

Perbaikan Kualitas Tegangan Distribusi 20 kV di Gardu Hubung Lemito Melalui Studi Aliran Daya

Ervan Hasan Harun
Prodi Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
ervanharun@ung.ac.id

Muh. Triyadi Adam
Prodi Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
triyadiadam@gmail.com

Jumiati Ilham
Prodi Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
jumiatiilham@ung.ac.id

Diterima : Maret 2022
Disetujui : April 2022
Dipublikasi : Juli 2022

Abstrak—Penurunan tegangan maksimum pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik telah ditetapkan yakni tidak lebih dari 10% terhadap tegangan nominal. Penelitian ini dilakukan dalam rangka memperbaiki kualitas tegangan Sistem Distribusi yang dipasok dari Gardu Induk (GI) Marisa. Salah satu Gardu Hubung (GH) di sistem distribusi Marisa ini yakni GH Lemito memiliki turun tegangan sampai 19.21%. Penurunan tegangan ini diakibatkan oleh GH Lemito yang suplai dari ujung penyulang LM.03 dalam pengoperasiannya melayani beban yang cukup besar, di samping itu juga penghantar utama yang menghubungkan GI Marisa ke GH Marisa masih memakai penghantar berdimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan penghantar di percabangan dan tentunya ini menyalahi prinsip-prinsip konfigurasi pada sistem distribusi tenaga listrik tipe radial. Simulasi aliran daya dengan ETAP 12.6 digunakan dalam menyelesaikan masalah pada penelitian ini. Simulasi dilakukan dalam 4 skenario yakni 3 skenario berupa pelimpahan beban dan 1 skenario up rating penghantar. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa skenario 3 dari alternatif solusi pelimpahan beban adalah skenario yang paling mendekati standar SPLN 1:1995 yaitu 17.8 kV dengan persentase turun tegangan sebesar -10.8%. Oleh karena persentase turun tegangan masih di atas 10% maka skenario 3 pelimpahan beban masih perlu ditambahkan kapasitor bank sebesar 2.75 MVar. Penambahan kapasitor bank pada skenario 3 pelimpahan beban dari hasil simulasi aliran daya dapat meningkatkan tegangan di GH Lemito menjadi 20.10 kV atau naik sebesar 0.52%.

Kata Kunci— Pelimpahan Beban; Up Rating; Turun Tegangan; ETAP

Abstract—The maximum voltage drop in the Electric Power Distribution System has been set, which is no more than 10% of the nominal voltage. This research was conducted to improve the quality of the distribution system voltage supplied from the Marisa Substation. One of the substations (GH) in the Marisa distribution system, GH Lemito, has a voltage drop of up to 19.21%. This voltage drop is caused by GH Lemito which supplies from the end of the LM.03 feeder in its operation serving a relatively large load, in addition, the principal conductor connecting GI Marisa to GH Marisa still uses a conductor with smaller dimensions compared to the conductor at the branch and of course, This violates the principles of configuration in a radial type electric power

distribution system. Power flow simulation with ETAP 12.6 is used to solve the problem in this research. The simulation is carried out in 4 scenarios, namely 3 scenarios in the form of load transfer and 1 scenario of up rating conductor. Based on the simulation results, it is found that scenario 3 of the alternative load transfer solution is the scenario closest to the 1:1995 SPLN standard, which is 17.8 kV with a voltage drop percentage of -10.8%. Because the percentage drop in voltage is still above 10%, in scenario 3, it is necessary to add a capacitor bank of 2.75 MVar. Adding a capacitor bank in scenario 3 of the load transfer from the power flow simulation results can increase the voltage at GH Lemito to 20.10 kV or an increase of 0.52%.

