

ANALISIS POLA OPERASI JARINGAN 20 KV PASCA BEROPERASINYA GARDU INDUK MOLIBAGU DI PLN UP3 KOTAMOBAGU

Yesthin Patasik¹, Ahmad Rizal Sultan², Ahmad Rosyid Idris³, Arief Rahmadani⁴

^{1,2,3}Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan KM 10., Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245, Indonesia; Telp/Fax : +62 (411) 585365

⁴PT.PLN (Persero)

Keywords:

Pola Operasi;
Jatuh Tegangan;
Losses;
Optimalisasi *Switching*.

Correspondent Email:

yesthinp@gmail.com

Abstrak. Sistem distribusi listrik berperan penting dalam menjaga kontinuitas dan kualitas pasokan energi. Di wilayah PT PLN (Persero) UP3 Kotamobagu, pengoperasian Gardu Induk (GI) Molibagu yang baru menunjukkan pola operasi yang belum optimal, ditandai dengan penurunan tegangan dan meningkatnya susut daya. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan pola operasi jaringan distribusi 20 kV pasca beroperasinya GI Molibagu melalui simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulasi aliran daya (load flow) menunjukkan bahwa sistem eksisting menghasilkan beban sebesar 39,703 MW dengan rugi-rugi daya (losses) sebesar 2,45 MW atau 6,17%. Hasil ini dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan formula Jogja yang menghasilkan susut sebesar 6,14%, di mana selisih 1,75% masih berada dalam batas toleransi (<10%). Simulasi lanjutan dilakukan untuk menganalisis aliran beban eksisting dan mengoptimalkan *switching* melalui metode Optimalisasi *Switching* guna mendapatkan konfigurasi jaringan yang lebih efisien. Hasil optimalisasi menunjukkan peningkatan kinerja sistem distribusi melalui penurunan losses dari 2,45 MW menjadi 2,359 MW, atau terjadi penghematan sebesar 0,091 MW. Persentase susut daya turun dari 6,17% menjadi 5,94%, atau terjadi penurunan sebesar 0,23%.

Abstract. The electrical distribution system plays a vital role in maintaining the continuity and quality of power supply. In the PT PLN (Persero) UP3 Kotamobagu area, the operation of the newly commissioned Molibagu Substation (GI) has shown a suboptimal operational pattern, marked by voltage drops and increased technical losses. This study aims to optimize the operational pattern of the 20 kV distribution network following the commissioning of GI Molibagu through simulations using ETAP software. The results show that the load flow simulation indicates the existing system carries a load of 39.703 MW with power losses of 2.45 MW or 6.17%. This result was compared with manual calculations using the Jogja formula, which yielded losses of 6.14%, where the 1.75% difference remains within the acceptable tolerance (<10%). Further simulations were conducted to analyze the existing load flow and optimize switching using the Switching Optimization method to obtain a more efficient network configuration. The optimization results show improved system performance through reduced losses from 2.45 MW to 2.359 MW, resulting in a savings of 0.091 MW. The loss percentage decreased from 6.17% to 5.94%, a reduction of 0.23%.

1. PENDAHULUAN

Sistem jaringan distribusi memiliki peran penting dalam menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen akhir, baik rumah tangga maupun industri. Ketersediaan dan keandalan sistem distribusi sangat menentukan kualitas layanan penyedia tenaga listrik. PT PLN (Persero), sebagai BUMN yang bertanggung jawab terhadap penyediaan listrik di Indonesia, memiliki kewajiban untuk menjamin kontinuitas dan efisiensi distribusi tenaga listrik.

PLN Unit Induk Distribusi (UID) Suluttenggo bertugas melayani pelanggan di tiga provinsi yaitu, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan Gorontalo. Salah satu unit pelaksana di bawahnya, yaitu UP3 Kotamobagu, memiliki wilayah kerja seluas 7.648,43 km² yang mencakup enam kabupaten/kota. Wilayah ini dilayani oleh lima gardu induk, termasuk GI Molibagu yang merupakan GI baru [1].

Dalam konteks ini, Gardu Induk berperan penting dalam mendistribusikan listrik dari sumber pembangkit menuju konsumen akhir (Pelanggan). Gardu Induk Molibagu merupakan GI baru pada wilayah kerja UP3 Kotamobagu, akan tetapi setelah pengoperasian dari GI Molibagu tersebut pola operasi yang diterapkan belum optimal sehingga berdampak pada hasil tegangan yang drop sehingga terjadi ketidakefisiennya sistem, yang juga dapat mempengaruhi pelayanan ke pelanggan. Penurunan tegangan dapat menimbulkan berbagai permasalahan, seperti penurunan keandalan sistem kelistrikan, risiko kerusakan pada perangkat elektronik, serta munculnya keluhan dari pelanggan [2]. Kondisi ini menunjukkan pentingnya upaya analisis dan pengelolaan jaringan distribusi secara optimal guna mengurangi dampak negatif tersebut dan menjaga mutu layanan.

Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah melakukan rekonfigurasi atau modernisasi gardu induk untuk meningkatkan performa jaringan distribusi dan mengurangi kemungkinan terjadinya penurunan tegangan di sisi pelanggan [3]. Konfigurasi ini dapat mengubah status saklar switching di jalur penghubung. Dalam sistem distribusi, rekonfigurasi jaringan digunakan untuk mengurangi tidak tersalurnya daya nyata secara tidak sempurna dan meningkatkan kualitas

tegangan yang disalurkan. Perubahan pola operasi merupakan salah satu tindakan paling hemat biaya untuk mengurangi kehilangan susut teknis karena hanya memerlukan relokasi perangkat switching yang sudah ada atau pemasangan perangkat baru di posisi yang tepat [4].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih dalam optimalisasi pola operasi jaringan 20 kV di wilayah kerja UP3 Kotamobagu pasca beroperasinya GI Molibagu, serta memberikan rekomendasi pola operasi yang lebih efisien dan andal. Selain itu, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan sistem jaringan distribusi di wilayah operasional kerja PLN UP3 Kotamobagu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konfigurasi Sistem Distribusi

Distribusi tenaga listrik adalah proses penyaluran energi listrik dari sistem transmisi ke konsumen akhir melalui jaringan distribusi. Sistem ini berperan penting dalam menjamin kontinuitas dan kualitas pasokan listrik ke berbagai segmen pengguna, mulai dari rumah tangga hingga industri. Efisiensi dan keandalan sistem distribusi sangat menentukan kualitas pelayanan kelistrikan kepada pelanggan [5].

Secara umum, konfigurasi jaringan distribusi tenaga listrik terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu jaringan radial dan jaringan tertutup. Jaringan radial hanya memiliki satu sumber pasokan, sehingga apabila terjadi gangguan, seluruh bagian yang terhubung akan padam. Sebaliknya, jaringan tertutup memiliki jalur pasokan alternatif sehingga dapat mengurangi area terdampak saat gangguan terjadi.

Selain itu terdapat beberapa bentuk konfigurasi lain yaitu, tulang ikan (fishbone) yang umum digunakan pada jaringan radial dan dilengkapi saklar serta sistem SCADA untuk isolasi gangguan; cluster yang menggabungkan jaringan tertutup dengan operasi radial; spindel yang digunakan pada jaringan bawah tanah dan memiliki penyulang cadangan; serta fork yang memungkinkan suplai dari dua penyulang dengan waktu pemulihan yang sangat cepat. Selain itu, ada konfigurasi spotload untuk beban besar dengan penyulang paralel dan proteksi arah, jala-jala (mesh) untuk wilayah padat beban dengan pasokan dari berbagai arah, serta

struktur garpu, bunga, dan rantai yang disesuaikan untuk daerah luas atau beban yang jauh dari gardu induk [6].

2.2. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi menggambarkan seberapa baik suatu sistem atau bagian dari sistem dapat berfungsi secara optimal dalam kondisi dan waktu tertentu. Untuk menilai tingkat keandalannya, perlu dilakukan evaluasi melalui perhitungan dan analisis terhadap performa sistem selama periode tertentu, kemudian hasilnya dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan sebelumnya [7]. Secara ideal, keandalan kontinuitas penyaluran ini diklasifikasikan ke dalam lima tingkat [8].

- a. Tingkat 1
Pemadaman dalam orde beberapa jam. Umumnya terjadi pada sistem saluran udara dengan konfigurasi radial.
- b. Tingkat 2
Pemadaman dalam orde kurang dari 1 jam. Mengisolasi penyebab gangguan dan pemulihan penyaluran kurang dari 1 jam. Umumnya pada sistem dengan pasokan penyaluran cadangan atau sistem loop.
- c. Tingkat 3
Pemadaman dalam orde beberapa menit. Umumnya pada sistem yang mempunyai sistem SCADA.
- d. Tingkat 4
Pemadaman dalam orde detik. Umumnya pada sistem dengan fasilitas automatic switching pada sistem fork.
- e. Tingkat 5
Sistem tanpa pemadaman. Keadaan dimana selalu ada pasokan tenaga listrik, misalnya pada sistem spotload, transformator yang bekerja paralel.

2.3. Gardu Induk

Gardu Induk (GI) berfungsi sebagai titik pemberi pasokan listrik ke jaringan distribusi. Berdasarkan kapasitas beban yang dilayani, GI diklasifikasikan menjadi tiga kategori menurut SPLN No.72-1987: GI distribusi kecil dengan beban maksimum hingga 20 MVA, GI distribusi sedang hingga 60 MVA, dan GI distribusi besar dengan kapasitas antara 60 MVA hingga 180 MVA. Dalam perencanaannya, GI harus mampu mentransfer

beban ke transformator lain atau ke GI terdekat apabila terjadi gangguan pada salah satu transformator. Bila perpindahan beban melebihi 100% kapasitas transformator yang ada, maka diperlukan peningkatan kapasitas transformator atau pembangunan GI baru.

