



Analisis Kualitas Daya Listrik dan Keandalan Pelayanan pada Penyulang Nayak, Kaonak, Byak, Baliem, Napua, dan Interkoneksi 20 Kv PLN Wamena

Muhammad Yuski Firmansyah^{1*}, Arief Marwanto²

¹⁻² Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

Email: muhammadyuski26@gmail.com¹, arief@unissula.ac.id²

*Penulis Korespondensi: muhammadyuski26@gmail.com

Abstract: In the working area of PT PLN (Persero) UP3 Wamena, the electricity distribution system still uses a radial configuration which has weaknesses in service continuity and feeder reliability on the 20 kV Medium Voltage Network (JTM). Geographical challenges and extreme climate in the Papua Mountains Province also exacerbate this condition. This study aims to analyze the reliability level of the Kaonak, Nayak, Baliem, Byak, Napua, and Interconnection Feeders using the SAIDI, SAIFI, CAIDI, and MAIFI index calculations according to the SPLN: 68-2 Year 1986 and IEEE 1366-2012 standards. The calculation results show that most feeders in 2023 and some in 2024 have not met the SAIDI and SAIFI standards according to SPLN and IEEE despite significant improvements in 2024. Meanwhile, the CAIDI index of all feeders is still within reasonable limits according to both standards. The MAIFI index cannot be calculated due to limited recloser equipment performance. Frequency quality still meets standards (50.2-50.3 Hz), but the total harmonic distortion (THD) of the feeders exceeds the limit with a value of $\geq 5\%$. The main network reliability issues are caused by difficult topography, limited access, and natural conditions that complicate disturbance management. Recommendations to improve network reliability include maintenance and optimization of primary distribution materials.

Keywords: CAIDI; MAIFI; Reliability; SAIDI; SAIFI

Abstrak: Di wilayah kerja PT PLN (Persero) UP3 Wamena, sistem distribusi listrik masih menggunakan konfigurasi radial yang memiliki kelemahan dalam kontinuitas layanan dan keandalan penyulang pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV. Tantangan geografis dan iklim ekstrem di Provinsi Papua Pegunungan turut memperburuk kondisi ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat keandalan Penyulang Kaonak, Nayak, Baliem, Byak, Napua, dan Interkoneksi dengan menggunakan perhitungan indeks SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan MAIFI sesuai dengan standar SPLN: 68-2 Tahun 1986 dan IEEE 1366-2012. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sebagian besar penyulang pada tahun 2023 dan sebagian pada 2024 belum memenuhi standar SAIDI dan SAIFI menurut SPLN dan IEEE meskipun ada perbaikan signifikan pada 2024. Sementara itu, indeks CAIDI seluruh penyulang masih berada dalam batas wajar sesuai kedua standar tersebut. Indeks MAIFI belum dapat dihitung karena keterbatasan kinerja peralatan recloser. Kualitas frekuensi masih memenuhi standar (50,2-50,3 Hz), tetapi distorsi harmonik total (THD) penyulang melebihi batas dengan nilai $\geq 5\%$. Permasalahan utama keandalan jaringan disebabkan oleh topografi berat, akses terbatas, dan kondisi alam yang mempersulit penanganan gangguan. Rekomendasi untuk meningkatkan keandalan jaringan mencakup pemeliharaan dan optimalisasi material distribusi utama.

Kata kunci: CAIDI; Keandalan; MAIFI; SAIDI; SAIFI.

1. LATAR BELAKANG

Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV memiliki peranan krusial dalam proses distribusi tenaga listrik, karena menjadi jalur utama sebelum energi listrik diturunkan tegangannya melalui trafo step down 20 kV/380–220 Volt dan didistribusikan ke pelanggan melalui jaringan tegangan rendah. Konfigurasi JTM terdiri dari beberapa tipe, antara lain radial, loop, dan grid (Kelompok Kerja Standar Konstruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia, 2010). Salah satu konfigurasi yang umum digunakan khususnya di wilayah dengan kepadatan beban rendah adalah sistem radial.

Konfigurasi ini memiliki keunggulan dalam kesederhanaan teknis dan biaya instalasi yang relatif rendah. Namun, kelemahan utama dari sistem radial adalah tingkat keandalan yang rendah (Ramly Rasyid Mifta Muhammad, 2021). Jika terjadi gangguan terutama di dekat sumber, maka seluruh beban pada saluran tersebut akan terdampak sehingga kontinuitas pelayanan tidak terjamin. (Jasa Pendidikan dan Pelatihan PT PLN (Persero), 2006)

Permasalahan utama yang dihadapi adalah tingginya tingkat gangguan yang menyebabkan terganggunya suplai listrik kepada pelanggan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan konfigurasi radial yang memiliki satu aliran daya dan tidak memiliki jalur cadangan apabila terjadi gangguan (Hidayati et al., 2024). Dampaknya dapat dilihat dari nilai indeks keandalan seperti SAIDI (System Average Interruption Duration Index) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), yang menunjukkan durasi dan frekuensi gangguan yang dialami pelanggan dalam satu tahun (Marsudi, 2006). Nilai SAIDI dan SAIFI yang tinggi mencerminkan kualitas layanan yang rendah serta menurunnya kepuasan pelanggan (Hajar1 et al., n.d.).

