >97%), *moisture content* tertinggi 105 ppmv masih di bawah batas standar (500–550 ppmv), *dew point* -41,7 °C hingga -45,4 °C jauh di bawah standar (<-5°C), dan SO₂ 0 ppmv (standar <12 ppmv). Semua parameter menunjukkan kondisi gas SF₆ masih sangat baik dan aman untuk operasi.

Tabel 2. Tahun 2022

Bay	Phasa	Purity (%)	Moisture Content (ppmv)	Dew Point (°C)	SO ₂ (ppmv)
		Hasil Uji			
Ujung	R	99,9	105	-41,7	0
	S	99,9	83	-43,7	0
	T	99,9	68	-45,4	0
Kenjeran	R	99,9	87	-43,3	0
	S	99,9	101	-42	0
	T	99,9	90	-43	0

Kualitas gas SF₆ menunjukkan kondisi sangat baik dengan *purity* 99,9% (>97%), *moisture content* 105 ppmv (<500–550 ppmv), *dew point* -41,7 °C hingga -45,4 °C (<-5 °C), dan SO₂ 0 ppmv (<12 ppmv), sehingga aman untuk mendukung operasi peralatan.

Tabel 3. Tahun 2023

Bay	Phasa	Purity (%)	Moisture Content (ppmv)	Dew Point (°C)	SO ₂ (ppmv)
		Hasil Uji			
Ujung	R	99,9	121	-40,4	0
	S	99,9	109	-41,4	0
	T	99,9	101	-42	0
Kenjeran	R	99,9	88	-43,2	0
	S	99,9	82	-43,8	0
	T	99,9	91	-42,9	0

Purity SF₆ mencapai 99,9% (standar >97%), *moisture content* tertinggi 121 ppmv masih di bawah batas standar (500–550 ppmv), *dew point* -40,4°C hingga -43,8°C jauh di bawah standar (<-5°C), dan SO₂ 0 ppmv (standar <12 ppmv). Semua parameter menunjukkan kondisi gas SF₆ masih sangat baik dan aman untuk operasi.

2. Data Historis PMT

Tabel 4. Data Jumlah Trip pada PMT

Bay	Tahun	Banyaknya Trip
Ujung	2020	390
	2021	395
	2022	405
	2023	427
	2024	435
Kenjeran	2020	500
	2021	505
	2022	515
	2023	537
	2024	545

Dari tabel 4 terlihat tren kenaikan jumlah trip tiap tahun pada kedua bay. Bay Ujung meningkat dari 390 (2020) menjadi 435 (2024), sedangkan Bay Kenjeran naik dari 500 (2020) menjadi 545 (2024).

3. Hasil Perhitungan Nilai *Dew Point* pada 20°C Pada Bay Ujung phasa R:
a. Menghitung *pressure gauge absolute* [12] :

$$P_{\text{gauge absolute}} = P_{\text{gauge}} + P_{\text{normal}} = 7,4 + 1,01 = 8,41$$

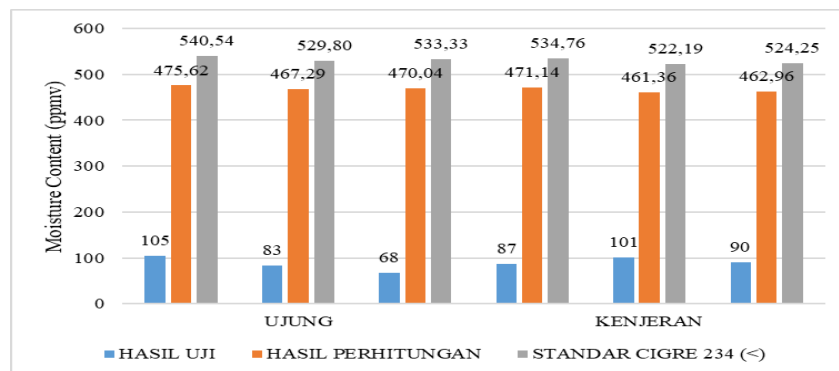
- b. Menghitung *moisture content* [13]:

$$\text{Standarisasi} = \frac{0,004}{P_{\text{gauge absolute}}} \times 1000000 = 475,62 \text{ ppmv}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Kualitas Gas SF₆