Pengembangan GI secara fisik dapat dilakukan melalui dua pendekatan. Pertama, penambahan kapasitas pada GI yang sudah ada, baik dengan mengganti transformator menjadi kapasitas yang lebih besar maupun menambah transformator baru. Dalam metode ini, jaringan transmisi tidak mengalami perubahan karena tetap menggunakan saluran yang ada. Kedua, pembangunan GI baru dilakukan ketika GI eksisting tidak mampu lagi menampung beban tambahan, dan penambahan kapasitas sudah tidak memungkinkan karena arus pada konduktor transmisi telah melebihi batas kemampuan hantarnya [9].



Gambar 1. Gardu Induk Molibagu

2.4. Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)

Jatuh tegangan adalah hilangnya tegangan pada suatu penghantar akibat aliran arus listrik, yang nilainya secara umum sebanding dengan panjang saluran dan besar beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar [10]. Besarnya jatuh tegangan dapat dinyatakan dalam persen (%) atau satuan volt. Untuk perhitungan praktis, tahanan penghantar bisa menjadi acuan utama, tetapi pada sistem tegangan menengah, pengaruh induktansi dan kapasitansi juga harus diperhitungkan karena memberikan kontribusi signifikan terhadap nilai jatuh tegangan [11].

Dalam merancang Jaringan Tegangan Menengah, perlu diperhatikan beberapa parameter penting seperti ukuran penghantar (luas penampang), beban nominal, dan panjang jaringan agar nilai jatuh tegangan dan susut daya tetap dalam batas yang diizinkan [12]. Berdasarkan standar SPLN 72:1987, nilai

maksimum jatuh tegangan untuk konfigurasi spindel adalah 2%, sedangkan untuk sistem open loop dan radial ditetapkan maksimum 5%. Perhitungan ini bertujuan untuk menjaga efisiensi jaringan dan kualitas tegangan yang diterima oleh konsumen. Maka untuk saluran distribusi primer, perhitungan besar jatuh tegangan pada saluran distribusi tegangan menengah untuk sistem tiga fasa adalah [13]:

$$\Delta V (\%) = \frac{P.L.(R.\cos q + X.\sin q)0,5.100}{(KV)^2} \quad (1)$$

Dimana:

% ΔV : Jatuh Tegangan (%)
 P : Daya Nominal tersalur (MVA)
 R : Resistensi Jaringan (Ohm /km)
 X : Reaktansi Jaringan (Ohm/km)
 L : Panjang jaringan (km)
 Cos q : 0,85
 Sin q : 0,526
 KV : Tegangan L-L (20 KV)

2.5. Susut Jaringan Distribusi (Susut Teknis)

Susut jaringan tenaga listrik adalah selisih antara energi listrik yang disalurkan dan energi yang diterima pelanggan, setelah dikurangi pemakaian sendiri dalam proses penyaluran [14]. Susut ini dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan tingkat tegangan: susut pada jaringan transmisi tegangan tinggi (TT), distribusi tegangan menengah (TM), dan distribusi tegangan rendah (TR). Masing-masing mencakup kehilangan teknis seperti pada gardu, jaringan, dan alat pengukur (APP), serta untuk TM dan TR juga termasuk kehilangan non-teknis. Susut ini menimbulkan kerugian bagi PLN karena daya yang dibangkitkan dengan biaya tinggi tidak seluruhnya menghasilkan pendapatan. Susut daya jaringan listrik pada sistem transmisi dihitung menggunakan beberapa rumus tergantung panjang salurannya [15]:

Untuk saluran pendek:

$$PL = 3 \cdot I^2 \cdot RL \quad (2)$$

Untuk saluran panjang:

$$PL = 3 \cdot R \cdot L (I^2 - I \cdot IC \cdot \sin(\phi r) + IC^2) \quad (3)$$

Dimana:

PL = Daya hilang (watt)

R = Tahanan per fasa (Ω /km)

L = Panjang saluran (km)

I = Arus beban (A)

IC = Arus pemuat di titik pengiriman (A)

cos ϕr = Faktor daya ujung penerima

Untuk mengetahui besar susut daya:

$$PL = PS - PR$$

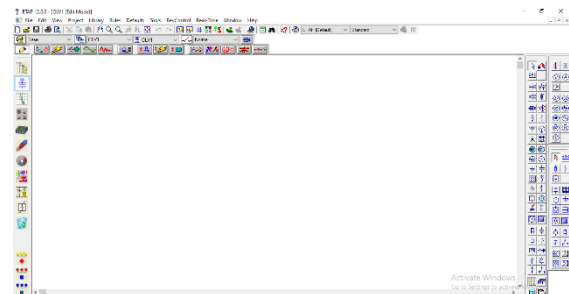
(4)

Untuk menghitung persentase susut daya:

$$PL (\%) = \left(\frac{PR}{PS} \right) \times 100\% \quad (5)$$

2.5. Electric Transient and Analysis Program (ETAP)

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk mendukung berbagai aspek dalam sistem tenaga listrik. Secara umum, ETAP digunakan dalam proses simulasi perancangan dan analisis sistem tenaga listrik. Fungsi utamanya mencakup pembuatan denah beban, perancangan diagram satu garis (*one line diagram*), pengaturan parameter beban dan jaringan, perhitungan gangguan hubung singkat (*short circuit*), serta analisis aliran daya (*load flow*) [15].