Keywords— Load Delegation; Up Rating; Voltage Drop; ETAP

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik modern merupakan satu kesatuan yang terintegrasi antara unit pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi dan juga sistem distribusi tenaga listrik sebagai sebuah sistem interkoneksi beserta sistem proteksi di dalamnya yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari sumber tenaga listrik sampai ke pelanggan/konsumen listrik [1]. Kualitas tegangan dari pangkal hingga ujung jaringan distribusi digunakan sebagai tolok ukur yang menjadi dasar penilaian terhadap layanan perusahaan listrik [2]. Berbagai macam tipe konfigurasi jaringan distribusi, yakni konfigurasi radial, loop, dan spindel [3]. Konfigurasi distribusi radial memiliki kelemahan yaitu ketika terjadi gangguan yang berada dekat dari GI atau sumber energi, maka akan terjadi black out [4].

Turun tegangan merupakan banyaknya tegangan yang hilang pada suatu saluran/jaringan tenaga listrik. Secara umum jatuh tegangan atau drop tegangan yang terjadi sepanjang jaringan tenaga listrik berbanding lurus dengan panjang saluran dan berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar yang digunakan pada saluran/jaringan itu. Jatuh tegangan juga dapat didefinisikan sebagai selisih antara tegangan pada ujung pengirim dengan tegangan pada ujung penerima. [5][6].

Sistem Gardu Induk (GI) Marisa menggunakan konfigurasi radial, permasalahan terjadi pada saluran

penyulang MR.03 yang mengalami turun tegangan pada sistem distribusi Gorontalo yang berada diatas 10% dari batas yang diijinkan berdasarkan SPLN 1:1995 [7].

Penelitian ini akan memfokuskan pada perbaikan tegangan dengan melakukan pelimpahan beban dan mengganti luas penampang penghantar (*up rating*) untuk meningkatkan kualitas tegangan di GH Lemito, alternatif solusi pelimpahan beban dilakukan dikarenakan penyulang LM.03 memiliki beban terbesar dibandingkan dengan penyulang lainnya, sedangkan alternatif solusi penggantian luas penampang penghantar dilakukan karena penghantar/konduktor yang digunakan untuk menghubungkan GI Marisa dan GH Marisa memiliki luas penampang yang lebih kecil dibandingkan dengan penghantar percabangan yakni penyulang LM.03. Selain itu perbaikan kualitas tegangan dengan alternatif solusi pelimpahan beban dan *up rating* lebih murah dibandingkan dengan pemasangan kapasitor bank.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis aliran daya dengan bantuan aplikasi ETAP versi 12.6 untuk melakukan simulasi dua alternatif solusi perbaikan tegangan pada GH lemto yaitu dengan cara pelimpahan beban dan penggantian luas penampang penghantar. Kedua solusi ini akan dibandingkan perbaikan nilai tegangan paling optimal dan biaya yang diperlukan untuk masing-masing solusi.

A. Studi Aliran Daya

Berbagai macam studi pada sistem tenaga listrik dilakukan dalam rangka meningkatkan unjuk kerja sistem. Studi aliran daya merupakan salah satu dari sekian banyak studi yang bertujuan untuk menganalisis besar tegangan, arus, daya aktif dan daya reaktif diberbagai titik/bus sepanjang jaringan tenaga listrik dalam kondisi operasi normal. Hasil studi aliran daya dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik di masa-masa yang akan datang, selain tentunya untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik yang sudah ada (*existing*). Dalam studi/analisis aliran daya, bus-bus yang terdapat pada sistem tenaga listrik diklasifikasikan ke dalam 3 jenis bus sebagai berikut [8][9][10]:

- Bus berayun (*swing bus*) atau juga dinamakan dengan slack bus yang dipilih dari bus yang menjadi sumber tenaga listrik/pembangkit terbesar dan bertindak sebagai bus yang akan memikul semua rugi daya pada sistem. Bus ini dinamai juga sebaga bus referesni dimana magnetude tegangan dan sudut fase tegangan sudah ditentukan.
- Bus kontrol tegangan (*voltage control bus*). Bus ini memiliki besar tegangan dan daya reaktif tertentu. Pengaturan daya reaktif yang disuplay atau diserap dimaksudkan untuk mengendalikan tegangan pada bus. Bus ini disebut juga dengan bus P-V dan biasanya pembangkit/generator dipilih sebagai bus kontrol.
- Bus beban (*load bus*). Daya aktif dan daya reaktif pada bus ini diketahui sedangkan magnetude/besar tegangan dan sudut fase tegangan harus dicari melalui proses iterasi sampai diperoleh nilai tertentu atau konvergensi telah dipenuhi dengan ketelitian tertentu. Bus ini juga disebut dengan bus P-Q.