Kondisi sosial dan geografis di wilayah kerja PT PLN (Persero) UP3 Wamena yang tersebar di beberapa kabupaten di Provinsi Papua Pegunungan turut memperburuk permasalahan ini. Medan yang sulit dijangkau dan penyebaran beban yang tidak merata menyulitkan upaya pemeliharaan dan peningkatan sistem distribusi (Candra et al., n.d.).

Sebagai solusi, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis tingkat keandalan Penyulang Nayak, Kaonak, Byak, Baliem, Napua dan Interkoneksi di wilayah kerja PT PLN (Persero) UP3 Wamena dengan menggunakan parameter SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan MAIFI berdasarkan standar SPLN: 68-2 Tahun 1986 dan IEEE 1366-2012. Hasil perhitungan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis gangguan yang paling sering terjadi serta menganalisis kualitas daya melalui pengukuran frekuensi dan Total Harmonic Distortion (THD) (Wibowo et al., 2024). Berdasarkan data tersebut, dapat disusun rekomendasi pemeliharaan preventif dan korektif yang tepat guna meningkatkan keandalan jaringan dan kualitas pelayanan kepada pelanggan (Setiawati et al., n.d.).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini diawali dengan tahapan pengolahan data menggunakan pendekatan perhitungan dan pengukuran berbagai indeks keandalan sistem tenaga listrik. Indeks yang dihitung meliputi SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan MAIFI, yang masing-masing menggambarkan durasi gangguan, frekuensi gangguan, rata-rata durasi gangguan, serta gangguan sesaat. Perhitungan SAIDI dilakukan dengan mengalikan durasi padam dengan

jumlah pelanggan terdampak lalu membaginya dengan jumlah pelanggan yang dilayani. SAIFI dihitung dengan membagi jumlah pelanggan terdampak gangguan terhadap jumlah total pelanggan. Indeks CAIDI selanjutnya diperoleh dengan membagi nilai SAIDI dengan SAIFI. Selain itu, MAIFI dihitung berdasarkan rasio pelanggan terdampak gangguan sesaat terhadap total pelanggan keseluruhan. Penelitian juga melakukan pengukuran parameter kualitas daya berupa frekuensi dan total harmonic distortion (THD). Pengukuran frekuensi disesuaikan dengan standar nasional 50 Hz, sedangkan nilai THD dianalisis berdasarkan ketentuan IEEE 519-1992. Seluruh hasil pengukuran dan perhitungan ini kemudian dibandingkan dengan standar SPLN 68-2:1986 dan IEEE 1366-2012 untuk melihat tingkat keandalan sistem.

Tahap analisis data dilakukan dengan mengolah data gangguan yang diperoleh dari Aplikasi Pengaduan dan Keluhan Terpadu (APKT) untuk menentukan nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan MAIFI pada setiap penyulang. Data tersebut kemudian dievaluasi dengan cara membandingkannya terhadap standar nasional maupun internasional guna mengetahui tingkat mutu pelayanan sistem distribusi. Selain itu, dilakukan analisis deskriptif terhadap kualitas daya berdasarkan hasil pengukuran tegangan, frekuensi, dan THD pada beberapa gardu distribusi. Analisis ini juga mencakup identifikasi faktor-faktor yang memengaruhi penurunan kualitas daya pada penyulang tertentu. Selanjutnya, jenis gangguan dengan frekuensi tertinggi pada tiap penyulang dianalisis untuk mengetahui pola gangguan jaringan. Hasil analisis digunakan untuk menentukan prioritas pemeliharaan jaringan distribusi secara lebih terarah. Tahap ini juga dilengkapi dengan visualisasi diagram pareto untuk mempermudah proses pengambilan keputusan pemeliharaan. Data pendukung berupa single line diagram dan data gangguan tahun 2023–2024 turut digunakan untuk memvalidasi pola gangguan. Secara keseluruhan, metode analisis ini bertujuan menghasilkan rekomendasi peningkatan keandalan jaringan yang berbasis data.

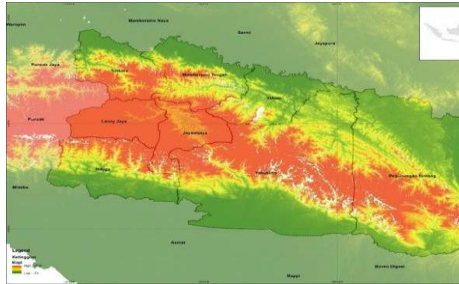
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Tantangan Geografis dan Kondisi Iklim terhadap Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV

Kondisi Geografis dan Iklim Provinsi Papua Pegunungan

Provinsi Papua Pegunungan, yang dibentuk pada 30 Juni 2022, terdiri dari delapan kabupaten dengan pusat pemerintahan di Jayawijaya. Wilayah ini seluruhnya berada di kawasan pegunungan ekstrem dengan ketinggian mencapai 4.820 mdpl, sehingga kondisi geografis dan iklim dingin bersuhu 19–27°C sangat memengaruhi perencanaan dan operasional sistem kelistrikan (Wikipedia, 2023).