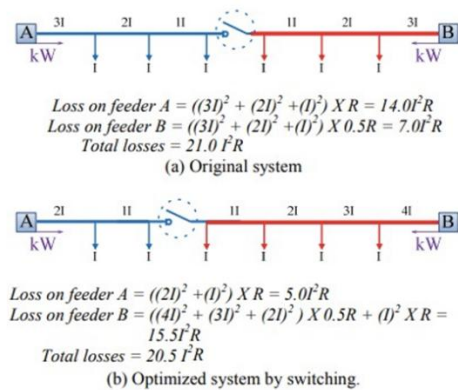
Gambar 2. Software ETAP

2.5.1. Switching Optimization

Switching Optimization adalah fitur dalam aplikasi ETAP yang mengintegrasikan teknologi perangkat lunak terbaru untuk mengoptimalkan konfigurasi sistem distribusi tenaga listrik. Proses ini dilakukan dengan mengubah status perangkat switching, terutama pada jaringan radial, untuk mencapai kinerja sistem yang lebih efisien.

Metode ini dianggap lebih ekonomis dibandingkan dengan tindakan lain seperti pemasangan perangkat baru atau rekonduksifikasi, karena hanya memerlukan penempatan ulang perangkat switching yang telah ada. Efektivitas *switching optimization*

sangat bergantung pada besarnya beban dan panjang konduktor dalam jaringan. Perbedaan antara konsep sistem asli dan konsep switching optimization dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Perbedaan (a) Sistem Eksisting dan (b) Optimalisasi *Switching*

Pada kondisi awal (gambar a), total rugi-rugi daya pada sistem distribusi adalah 21,0 R, dengan penyulang A menggunakan konduktor berukuran kecil (resistansi tinggi) dan penyulang B menggunakan konduktor besar (resistansi rendah). Meskipun kedua gardu induk melayani beban yang sama, distribusi arus dan ukuran konduktor menyebabkan penyulang A mengalami rugi-rugi lebih besar. Perhitungan menunjukkan bahwa ketidaktepatan posisi switching menyebabkan ketidakefisienan dalam sistem distribusi daya.

Setelah dilakukan optimasi (gambar b) menggunakan metode *Switching Optimization*, total kerugian sistem berhasil dikurangi menjadi 20,5 R. Proses ini dilakukan dengan memindahkan posisi switching ke sisi gardu induk A dan mentransfer sebagian beban ke gardu induk B. Walaupun beban dari gardu induk B meningkat, karena menggunakan konduktor berukuran besar, kerugian tetap lebih kecil secara keseluruhan.

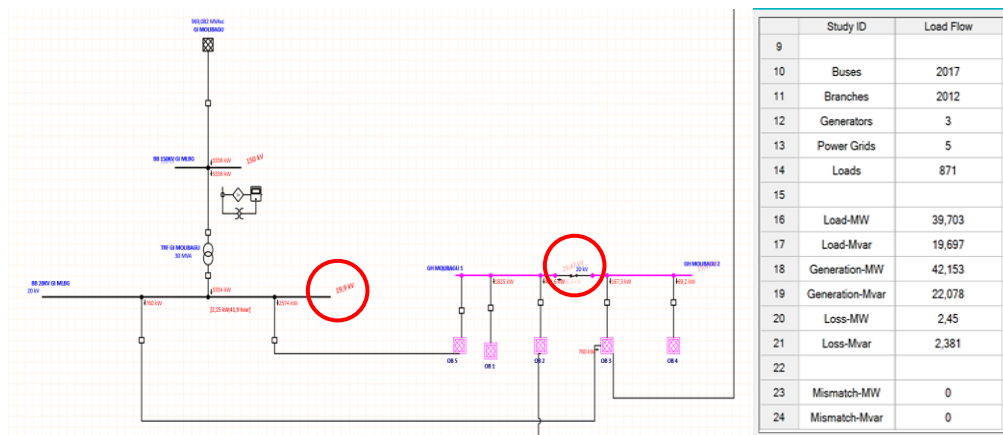
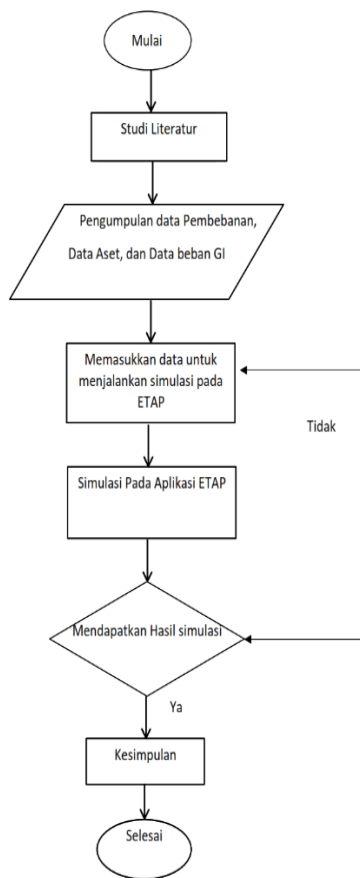
3. METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini telah dilakukan pada GI di wilayah kerja PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Kotamobagu. Penelitian ini berlangsung selama 5 bulan yaitu Desember 2023 hingga Juni 2024. Prosedur kegiatan yang dilakukan dalam melaksanakan kegiatan penelitian ini dibagi beberapa langkah yaitu:

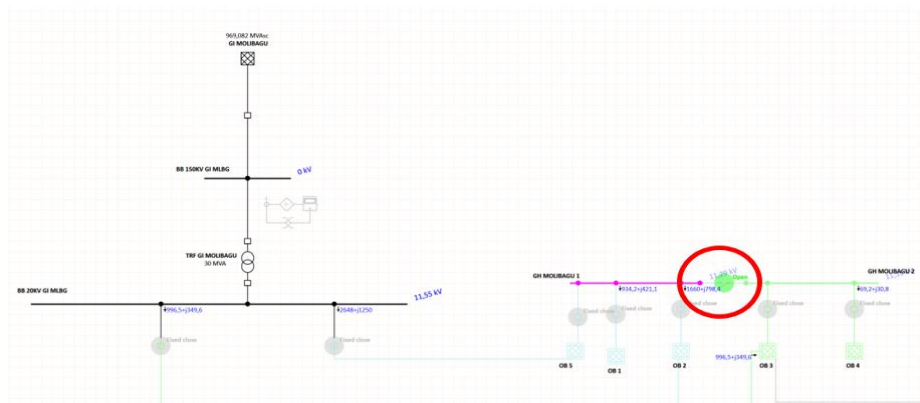
1. Mempelajari literatur mengenai konsep-konsep dasar yang berkaitan dengan perubahan pola operasi penyulang terhadap stabilitas tegangan dan konsep penggunaan software ETAP.
2. Melakukan observasi di lapangan dengan mengukur tegangan menengah dengan alat ukur di tegangan ujung wilayah kerja PT. PLN (Persero) UP3 Kotamobagu
3. Mengumpulkan data-data dari PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3), Data yang dibutuhkan dalam skripsi ini adalah data yang dihimpun seperti Single Line Diagram (SLD) 20 kV UP3 Kotamobagu, Data Asset UP3 Kotamobagu, serta beban GI Molibagu.
4. Berdasarkan data yang telah didapatkan, maka dilakukan simulasi dengan software ETAP.
5. Menganalisis berdasarkan hasil simulasi dan menarik kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan sehingga rumusan masalah dari kegiatan dapat tercapai.

Alur penelitian ini dapat digambarkan dalam bentuk *flowchart* seperti pada gambar 1.

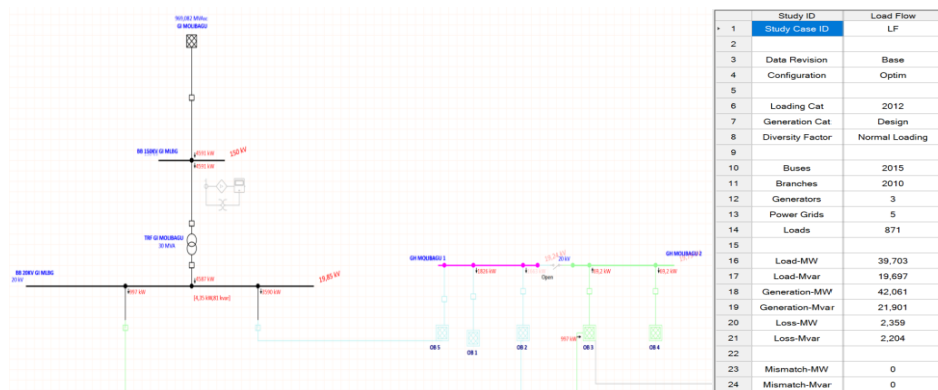
Gambar 4. *Flowchart* Penelitian



Gambar 5. Simulasi Load Flow Sistem Eksisting UP3 Kotamobagu



Gambar 6. Simulasi Sistem Optimalisasi Switching



Gambar 7. Simulasi Load Flow UP3 Kotamobagu Kondisi Optimal

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

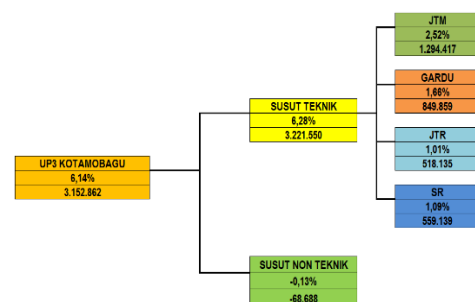
4.1. Simulasi Load Flow Sistem Eksisting UP3 Kotamobagu

Pada tahapan awal dilakukan simulasi Sistem UP3 Kotamobagu dalam kondisi normal dengan menggunakan data beban pada saat Waktu Beban Puncak (WBP) untuk memaksimalkan pemakaian beban maksimal untuk pelanggan rumah tangga pada Pukul 19.00 WITA menggunakan aplikasi Etap 21.0.1 Adapun hasil simulasi load flow yaitu menghasilkan tegangan pangkal sebesar 19,9 KV dan tegangan untuk di GH Molibagu 19,47 KV (yang ditandai dengan lingkaran merah) untuk kondisi sesudah simulasi load flow seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.3.