Persamaan yang digunakan dalam menyelesaikan aliran daya pada sistem tenaga listrik merupakan sekumpulan persamaan aljabar non-linear. Solusi atas persamaan aljabar non-linear ini dilakukan secara iterasi menggunakan beberapa metode berikut yakni: Metode Gauss-Seidel, Metode Newton-Rhapson, Metode Quasi Newton, Metode Fast Decoupled, dan dan Metode Algoritma Genetika [1][11].

B. Metode Newton Raphson

Penyelesaian aliran daya pada penelitian ini menggunakan Metode Newton-Raphson yang merupakan penyempurnaan dari Metode Gauss-Siedel. Metode Newton-Raphson dipilih oleh metode ini lebih praktis dan efisien (waktu komputasi yang cepat) dalam menganalisis sistem tenaga listrik yang besar dengan hasil perhitungan yang lebih baik dibandingkan dengan Metode Gauss Siedel [12].

$$P_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (1)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_i| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2)$$

Persamaan (1) dan (2) diatas adalah satu set persamaan aljabar non-linear dengan pubah bebas yakni besar tegangan dalam per unit (p.u) dan sudut fase dalam radian. Dengan menggunakan deret Taylor dan mengabaikan semua orde tinggi didapatkan linearisasi persamaan (1) dan (2) sebagai berikut [10]:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (3)$$

Pada swing bus besar tegangan (V) dan sudut tegangan (δ) adalah konstan, sehingga tidak diperlukan perhitungan pada setiap proses iterasi. Sedangkan untuk bus kontrol, daya reaktif harus selalu dihitung pada setiap iterasi oleh karena pada bus ini hanya daya aktif (P) dan magnitudo tegangan (V) yang konstan/tetap [13].

Penyederhanaan persamaan (3) diperoleh persamaan berikut ini:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (5)$$

dengan:

ΔV dan $\Delta \theta$ = Perbedaan/selisih tegangan bus dan sudut fasa pada setiap iterasi

ΔP dan ΔQ = Perbedaan/Selisih daya aktif dan daya reaktif pada setiap iterasi

J_1, J_2, J_3, J_4 = Sub matriks jacobian dari matriks Jacobian

C. Software ETAP (Electric Transient Analysis Program)

ETAP aplikasi atau perangkat lunak yang digunakan untuk mendesain, menganalisis dan melakukan simulasi pada sistem tenaga listrik. Salah satu kemampuan ETAP adalah analisis aliran daya yang dapat menghitung dan menginformasikan kondisi tegangan di setiap bus, faktor daya, rugi daya pada saluran, aliran daya aktif dan reaktif dan juga arus saluran [1] [14].

D. Turun Tegangan

Turun tegangan adalah selisih atau perbedaan antara tegangan pada sisi pengirim dan sisi penerima. Penurunan tegangan ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain beban lebih/overload, panjang jaringan, dan faktor daya. Turun tegangan atau juga disebut tegangan drop dihitung menggunakan persamaan berikut ini [15]:

- Turun tegangan pada saluran tegangan menengah 3 fasa:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times l \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (6)$$

- Jatuh tegangan pada saluran tegangan menengah 1 fasa:

$$\Delta V = I \times l \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (7)$$

dengan:

- ΔV = turun tegangan (volt)
- I = arus yang mengalir pada saluran (ampere)
- l = panjang saluran (meter)
- R = Resistans saluran (ohm)
- θ = sudut daya