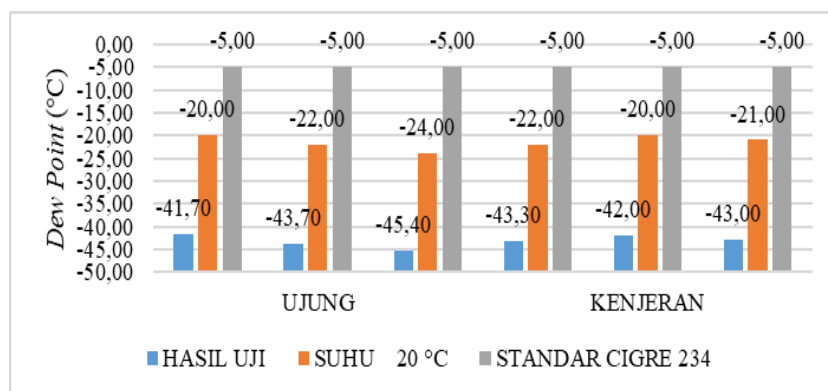
Bay	Phasa	Moisture Content (ppmv)	Dew Point (°C)
Ujung	R	475,62	-20
	S	467,29	-22
	T	470,04	-24
Kenjeran	R	471,14	-20
	S	461,36	-22
	T	462,96	-21

Nilai *moisture content* pada Bay Ujung (467–476 ppmv) dan Kenjeran (461–471 ppmv) masih berada di bawah ambang batas standar 500–550 ppmv, sedangkan *dew point* berkisar -20°C hingga -24°C yang jauh lebih rendah dari batas standar -5 °C, sehingga kondisi gas SF₆ pada kedua bay dapat dikategorikan aman untuk operasi.



Gambar 2. Grafik Hasil Perbandingan Nilai *Moisture Content* Tahun 2021

Berdasarkan grafik diatas, nilai *moisture content* berada di bawah batas standar CIGRE 234 (≤ 500 –550 ppmv) sehingga kondisi gas SF₆ aman untuk operasi, dengan hasil perhitungan tahun 2022 konsisten sama seperti tahun 2021.



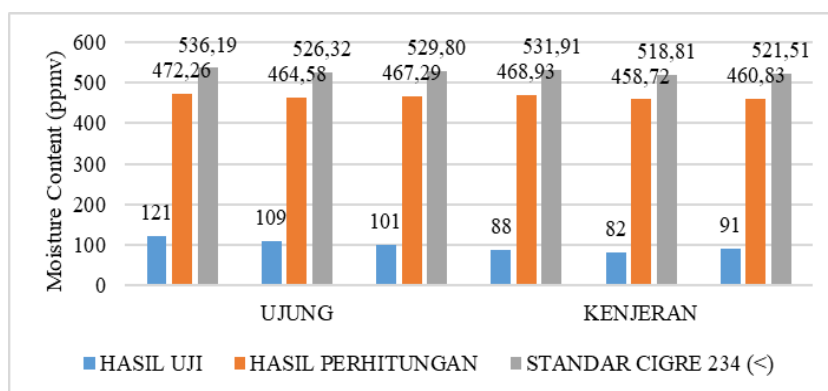
Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Dew Point pada Tahun 2021

Berdasarkan grafik diatas, nilai dew point jauh di bawah standar ($< -5^{\circ}\text{C}$), sehingga kondisi gas SF_6 aman untuk operasi, dengan hasil perhitungan tahun 2022 konsisten sama seperti tahun 2021.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Kualitas Gas SF_6