Pada hasil simulasi di Gambar 4.3, dapat dilihat pada laporan hasil simulasi load flow kondisi eksisting bahwa beban yang dibangkitkan yaitu sebesar 39,703 MW dengan losses sebesar 2,45 MW atau 6,17%.

Pada gambar 4.5 dapat dijelaskan bahwa nilai susut UP3 Kotamobagu berdasarkan formula jogja sebesar 6,14% yang terdiri dari

susut teknis sebesar 6,28% dan susut non teknis sebesar -0,13% yang akan penulis gunakan sebagai acuan untuk membandingkan antara susut yang didapatkan pada formula jogja dan ETAP.



Gambar 7. Formula Jogja UP3 Kotamobagu April 2024

Berdasarkan perbandingan antara nilai susut teknis yang diperoleh dari simulasi menggunakan ETAP sebesar 6,17% dan hasil perhitungan menggunakan formula Jogja yang bersumber dari laporan UP3 Kotamobagu tahun 2024, terdapat selisih sebesar 1,75%. Meskipun terdapat perbedaan antara hasil simulasi ETAP

dan metode perhitungan formula Jogja, selisih tersebut masih berada dalam batas toleransi, yakni di bawah 10%.

4.2. Simulasi Optimalisasi *Switching* ETAP

Pada tahapan ini akan dilakukan simulasi optimalisasi switching optimization untuk menentukan pola operasi yang optimal dengan menggunakan software Etap. Perubahan posisi normally closed (NC) ke normally open (NO) atau sebaliknya (yang ditandai dengan lingkaran merah) dapat dilihat pada Gambar 4.6 dimana secara otomatis Etap mensimulasikan pola operasi yang optimal pada sistem UP3 Kotamobagu khususnya yang berhubungan dengan pola operasi di GI Molibagu. Adapun peralatan switching device yang dipilih untuk dilakukan analisis yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. Daftar Peralatan *Switching*

No	<i>Switching Device</i>	<i>Initial</i>	<i>Final</i>	Ket
1	PMT KHD 2	<i>Open</i>	<i>Open</i>	Tidak Berubah
2	CO Osion	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
3	CO Ikarat	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
4	CO Nuangan	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
5	CO Pakoba	<i>Open</i>	<i>Open</i>	Tidak Berubah
6	CO Pinolosian	<i>Open</i>	<i>Open</i>	Tidak Berubah
7	CO Posilagon	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
8	CO Tobayangan	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
9	CO Totabuan	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
10	CO Unggunoi	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
11	PMS Coupler GH Molibagu	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Berubah
12	PMT KHD 1	<i>Open</i>	<i>Close</i> <i>d</i>	Berubah
13	PMT KHD 3	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah

No	<i>Switching Device</i>	<i>Initial</i>	<i>Final</i>	Ket
14	LBS Bai	<i>Open</i>	<i>Open</i>	Tidak Berubah
15	LBS Bolangaso	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
16	LBS Dodap	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
17	LBS Dumoga	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
18	LBS Kalibombang	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
19	LBS Kosio	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
20	LBS Modomang	<i>Close</i>	<i>Open</i>	Berubah
21	LBS Motongkat	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
22	LBS Nuangan	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah
23	LBS Tabilaa	<i>Open</i>	<i>Close</i> <i>d</i>	Berubah
24	LBS Torosik	<i>Close</i>	<i>Close</i>	Tidak Berubah

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa terdapat 4 switching device yang Berubah setelah disimulasikan oleh etap yang menunjukkan perubahan pola operasi yang optimal yaitu Coupler GH Molibagu, PMT KHD 1, LBS Modomang, dan LBS Tabilaa. Adapun dari hasil optimalisasi tersebut dapat dilihat Gain Losses pada report berikut:

Tabel 2. Laporan Hasil *Switching Optimization*

	(Radial)		
	Initial	Final	Gain
Feeder	kW	kW	kW
CBSO3	26.06	26.06	0.00
PMT BK1	32.73	32.73	0.00
PMT BK2	4.61	4.61	0.00
PMT TU1	2.90	2.90	0.00
PMT TU3	3.49	3.49	0.00

PMT MB5	49.14	152.18	-103.04
PMT SLO1	4.27	4.27	0.00
PMT SLO2	1.76	1.76	0.00
PMT SLO3	3.80	3.80	0.00
PMT SLO7	145.63	145.63	0.00
PMT SLO4	98.42	98.42	0.00
PMT SLO5	90.88	90.88	0.00
CBSO1	259.27	79.06	180.21
PMT BK3	1.00	1.00	0.00
PMT SO2	1.57	1.57	0.00
PMT MB6	23.89	27.01	-3.13
PMT TU5	232.95	232.95	0.00
TOTAL	982.35	908.30	74.04