Nilai jatuh tegangan atau turun tegangan dapat juga dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta V = V_s - V_r \quad (8)$$

dengan:

- ΔV = turun tegangan (volt)
- V_s = tegangan pada ujung pengirim (volt)
- V_r = tegangan pada ujung penerima (volt)

E. Data yang dibutuhkan

Data yang dibutuhkan untuk melakukan studi/analisis aliran daya bersumber dari PT. PLN (Persero) UP3 Gorontalo yakni sebagai berikut:

- Rating trafo GI Marisa
- Data beban GI Marisa
- Luas penampang penghantar
- Panjang saluran
- Jenis penghantar
- Data teknis (nilai impedansi dan resistansi)

Alternatif solusi pelimpahan beban akan dilakukan dalam 3 skenario, ketiga skenario dibedakan dari jumlah beban yang akan dilimpahkan ke penyulang baru MR.07. Berikut ini deskripsi setiap skenario alternatif solusi pelimpahan beban.

- **Skenario 1:** Penyulang baru MR.07 akan dibuatkan jaringan dari GI Marisa sampai GH Marisa dengan menggunakan penghantar AAACS 150 mm² dengan panjang 12.5 km. Penyulang MR.07 selanjutnya akan mengambil alih seluruh beban penyulang LM.03, sehingga penyulang MR.03 hanya akan mensuplai penyulang LM.01 dan penyulang LM.04. Besarnya beban yang dialihkan ke penyulang MR.07 sebesar 5.56 MVA.
- **Skenario 2:** Serupa dengan skenario 1 yaitu membuat jaringan baru untuk penyulang MR.07 dari GI Marisa hingga GH Marisa dan akan mensuplai penyulang LM.03. Hal yang membedakan adalah beberapa trafo yang ada pada penyulang LM.03 akan

dialihkan ke penyulang LM.01 (penyulang LM.01 disuplai oleh penyulang MR.03). Beban penyulang LM.03 yang akan dialihkan ke penyulang LM.01 sebesar 176.5 kVA atau 7.1% dari beban penyulang LM.03.

- **Skenario 3:** Skenario 3 serupa dengan skenario 2, yaitu beberapa beban penyulang LM.03 akan dialihkan ke penyulang LM.01 dengan tujuan mengurangi beban yang ada pada penyulang LM.03. Besarnya beban penyulang LM.03 yang akan dialihkan ke penyulang LM.01 sebesar 1583.5 kVA atau 63.67% dari beban penyulang LM.03.

Setelah melakukan alternatif solusi pelimpahan beban, dilanjutkan dengan melakukan alternatif solusi penggantian luas penampang penghantar (*uprating*). Penggantian dilakukan pada kondisi sistem eksisting, target penghantar yang akan di-*uprating* adalah penghantar pada jaringan yang menghubungkan GI Marisa dan GH Marisa yakni saluran pada penyulang MR.03. Ukuran penghantar semula 95 mm² dan akan diganti dengan ukuran 240 mm² dimana memiliki nilai impedansi yang lebih kecil dari ukuran 95 mm² selain itu memiliki ukuran yang lebih besar dari penyulang LM.03 yang berukuran 150 mm². Panjang penghantar yang akan diganti sepanjang 12.5 km.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Kondisi Eksisting

Tabel 1 berikut ini hasil simulasi aliran daya menggunakan ETAP 12.6 untuk kondisi *eksisting*.

TABEL 1. KONDISI TEGANGAN GI DAN GH KONDISI EKSTING

Bus ID	Penyulang	Tegangan (kV)	Turun Tegangan (%)
GI Marisa	-	20.09	4.50
GH Marisa	MR.03	18.54	-7.32
GH Lemito	LM.03	16.16	-19.20

Hasil simulasi aliran daya Sistem Distribusi GI Marisa kondisi eksisting seperti diberikan pada Tabel 1 didapatkan bahwa tegangan di Gardu Hubung (GH) Lemito sebesar 16.16 kV atau dalam persen sebesar -19.20%. Penurunan tegangan ini sudah jauh melampaui standar SPLN 1:1995 sebesar -10% dari tegangan nominal. Selanjutnya di Tabel 2 diberikan tegangan untuk setiap penyulang di sistem distribusi GI Marisa pada kondisi eksisting.