Topografi terjal Pegunungan Tengah, lembah-lembah seperti Lembah Baliem dan Lembah Toli, serta keterbatasan akses infrastruktur menjadikan pembangunan jaringan distribusi dan pemeliharaan aset kelistrikan lebih menantang. Kondisi ini menuntut strategi khusus dalam meningkatkan keandalan pasokan listrik, termasuk penguatan jaringan, efisiensi gardu, serta pemilihan teknologi yang sesuai dengan karakter wilayah pegunungan.



Gambar 1. Peta Topografi Provinsi Papua Pegunungan.

Dampak terhadap Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV

Kondisi geografis yang berat dan iklim ekstrem di Papua Pegunungan berdampak signifikan terhadap keandalan jaringan distribusi listrik 20 kV. Sistem yang masih menggunakan konfigurasi radial rentan terhadap gangguan eksternal seperti cuaca buruk, pohon tumbang, dan kerusakan peralatan, yang menyebabkan seringnya pemadaman listrik (Pasra et al., 2022). Durasi pemadaman cenderung lama karena medan pegunungan dan lokasi yang sulit diakses memperlambat proses penormalan. Seperti beberapa gangguan berikut yang dapat dilihat dari data Tabel 5.

- a. Gangguan pada Penyulang Kaonak tanggal 26 Januari 2023 di Distrik Siepkosi menunjukkan dampak medan berat terhadap durasi pemadaman, yang mencapai 2 jam 20 menit. Akses menuju lokasi hanya memungkinkan menggunakan kendaraan 4x4, sehingga proses penanganan gangguan memerlukan waktu lebih lama.
- b. Pada 12 Februari 2024 terjadi gangguan listrik di wilayah Distrik Wamena Kota hingga Molagalome dengan durasi padam selama 1 jam. Lokasi gangguan yang sulit dijangkau kembali menunjukkan bahwa kondisi geografis menjadi kendala utama dalam penanganan gangguan jaringan.
- c. Gangguan pada 2 Maret 2023 berasal dari kerusakan mesin pembangkit PLTD Elelim di Kabupaten Yalimo, dengan durasi padam 5 jam 1 menit. Lamanya pemadaman disebabkan oleh kerusakan material (racor) dan keterlambatan pengiriman suku cadang dari Wamena, yang harus ditempuh melalui jalur darat selama 4 jam jika kondisi jalan.

Identifikasi SAIFI, SAIDI, CAIDI dan MAIFI

Berikut ini merupakan perhitungan SAIFI, SAIDI dan CAIDI dari Data Tahun 2023 dan 2024 secara matematisnya:

Data Tahun 2023

a. SAIFI

Tabel 1. Hasil Perhitungan SAIFI Penyulang di Tahun 2023.

No	Nama Penyulang	Jumlah Pelanggan Terdampak Padam	Jumlah Pelanggan Penyulang	SAIFI (kali/ pelanggan/ tahun)	SPLN (3 Kali/ Pelanggan/ Tahun)	IEEE (1,5 Kali/ Pelanggan/ Tahun)
1	Kaonak	308372	8149	37,84	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
2	Nayak	18630	6210	3	Sesuai	Tidak Sesuai
3	Baliem	50623	2201	23	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
4	Byak	10603	461	23	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
5	Napua	211411	9117	23,19	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
6	Interkoneksi	7544	328	23,00	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai

b. SAIDI

Tabel 2. Hasil Perhitungan SAIDI Penyulang di Tahun 2023.

No	Nama Penyulang	Jumlah Pelanggan Terdampak Padam	Jumlah Pelanggan Penyulang	SAIDI (jam/ pelanggan/ tahun)	SPLN (0,35 jam/ Pelanggan/ Tahun)	IEEE (3,3 jam/ Pelanggan/ Tahun)
1	Kaonak	127946,00	8149	15,70	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
2	Nayak	5692,50	6210	0,92	Tidak Sesuai	Sesuai
3	Baliem	20579,35	2201	9,35	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
4	Byak	284,28	461	0,62	Tidak Sesuai	Sesuai
5	Napua	573,33	9117	0,06	Sesuai	Sesuai
6	Interkoneksi	2908,27	328	8,87	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai

c. CAIDI

Tabel 3. Hasil Perhitungan CAIDI Penyulang di Tahun 2023.