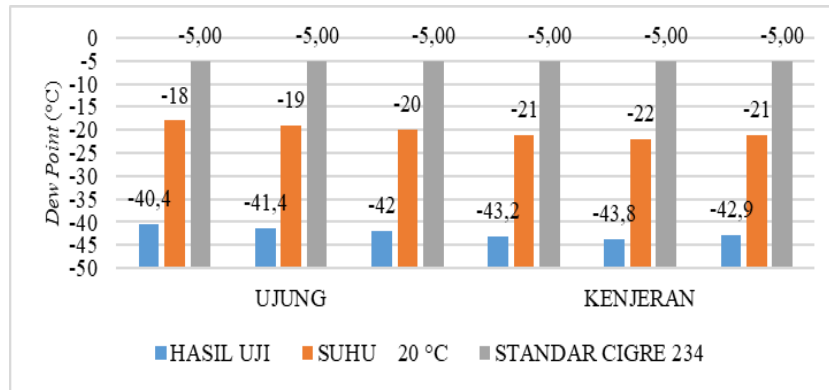
Bay	Phasa	Moisture Content (ppmv)	Dew Point ($^{\circ}\text{C}$)
Ujung	R	472,26	-18
	S	464,58	-19
	T	467,29	-20
Kenjeran	R	468,93	-21
	S	458,72	-22
	T	460,83	-21

Nilai moisture content pada Bay Ujung (464–472 ppmv) dan Kenjeran (458–468 ppmv) masih berada di bawah ambang batas standar 500–550 ppmv, sedangkan dew point berkisar -20°C hingga -24°C yang jauh lebih rendah dari batas standar -5°C , sehingga kondisi gas SF_6 pada kedua bay dapat dikategorikan aman untuk operasi.



Gambar 4. Grafik Hasil Perbandingan Nilai Moisture Content Tahun 2023

Berdasarkan grafik diatas, pada tahun 2023 nilai moisture content berada di bawah batas CIGRE 234 (≤ 500 – 550 ppmv), sehingga kondisi gas SF_6 pada Bay Ujung dan Kenjeran tetap aman untuk operasi.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai *Dew Point* pada Tahun 2023

Berdasarkan grafik diatas, pada tahun 2023 nilai *dew point* jauh lebih rendah dari standar ($< -5^{\circ}\text{C}$), sehingga kondisi gas SF_6 pada Bay Ujung dan Kenjeran tetap aman untuk operasi.

4. Hasil Perhitungan Prediksi Sisa Umur PMT
 - a. Menghitung nilai koefisien A, B, dan C [14]
 - b. Menghitung prediksi sisa umur PMT [15]

$$y = f(x) = Ax^2 + Bx + C$$

Tabel 7. Prediksi Sisa Umur Pakai PMT Bay Ujung

Tahun	Xk	Yk	Sisa Umur Pakai (Tahun)	Tahun	Xk	Yk	Sisa Umur Pakai (Tahun)
2020	1	389	35	2038	19	932	35
2021	2	397	35	2039	20	987	35
2022	3	408	35	2040	21	1044	35
2023	4	421	35	2041	22	1104	35
2024	5	437	35	2042	23	1166	35
2025	6	456	35	2043	24	1231	35
2026	7	477	35	2044	25	1299	35
2027	8	501	35	2045	26	1369	35
2028	9	527	35	2046	27	1441	35
2029	10	556	35	2047	28	1516	35
2030	11	588	35	2048	29	1594	35
2031	12	622	35	2049	30	1675	35
2032	13	658	35	2050	31	1757	35
2033	14	698	35	2051	32	1843	35
2034	15	739	35	2052	33	1931	35
2035	16	784	35	2053	34	2022	35
2036	17	831	35				
2037	18	880	35				

Peningkatan jumlah trip ini tidak selalu menunjukkan adanya gangguan besar, melainkan mencerminkan bahwa sistem proteksi bekerja optimal dalam mengamankan jaringan. Meski demikian, evaluasi kondisi PMT secara berkala tetap diperlukan melalui pemeliharaan preventif, pengujian rutin, dan analisis penyebab trip agar kinerja PMT terjaga hingga akhir masa pakai tanpa mengalami kegagalan dini.