TABEL 2. TEGANGAN SETIAP PENYULANG SISTEM GI MARISA KONDISI EKSTING

Penyulang	Tegangan Pangkal		Tegangan Ujung	
	kV	% drop	kV	% drop
MR.01	20.9	4.5%	20.647	3.23%
MR.03	20.9	4.5%	18.536	-7.32%
MR.04	20.9	4.5%	20.707	3.54%
MR.06	20.9	4.5%	20.285	1.43%
LM.01	18.536	-7.3%	18.448	-7.76%
LM.03	18.536	-7.3%	15.277	-23.62%

LM.04	18.536	-7.3%	18.495	-7.53%
-------	--------	-------	--------	--------

Berdasarkan Tabel 2 penurunan tegangan terbesar terjadi pada penyulang LM.03 yakni sebesar 15.277 kV dengan persentase turun tegangan sebesar -23.62% dari tegangan nominal. Pada penyulang MR.03 tegangan pangkal 20.9 kV mengalami turun tegangan hingga mencapai 18.536 kV dengan persentase turun tegangan sebesar -7.32% dari tegangan nominal.

B. Simulasi perbaikan tegangan GH Lemito

Hasil simulasi perbaikan kualitas tegangan di GH Lemito dengan menggunakan alternatif solusi pelimpahan beban dan up rating diberikan dalam Tabel 3 berikut ini. Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa pada skenario 1 alternatif solusi pelimpahan beban, ketika penyulang MR.07 mensuplai seluruh penyulang LM.03 maka tegangan di GH Lemito turun sebesar 17.26 kV atau -13.7% dari tegangan nominal.

TABEL 3. TEGANGAN GH LEMITO PADA MASING-MASING ALTERNATIF SOLUSI PERBAIKAN TEGANGAN

Kondisi	Tegangan GH Lemito	Turun Tegangan	
		(kV)	(%)
Eksisting	16.16	3.84	-19.20%
Skenario 1	17.261	2.739	-13.70%
Skenario 2	17.529	2.471	-12.36%
Skenario 3	17.843	2.157	-10.79%
Up rating	17.11	2.89	-14.45%

Sedangkan pada skenario 2 alternatif solusi pelimpahan beban ketika beban penyulang LM.03 dialihkan sebesar 176.5 kVA ke penyulang LM.01, besar tegangan GH Lemito sebesar 17.53 kV atau turun sebesar -12.36% dari tegangan nominal. Selanjutnya pada skenario 3 pelimpahan beban dengan mengalihkan beban penyulang LM.03 sebesar 1583.5 kVA atau sebesar 63.7% dari total beban penyulang LM.03 ke penyulang LM.01, meningkatkan nilai tegangan GH Lemito menjadi sebesar 17.84 kV atau turun sebesar -10.79%.

Perbaikan dengan alternatif solusi penggantian luas penampang penghantar (up rating) kondisi eksisting dengan mengganti ukuran penghantar yang semula berukuran 95 mm² dengan yang berukuran 240 mm², meningkatkan nilai tegangan GH Lemito menjadi sebesar 17,11 kV atau turun sebesar -14.45% dari tegangan nominal.

Berikut ini adalah tegangan setiap penyulang di sistem GI Marisa pada skenario perbaikan dengan kedua alternatif solusi.