No	Nama Penyulang	SAIFI	SAIDI	CAIDI (jam/pelanggan/tahun)	SPLN (0,3 jam/Pelanggan/Tahun)	IEEE (2 jam/Pelanggan/Tahun)
1	Kaonak	37,84	15,70	0,41	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
2	Nayak	3	0,92	0,31	Tidak Sesuai	Sesuai
3	Baliem	23	9,35	0,41	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
4	Byak	23	0,62	0,03	Sesuai	Sesuai
5	Napua	23,19	0,06	0,00	Sesuai	Sesuai
6	Interkoneksi	23	8,87	0,39	Tidak Sesuai	Sesuai

Data Tahun 2024

a. SAIFI

Tabel 4. Hasil Perhitungan SAIFI Penyulang di Tahun 2024.

No	Nama Penyulang	Jumlah Pelanggan Terdampak Padam	Jumlah Pelanggan Penyulang	SAIFI (kali/pelanggan/tahun)	SPLN (3 Kali/Pelanggan/Tahun)	IEEE (1,5 Kali/Pelanggan/Tahun)
1	Kaonak	45310	8149	5,56	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
2	Nayak	12420	6210	2,00	Sesuai	Tidak Sesuai
3	Baliem	4402	2201	2,00	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
4	Byak	922	461	2,00	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
5	Napua	18234	9117	2,00	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
6	Interkoneksi	656	328	2,00	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai

b. SAIDI

Tabel 5. Hasil Perhitungan SAIDI Penyulang di Tahun 2024.

No	Nama Penyulang	Jumlah Pelanggan Terdampak Padam	Jumlah Pelanggan Penyulang	SAIDI (jam/pelanggan/tahun)	SPLN (0,35 jam/Pelanggan/Tahun)	IEEE (3,3 jam/Pelanggan/Tahun)
1	Kaonak	21631,12	8149	2,65	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai
2	Nayak	8073,00	6210	1,30	Tidak Sesuai	Sesuai
3	Baliem	2861,30	2201	1,30	Tidak Sesuai	Sesuai
4	Byak	115,25	461	0,25	Sesuai	Sesuai
5	Napua	11852,10	9117	1,30	Tidak Sesuai	Sesuai
6	Interkoneksi	426,40	328	1,30	Tidak Sesuai	Tidak Sesuai

c. CAIDI

Tabel 6. Hasil Perhitungan CAIDI Penyulang di Tahun 2024.

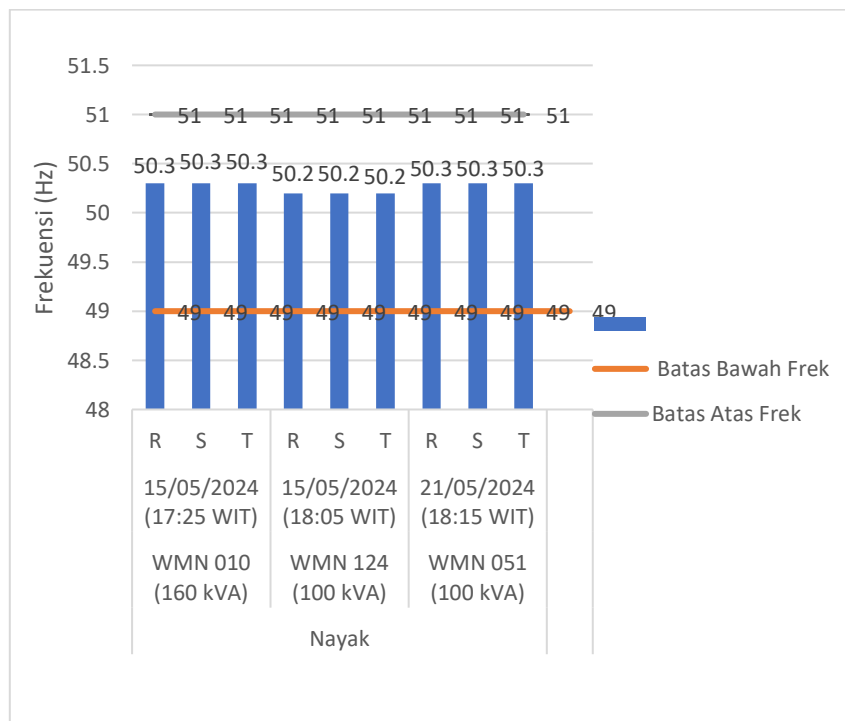
No	Nama Penyulang	SAIFI	SAIDI	CAIDI (jam/pelanggan/tahun)	SPLN (0,3 jam/Pelanggan/Tahun)	IEEE (2 jam/Pelanggan/Tahun)
1	Kaonak	5,56	2,65	0,48	Tidak Sesuai	Sesuai
2	Nayak	2,00	1,30	0,65	Tidak Sesuai	Sesuai
3	Baliem	2,00	1,30	0,65	Tidak Sesuai	Sesuai
4	Byak	2,00	0,25	0,13	Sesuai	Sesuai
5	Napua	2,00	1,30	0,65	Sesuai	Sesuai
6	Interkoneksi	2,00	1,30	0,65	Tidak Sesuai	Sesuai