Tabel 8. Prediksi Sisa Umur Pakai PMT Bay Kenjeran

Tahun	Xk	Yk	Sisa Umur Pakai (Tahun)	Tahun	Xk	Yk	Sisa Umur Pakai (Tahun)
2020	1	499	34	2038	19	1042	34
2021	2	507	34	2039	20	1097	34
2022	3	518	34	2040	21	1154	34
2023	4	531	34	2041	22	1214	34
2024	5	547	34	2042	23	1276	34
2025	6	566	34	2043	24	1341	34
2026	7	587	34	2044	25	1409	34
2027	8	611	34	2045	26	1479	34
2028	9	637	34	2046	27	1551	34
2029	10	666	34	2047	28	1626	34
2030	11	698	34	2048	29	1704	34
2031	12	732	34	2049	30	1785	34
2032	13	768	34	2050	31	1867	34
2033	14	808	34	2051	32	1953	34
2034	15	849	34	2052	33	2041	34

Tahun	Xk	Yk	Sisa Umur Pakai (Tahun)	Tahun	Xk	Yk	Sisa Umur Pakai (Tahun)
2035	16	894	34				
2036	17	941	34				
2037	18	990	34				

Peningkatan jumlah trip ini tidak selalu menunjukkan adanya gangguan besar, melainkan mencerminkan bahwa sistem proteksi bekerja optimal dalam mengamankan jaringan. Meski demikian, evaluasi kondisi PMT secara berkala tetap diperlukan melalui pemeliharaan preventif, pengujian rutin, dan analisis penyebab trip agar kinerja PMT terjaga hingga akhir masa pakai tanpa mengalami kegagalan dini.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan prediksi sisa umur PMT menggunakan Regresi Polinomial, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis kualitas gas SF₆ pada PMT Bay Ujung dan Kenjeran di GIS 150 kV Kedinding dengan fokus pada parameter *dew point* dan *moisture content* serta kaitannya dengan kondisi lingkungan. Hasil pengujian periode 2021–2023 menunjukkan bahwa kondisi gas SF₆ masih berada dalam kategori sangat baik dan aman, dengan *purity* 99,9% (>97%), *moisture content* maksimum 105 ppmv, *dew point* -41,7 °C hingga -45,4 °C, serta kandungan SO₂ 0 ppmv (<12 ppmv). Temuan ini menegaskan bahwa kualitas gas SF₆ masih sesuai standar IEC dan CIGRE, sehingga dapat mendukung keandalan operasi PMT. Selain itu, hasil penelitian ini memberikan dasar penting bagi penerapan strategi *condition-based maintenance* untuk menjaga kualitas gas, mengoptimalkan pemeliharaan, memperpanjang umur pakai peralatan, serta meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik secara keseluruhan.
2. Prediksi menunjukkan PMT Bay Ujung dan Kenjeran masih memiliki sisa umur 34–35 tahun sejak pemasangan 2018. Mengacu pada spesifikasi CB Merlin Gerin Tipe FG 3, batas jumlah trip yang diizinkan adalah 2000 kali dan diperkirakan tercapai pada 2052–2053. Kenaikan jumlah trip relatif stabil hingga 2040 dan meningkat setelahnya, sehingga PMT masih aman beroperasi hingga mendekati 2050 dengan syarat dilakukan pemeliharaan preventif, pengujian berkala, serta perencanaan penggantian tepat waktu untuk menjaga keandalan sistem. Untuk penelitian selanjutnya disarankan membandingkan regresi polinomial dengan metode *machine learning* atau jaringan saraf tiruan serta menambahkan variabel seperti temperatur, beban sistem, dan riwayat gangguan agar model prediksi lebih akurat dan bermanfaat bagi pengelolaan aset jangka panjang.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Hasan, “ANALISIS PENGGUNAAN GAS SF₆ PADA PEMUTUS TENAGA (PMT) DI GARDU INDUK CIGERELENG BANDUNG,” vol. 11, no. 2, pp. 81–93, 2012.
- [2] Rahman Azis Prasajo, Devi Soviati Mahmudah, Imron Ridzki, Muhammad Fahmi Hakim, and Priya Surya Harijanto, “Penilaian Kualitas Gas SF₆ Pada GISTET 500/150 kV,” *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 93–98, 2023, doi: 10.33795/elposys.v9i3.643.
- [3] J. R. Maya Veby Damayanti Pasaribu, “METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS 1,” no. 112, pp. 117–125, 2017.
- [4] A. Goeritno, S. Rasiman, and Z. Komara, “Kinerja Pemutus Tenaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF₆ Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri,” vol. 12, no. 2, pp. 104–111, 2018.
- [5] I. P. Senayan, “PENGUJIAN KINERJA PMT 20 kV PADA KUBIKEL NETTO GARDU INDUK PLTMG SENAYAN,” vol. 26, no. 1, pp. 45–53, 2023.
- [6] T. Jawa, B. Tengah, A. Sewagetra, and D. Fauziah, “Analisis Moisture Content dan Dew Point Gas SF₆ Pada PMT di Gardu Induk Cigereleng PT PLN (Persero),” pp. 305–315, 2021.
- [7] T. Suheta, “ANALYSIS DESICCANT ADDITION TO THE QUALITY OF SF₆ GAS COMPARTMENT FOR GAS INSULATED SWITCHGEAR 150KV,” vol. 11, no. 13, pp. 1–5, 2016.