Dapat dilihat pada table 4.3 bahwa terdapat 4 klasifikasi kolom, dimana pada kolom pertama feeder / Penyulang, Radial Initial kW adalah kondisi losses sebelum dilakukan simulasi, Final kW adalah kondisi losses setelah dilakukan simulasi, dan Gain kW adalah selisih antara kondisi sebelum dan sesudah dilakukan simulasi pengoptimalisasian, dimana diperoleh Gain sebesar 74.04 kW, dimana sebelum dilakukan pengoptimalisasian yaitu sebesar 982.35 kW sedangkan setelah dilakukan pengoptimalisasian menjadi 908.30 kW.

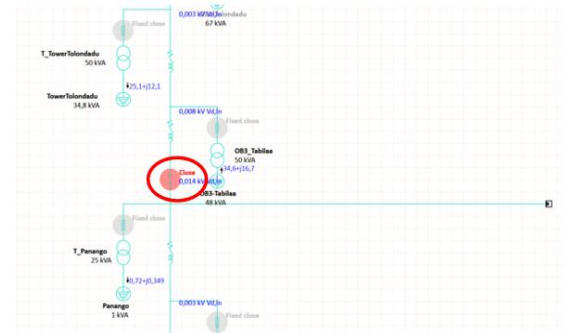
4.3. Skema Pola Operasi

Setelah dilakukan simulasi switching optimization menggunakan ETAP, diperoleh dua skenario pola operasi yang dioptimasi, yaitu:

1. Optimasi pada Titik 1

Perubahan utama: Coupler di GH Molibagu berubah dari NC (Normally Closed) menjadi NO (Normally Open), yang memungkinkan suplai GH Molibagu berasal dari dua feeder: MB5 (biru) dan MB6 (hijau). Selanjutnya LBS

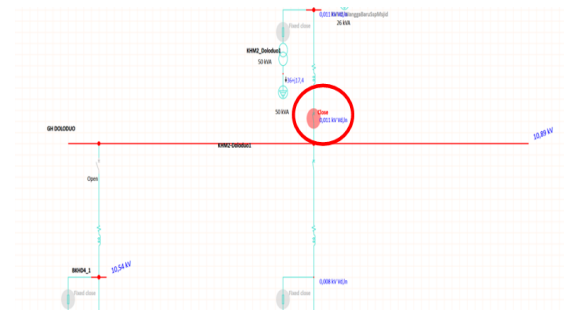
Tabilaa, yang sebelumnya NO (Open), berubah menjadi NC (Close), memungkinkan aliran daya dari Feeder MB6 menuju OB3.



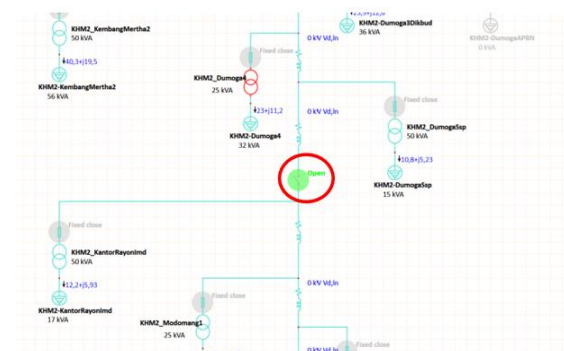
Gambar 8. Pola Operasi *Switching LBS*
Tabilaa

2. Optimasi pada Titik 2

PMT KHD1 di GH Doloduo berubah dari NO menjadi NC, mengalihkan suplai MB5 melalui OB2. Selanjutnya LBS Modomang yang sebelumnya NC berubah menjadi NO, memutus koneksi antara GI Molibagu dan GI Otam, sehingga sistem menjadi lebih terisolasi dan tersegmentasi sesuai kebutuhan beban.



Gambar 9. Pola Operasi *Switching* PMT
KHD1 GH Doloduo



Gambar 10. Pola Operasi *Switching* LBS Modomang

4.4. Evaluasi Kinerja Sebelum dan Sesudah Pengoptimalan

Pada tahapan akhir dilakukan simulasi Sistem UP3 Kotamobagu dalam kondisi Optimal Switching Optimization. Adapun hasil simulasi load flow pada kondisi optimal yaitu menghasilkan tegangan pangkal sebesar 19,85 yang sebelumnya 19,9 kV dan tegangan di GH Molibagu sebesar 19,24 kV yang sebelumnya 19,47 kV.