Identifikasi Hasil Pengukuran Frekuensi dan *Total Harmonic Distortion*

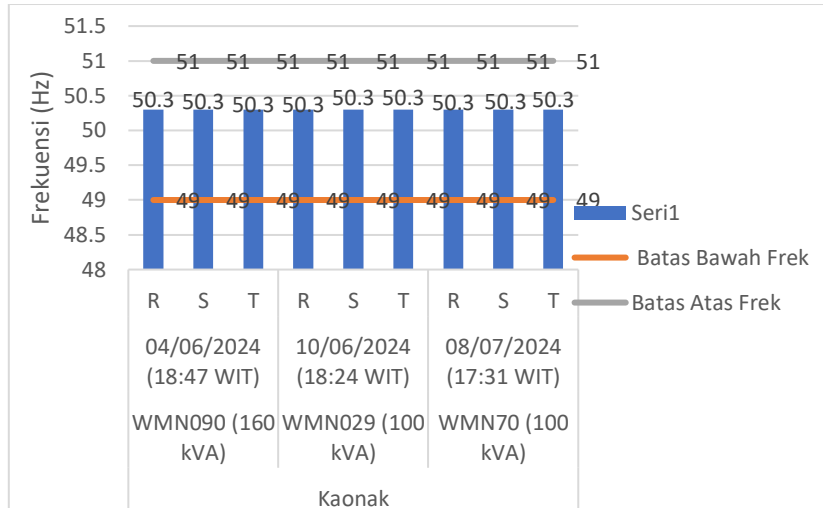
Berdasarkan pengukuran terhadap kualitas frekuensi dan THD (Total Harmonic Distortion) baik THD komponen harmonik RMS (THD-RMS) maupun THD komponen harmonik gelombang fundamental (THD-F) menggunakan alat ukur Tang Ampere Hioki Pengukuran THD RMS Fundamental (THD-RMS) bertujuan untuk menilai seberapa besar gangguan harmonik terhadap sinyal listrik utama, sedangkan pengukuran THD Fundamental (THD-F) bertujuan untuk referensi tambahan dalam sistem kelistrikan dan deteksi cepat apabila ada gangguan harmonik akut di gardu atau penyulang (Wiguna et al., 2018).

Dari data diambil sampel tiga gardu masing-masing penyulang dengan jarak dari pembangkit mulai dari yang terdekat, di Tengah, dan terjauh. Dari enam penyulang hanya satu penyulang yang belum dilakukan pengukuran yaitu pada penyulang Byak. Standar yang digunakan untuk kualitas frekuensi mengacu pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2020 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik dengan standar frekuensi pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV yaitu $49,00 \text{ Hz} \leq f \leq 51,00 \text{ Hz}$, sedangkan untuk THD (Total Harmonic Distortion) mengacu pada standar IEEE 519-2014 dengan fokus pada standar THD-R yaitu $\leq 5\%$ di PCC (Point of Common Coupling) untuk THD-F hanya untuk visualisasi bentuk gelombang secara umum dan tidak ada standar khususnya.

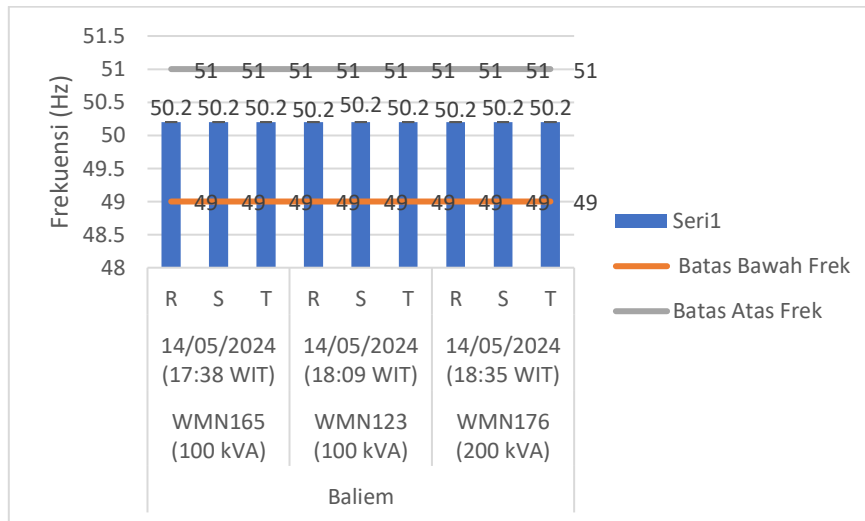
Berikut merupakan gambaran dari kualitas frekuensi dan THD (Total Harmonic Distortion) pada penyulang-penyulang di wilayah UP3 Wamena, meliputi Penyulang Nayak, Penyulang Kaonak, Penyulang Baliem, Penyulang Napua, dan Penyulang Interkoneksi.