TABEL 4. TEGANGAN SETIAP PENYULANG SKENARIO 1 PELIMPAHAN BEBAN

Penyulang	Tegangan Pangkal		Tegangan Ujung	
	kV	% drop	kV	% drop
MR.01	20.9	4.5%	20.647	3.23%
MR.03	20.9	4.5%	20.154	0.77%
MR.04	20.9	4.5%	20.707	3.54%
MR.06	20.9	4.5%	20.285	1.43%

MR.07	20.9	4.5%	19.699	-1.50%
LM.01	20.154	0.8%	20.061	0.31%
LM.03	19.699	-1.5%	16.355	-18.23%
LM.04	20.154	0.8%	20.11	0.55%

TABEL 5. TEGANGAN SETIAP PENYULANG SKENARIO 2 PELIMPAHAN BEBAN

Penyulang	Tegangan Pangkal		Tegangan Ujung	
	kV	% drop	kV	% drop
MR.01	20.9	4.5%	20.647	3.23%
MR.03	20.9	4.5%	20.168	0.84%
MR.04	20.9	4.5%	20.707	3.54%
MR.06	20.9	4.5%	20.285	1.43%
MR.07	20.9	4.5%	20.029	0.15%
LM.01	20.168	0.84%	19.873	-0.63%
LM.03	20.029	0.145%	16.815	-15.93%
LM.04	20.168	0.84%	20.125	0.63%

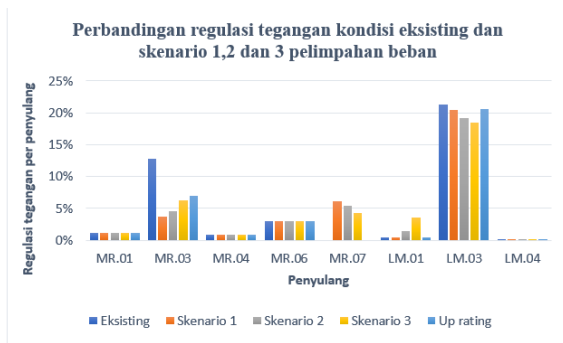
TABEL 6. TEGANGAN SETIAP PENYULANG SKENARIO 3 PELIMPAHAN BEBAN

Penyulang	Tegangan Pangkal		Tegangan Ujung	
	kV	% drop	kV	% drop
MR.01	20.9	4.5%	20.647	3.23%
MR.03	20.9	4.5%	19.67	-1.65%
MR.04	20.9	4.5%	20.707	3.54%
MR.06	20.9	4.5%	20.284	1.42%
MR.07	20.9	4.5%	20.045	0.23%
LM.01	19.67	-1.6%	18.985	-5.08%
LM.03	20.045	0.2%	16.924	-15.38%
LM.04	19.67	-1.6%	19.627	-1.87%

TABEL 7. TEGANGAN SETIAP PENYULANG ALTERNATIF SOLUSI UP RATING

Penyulang	Tegangan Pangkal		Tegangan Ujung	
	kV	% drop	kV	% drop
MR.01	20.9	4.5%	20.647	3.23%
MR.03	20.9	4.5%	19.54	-2.30%
MR.04	20.9	4.5%	20.707	3.54%
MR.06	20.9	4.5%	20.284	1.42%
LM.01	19.54	-2.3%	19.449	-2.75%
LM.03	19.54	-2.3%	16.207	-18.97%
LM.04	19.54	-2.3%	19.497	-2.52%

Berdasarkan Tabel 4 s.d Tabel 7 dan dengan melihat nilai turun tegangan pada ujung penyulang LM.03, maka skenario 3 pelimpahan beban memiliki nilai turun tegangan paling minimum dibandingkan dengan skenario lainnya yaitu sebesar 16.924 kV atau sebesar -15.8% terhadap tegangan nominal. Berikut ini adalah grafik persentase regulasi tegangan setiap penyulang sistem GI Marisa untuk semua skenario diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik Tegangan Setiap Penyulang Sistem GI Marisa Untuk Semua Skenario

Hasil simulasi aliran daya untuk semua skenario didapatkan bahwa turun tegangan di GH Lemito untuk keempat skenario perbaikan kualitas tegangan belum mencapai standar turun tegangan SPLN 1:1995 yaitu -10% terhadap tegangan nominal sehingga perhitungan biaya untuk membandingkan kedua alternatif solusi tidak dilakukan karena dari sisi teknis rencana perbaikan ini tidak memenuhi persyaratan.