-
- [8] 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, p. 57, 2021, doi: 10.30591/polektro.v10i2.2568.
- [9] P. Harunanda and D. Fauziah, "Analisis Pengaruh Tekanan Gas SF6 terhadap Laju Busur Listrik pada PMT di Gardu Induk Cilegon PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat," *Sneto*, vol. 16, no. 1, pp. 354–361, 2021, [Online]. Available: <https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/sneto/article/view/750%0Ahttps://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/sneto/article/download/750/624>
- [10] T. B. Utami, A. Subekhi, A. Abdullah, A. Suprayitno, and M. K. Prasetyo, "Analisis Penurunan Tekanan Gas Sulfur Hexafluorida (Sf6) Pada Pemutus Tenaga 150 KV Siemens 3AQ1EG," vol. 14, no. 1, pp. 12–25, 2024, doi: 10.51132/teknologika.v14i1.
- [11] M. Ridwan, D. Irawan, F. Teknik, and U. M. Gresik, "Analisis Moisture Content dan Dew Point Gas SF6 PMT di GITET Gresik PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali," vol. 4, no. 2, pp. 694–704, 2023.
- [12] "ANALISIS PADA SEALINGEND TERHADAP TEKANAN MOISTURE CONTENT DAN DEWPOINT GIS KIARACONDONG," vol. 2, no. 1, pp. 49–56, 2019.
- [13] M. Jamal, "Evaluasi Kualitas Gas SF6 pada Gas Insulated Switchgear Setelah Revitalisasi Studi Kasus pada PT.PLN (PERSERO) GIS SIMPANG," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 2, pp. 221–231, 2025, doi: 10.23960/elc.v19n2.2813.
- [14] P. Kasus and D. Pemasaran, "PENGEMBANGAN MODEL REGRESI POLINOMIAL BERGANDA PADA KASUS DATA PEMASARAN".
- [15] H. R. A. Dama, A. A. Supianto, and N. Y. Setiawan, "Analisis Penggunaan Model Regresi untuk Prediksi Penjualan Spare Part pada AHASS Nur Andhita Grogol," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 12, pp. 5591–5603, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>