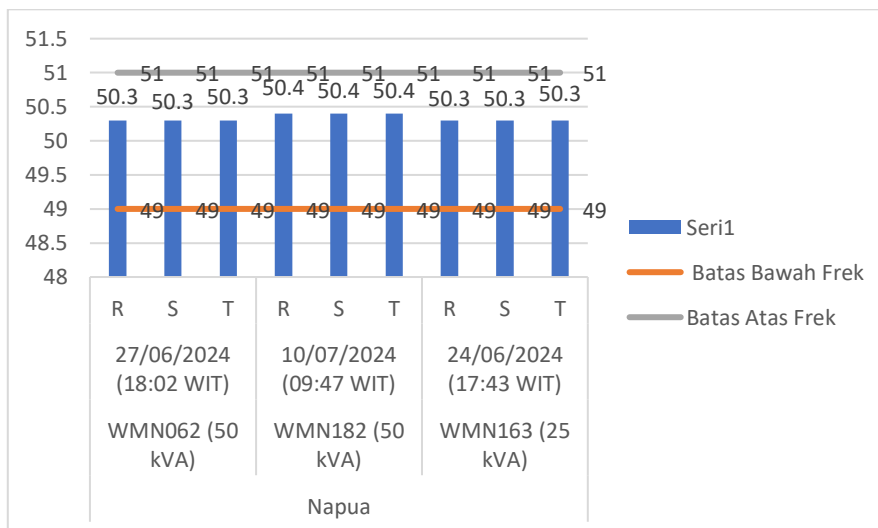
Gambar 1. Pengukuran Frekuensi Penyulang Nayak.



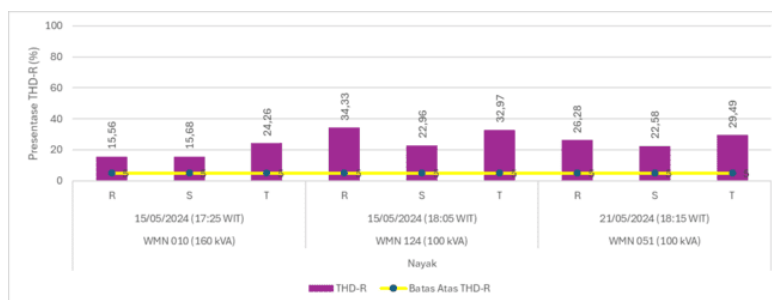
Gambar 2. Pengukuran Frekuensi Penyulang Kaonak.



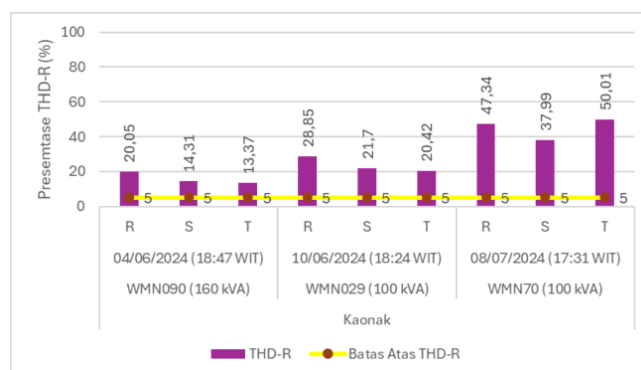
Gambar 4. Pengukuran Frekuensi Penyulang Baliem.



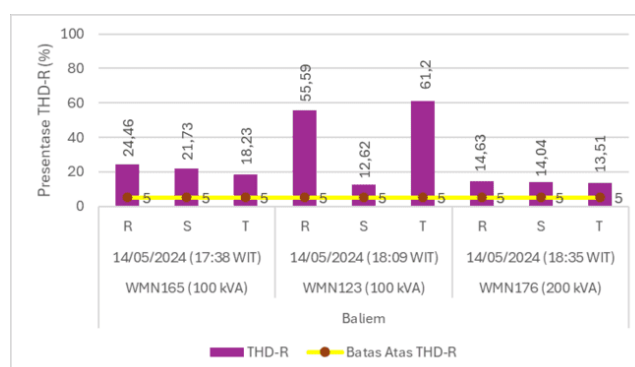
Gambar 3. Pengukuran Frekuensi Penyulang Napua.



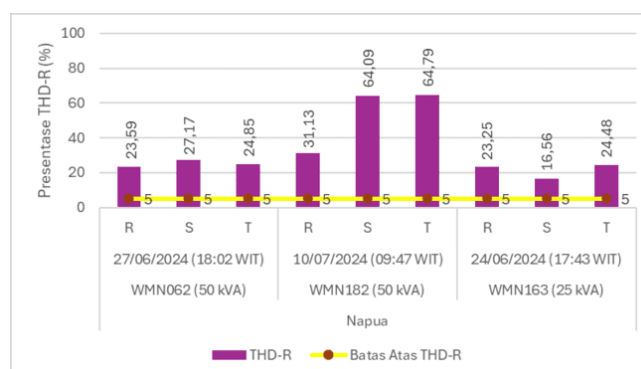
Gambar 4. Pengukuran Frekuensi Penyulang Interkoneksi.