Berdasarkan kondisi yang sudah dilakukan pengoptimalan maka didapatkan hasil report load flow kondisi yang optimal dapat dilihat pada Gambar 4.13 susut UP3 Kotamobagu menjadi 2,359 MW yang sebelumnya 2,45 MW sehingga saving losses yaitu sebesar 0,091 MW atau susut turun dari 6,17% menjadi 5,94% atau sekitar 0,23%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengoperasian GI (Gardu Induk) Moutong memiliki pengaruh signifikan terhadap profil tegangan di wilayah kerja ULP Kotaraya. Pada saat seluruh PLTD dilepas, tegangan ujung tercatat sebesar 17,38 kV dengan penurunan tegangan mencapai 15,24%, sedangkan jika PLTD tetap berfungsi sebagai pengendali tegangan (voltage controller), tegangan ujung meningkat menjadi 18,7 kV dengan drop tegangan hanya 2,37%. Jarak antara GI Moutong dan ujung penyulang Bondoyong mencapai 123 km, dengan luas penampang penghantar 70 mm² dan beban maksimal trafo sebesar 608 kVA. Setelah PLTD Kotaraya dan PLTD Palasa tidak dioperasikan, tegangan ujung pada penyulang tersebut turun drastis menjadi 17,4 kV dengan drop sebesar 15,14% atau setara 3.102 V. Beroperasinya GI Moutong tidak hanya memperbaiki kualitas distribusi tegangan, tetap juga mendukung efisiensi operasional perusahaan secara menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Mudjimu, P. A. T. Kawatu, and W. P. J. Kaunang, "Analisis Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja
- di PT. PLN (Persero) Unit Induk Wilayah Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah dan Gorontalo," *KESMAS J. Kesehat. Masy. Univ. Sam Ratulangi*, vol. 8, no. 4, 2019.
- [2] N. Soedjarwanto, A. Z. Kurniawan, and S. A. Aulia, "ANALISIS PENGARUH ARUS BEBAN DAN KEKENDORAN KONEKTOR TERHADAP TEGANGAN JATUH (VOLTAGE DROP)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4070.
- [3] I. R. Aprillia, I. F. Akmalia, D. A. Wulandari, and S. Sujito, "REKONFIGURASI SALURAN UDARA PADA PENYULANG JARINGAN TEGANGAN MENENGAH UNTUK MENGURANGI DROP TEGANGAN DI PT. PLN (PERSERO) ULP PACET," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3928.
- [4] S. Bandri, R. Andari, and F. E. Mustika, "ANALISIS PERBAIKAN DROP TEGANGAN MELALUI PERUBAHAN POLA OPERASI PADA PENYULANG KOTO TINGGA," *RADIAL J. Perad. Sains, Rekayasa dan Teknol.*, vol. 9, no. 2, pp. 221–233, Dec. 2021, doi: 10.37971/radial.v9i2.238.
- [5] A. Azzam, H. Gusmedi, and Z. Huda, "ANALISIS KEANDALAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN (PERSERO) UP3 METRO MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY NETWORK EQUIVALENT APPROACH (RNEA)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, 2024.
- [6] M. R. Setyanto and Y. Saragih, "Gangguan Penyulang Akibat Kegagalan Proteksi di Circuit Breaker Output Pelanggan Pada Gardu Distribusi MP 244," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 111–116, 2023.
- [7] G. D. Prenata, "Klasifikasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Di Pt. Pln (Persero) Up3 Surabaya Selatan Menggunakan Support Vector Machine (Svm)," *J. Tek. Elektro*, vol. 16, no. 2, pp. 62–70, 2023.
- [8] PT. PLN (Persero), *Buku 1 : Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan*, 1st ed. Jakarta: PT. PLN (Persero), 2010.
- [9] A. Hasibuan, A. Asran, F. Adriansyah, B. Ismail, W. V. Siregar, and M. Sayuti, "Planning to Reconfigure the 150 kV Transmission Network at PT. PLN (Persero) Tualang Cut Network and Substation," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 61–68, 2023.
- [10] N. R. Alham, R. M. Utomo, H. Hilmansyah, M. Muslimin, A. W. Aditya, and A. Mubarak, "Studi tentang perbaikan jatuh tegangan di

- tiang ujung jaringan tegangan rendah pada PT. PLN UP3 Area Samarinda,” *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 6, no. 2, pp. 212–216, 2022.
- [11] C. K. Wachjoe and H. Zein, “A Method for Voltage Drop Monitoring on load sides in medium voltage feeder,” in *2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 2020, vol. 1, pp. 1215–1220.
 - [12] S. S. Akhmad, H. Fauziah, and M. F. Ali, “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV untuk Mengurangi Drop Voltage Pada Penyulang Asuhan GI Daya,” in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 2023, vol. 9, no. 1, pp. 36–44.
 - [13] M. Mujiburrahman, J. Joko, B. Suprianto, and U. T. Kartini, “Analisis Tegangan Jatuh (Drop Voltage) Pada Unit Boiler Di PPSDM Migas Cepu Menggunakan Etap 12.6. 0,” *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 757–768, 2021.
 - [14] F. Surusa, Q. Aini, A. I. Pratiwi, and Y. Mohamad, “Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT. PLN UP3 Gorontalo,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–38, 2024.
 - [15] U. Khoirunnisa, B. B. Murti, and M. Budiyanto, “Analisis Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan pada Saluran Transmisi 150 kV Gardu Induk Pandean Lamper-Pudak Payung,” *J. Teknol. dan Vokasi*, vol. 2, no. 2, pp. 54–68, 2024.