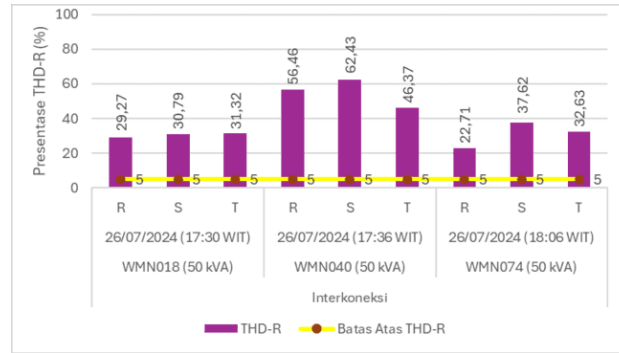
Gambar 5. Pengukuran THD-R Penyulang Nayak.



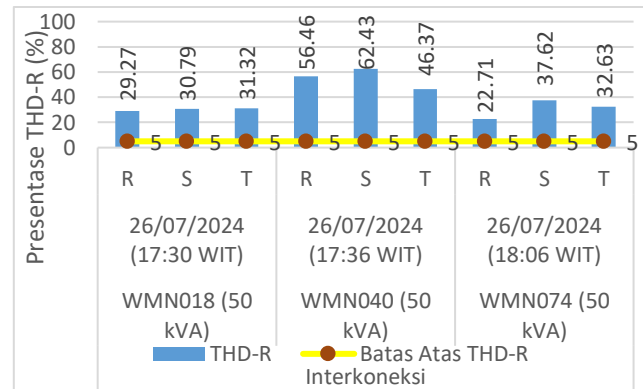
Gambar 8. Pengukuran THD-R Penyulang Kaonak.



Gambar 6. Pengukuran THD-R Penyulang Baliem.



Gambar 7. Pengukuran THD-R Penyulang Napua



Gambar 11. Pengukuran THD-R Penyulang Interkoneksi.

Dari keseluruhan data yang diambil sampel semua penyulang di UP3 Wamena memiliki kualitas frekuensi yang baik dan sudah memenuhi standar dengan frekuensi pada kisaran 50,2-50,3 Hz, sedangkan untuk kualitas Total Harmonic Distortion (THD) keseluruhan masih belum memenuhi standar $\leq 5\%$.

Jika dilihat dari data pada tabel 3.6, gardu yang posisinya jauh dari pembangkit atau terdapat di ujung penyulang, nilai THD-R nya cenderung lebih tinggi dari gardu yang posisinya di Tengah penyulang maupun di pangkal penyulang. Hal ini menunjukkan bahwa faktor impedansi yang tinggi akibat jarak antara pembangkit dan gardu tersebut yang jauh dapat mempengaruhi nilai THD-R tersebut. Nilai THD-R yang besar juga dapat disebabkan karena beberapa faktor lain seperti gardu distribusi yang tidak dilengkapi filter harmonik, sistem distribusi dengan jaringan radial, kualitas grounding yang tidak seragam, AVR (*Automatic Voltage Regulator*) dengan setting tidak optimal, serta *underload* trafo yang dapat menyebabkan nilai THD tinggi.

Saran Pekerjaan Pemeliharaan Untuk Meningkatkan Tingkat Keandalan dan Kualitas Daya

Pada tahun 2023, penyebab gangguan yang berakibat pemadaman listrik terbagi dalam beberapa kelompok fasilitas. Gangguan pada sisi pembangkit tercatat sebagai penyumbang terbesar dengan total 199.621 pelanggan terdampak pemadaman tidak terencana. Selain itu,

pada fasilitas penyulang sub-fasilitas SUTM, gangguan pada titik konduktor menyebabkan 124.052 pelanggan terdampak, sedangkan gangguan pada titik co-branch menyebabkan 1.239 pelanggan terdampak. Dua kelompok gangguan tersebut menjadi faktor dominan yang menimbulkan pemadaman terbesar bagi pelanggan. Meski demikian, terjadi penurunan signifikan pada kelompok gangguan di sisi pembangkit, dari sebelumnya 199.621 pelanggan terdampak menjadi hanya 29.941 pelanggan. Dari sisi kualitas daya, terutama parameter frekuensi, sistem masih berada dalam batas standar sehingga tidak menimbulkan permasalahan. Pada aspek Total Harmonic Distortion (THD-R), seluruh hasil pengukuran sampel di 3 gardu pada tiap penyulang menunjukkan nilai di atas standar IEEE 519-2014. Tingginya nilai THD-R ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

- a. Gardu distribusi tidak dilengkapi filter harmonik
- b. Sistem distribusi masih menggunakan jaringan radial
- c. Kualitas grounding yang tidak seragam
- d. Setting AVR (Automatic Voltage Regulator) yang belum optimal
- e. Impedansi penghantar yang tinggi
- f. Beban trafo yang underload

4. KESIMPULAN

Keandalan jaringan 20 kV UP3 Wamena dipengaruhi topografi ekstrem dan konfigurasi radial. Tahun 2023, beberapa penyulang mencatat SAIDI–SAIFI jauh di atas standar, namun pada 2024 membaik signifikan dengan SAIDI 0,25–2,65 jam dan SAIFI 2–5,56 kali. Frekuensi tetap stabil di 50,2–50,3 Hz, sementara THD-R masih melebihi batas IEEE 519-2014. Gangguan terbesar berasal dari kerusakan pembangkit dan konduktor SUTM. Peningkatan keandalan memerlukan pemeliharaan berkelanjutan, penguatan jaringan, penambahan filter harmonik, serta optimalisasi konfigurasi distribusi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT PLN (Persero) UP3 Wamena atas dukungan data dan informasi yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Terima kasih juga kepada Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan fasilitas dan arahan selama proses penelitian. Tidak lupa, terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan artikel ini sehingga dapat diselesaikan sesuai dengan tujuan penelitian.

DAFTAR REFERENSI

- Candra, D., Gianto, R., & Arsyad, I. (n.d.). *EVALUASI KEANDALAN JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV PENYULANG IMBON DI PT.PLN (PERSERO) ULP KOTA*.
- Gede, I., Gunawan, A., Rinas, W., Wayan, I., & Wijaya, A. (2015). Analisis Distorsi Harmonisa Pada Penyulang Abang Karangasem Setelah Terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). *E-Journal SPEKTRUM*, 2(3).
- Gracia Susanto, C., & Ulinuha, A. (n.d.). *ANALYSIS OF THE EFFECT OF TOTAL HARMONIC DISTORTION ON LOSSES AND EFFICIENCY OF THREE PHASE INDUCTION MOTOR*.
- Hajar1, I., Muhammad, ;, Pratama, H., Elektro, T., Tinggi, S., & Pln, T. (n.d.). *ANALISA NILAI SAIDI SAIFI SEBAGAI INDEKS KEANDALAN PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK PADA PENYULANG CAHAYA PT. PLN (PERSERO) AREA CIPUTAT* (Vol. 10, Issue 1).
- Hidayati, N., Galla, W. F., & Likadja, F. J. (2024). Analisa Tingkat Keandalan Jaringan Listrik Terhadap Penambahan Recloser Pada Penyulang Camplong. In *Jurnal Teknik Elektro* (Vol. 1, Issue 2).
- Jasa Pendidikan dan Pelatihan PT PLN (Persero). (2006). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*.
- Kelompok Kerja Standar Konstruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia. (2010). *Buku Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik* (5th ed., Vol. 1). PT PLN (Persero).
- Marsudi, D. (2006). *OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK*.
- Pasra, N., Samsurizal, S., & Fajri, M. (2022). Evaluasi Tingkat Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Indeks SAIDI SAIFI. *SUTET*, 12(1), 31–41. <https://doi.org/10.33322/sutet.v12i1.1644>
- Ramly Rasyid Mifta Muhammad. (2021). *Kualitas Daya Listrik Pada Gardu Distribusi Universitas Khairun*. 4(1), 28–40. <http://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/josae>
- Riza Wahyu Hidayat, Ipniansyah, & Djalil, S. (2023). Analisis Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Wilayah Tenggara Sistem Mahakam. *PoliGrid*, 4(2). <https://doi.org/10.46964/poligrid.v4i2.33>
- Setiawati, S., Rofii, F., Siswanto, D., Teknik Elektro, J., & Widyagama Malang, U. (n.d.). Sistem Pemantauan Total Harmonic Distortion Secara Real Time Menggunakan Metode Feedforward Neural Network. *Seminar Nasional Fortei Regional*, 7.
- Wibowo, A. S., Sinambela, R., & Wibiwo, A. S. (2024). Quality Of Electric Power For Eelectronic Devices Kualitas Daya Listrik Terhadap Perangkat Elektronik. *Journal of Scientech Research and Development*, 6(1). <https://idm.or.id/JSCR/inde>
- Wiguna, I. K. A., Rinas, I. W., & Wijaya, I. W. A. (2018). Analisis Penggunaan Filter Damped untuk Mereduksi Total Harmonic Distortion (THD) di Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Klungkung. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(2), 159. <https://doi.org/10.24843/mite.2018.v17i02.p01>
- Wikipedia. (2023). Papua Pegunungan. In *Wikipedia* (p. 4). https://id.wikipedia.org/wiki/Papua_Pegunungan