Sebagai upaya untuk mendapatkan nilai tegangan di GH Lemito sesuai SPLN 1:1995, maka akan dipilih 1 skenario terbaik yang memiliki nilai tegangan yang paling mendekati standar SPLN 1:1995, yaitu skenario 3 pelimpahan beban dengan persentase turun tegangan sebesar -10.79%. Setelah mendapatkan skenario terbaik maka akan dilanjutkan dengan penambahan kapasitor bank sebesar 2.75 MVar yang dihubungkan di GH Lemito. Berikut ini adalah hasil simulasi perbaikan menggunakan alternatif solusi pelimpahan beban skenario 3 yang ditambahkan kapasitor bank sebesar 2.75 MVar.

TABEL 8. TEGANGAN GH LEMITO SEBELUM DAN SESUDAH PENAMBAHAN KAPASITOR BANK 2,75 MVAR PADA ALTERNATIF SOLUSI PELIMPAHAN BEBAN SKENARIO 3

BUS	Tegangan Sebelum Pemasangan Kapasitor		Tegangan Sesudah Pemasangan Kapasitor	
	kV	%	kV	%
GI MARISA	20.9	4.50	20.9	4.50
GH MARISA 1	19.67	-1.65	19.67	-1.65
GH MARISA 2	20.045	0.23	20.517	2.59
GH LEMITO	17.843	-10.79	20.103	0.52

Hasil simulasi aliran daya skenario 3 dengan penambahan kapasitor bank seperti diberikan pada Tabel 8 terlihat bahwa tegangan di GH Lemito sebelum penambahan kapasitor adalah 17.84 kV atau mengalami turun tegangan sebesar -10.79%, dan setelah penambahan kapasitor di GH Lemito, tegangan menjadi 20.10 kV atau naik sebesar 0.52% dari tegangan nominal.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis aliran daya pada penelitian ini dapat disimpulkan: 1). Kondisi eksisting saluran distribusi GI

Marisa yang disimulasikan dengan menggunakan software ETAP didapatkan bahwa tegangan di GH Lemito adalah 16.16 kV atau mengalami turun tegangan hingga -19.20% dari tegangan nominal, hal ini berada jauh diatas standar turun tegangan sesuai SPLN 1:1995 yaitu -10% dari tegangan nominal sehingga dibutuhkan perbaikan; 2) Upaya perbaikan kualitas tegangan GH Lemito yang dilakukan dalam 4 skenario yaitu 3 skenario pelimpahan beban dan 1 skenario up rating didapatkan bahwa skenario 3 dari alternatif solusi pelimpahan beban adalah skenario yang paling mendekati standar SPLN 1:1995 yaitu 17.84 kV atau turun tegangan yang terjadi sebesar -10.79%. 3). Dari beberapa skenario yang telah dilakukan, hanya terdapat 1 skenario yang berhasil memenuhi standar SPLN 1:1995 yaitu skenario 3 pelimpahan beban yang ditambahkan kapasitor bank 2.75 MVar, sehingga hanya skenario 3 pelimpahan beban yang akan diperhitungkan biaya materialnya. Biaya untuk melaksanakan alternatif solusi pelimpahan beban skenario 3 sebesar Rp. 3.036.995.000,-

REFERENSI

- [1] A. G. Nigara, "Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Pada Bagian Texturizing di PT. Asia Pacific Fibers TBK Kendal Menggunakan Software ETAP Power Station 4.0," J. Tek. Elektro, volume 7, nomor 1, pp. 7-10, 2015.
- [2] B. Winardi, H. Winarno, dan K. R. Aditama, "Perbaikan Losses Dan Drop Tegangan Pwi 9 Dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru Pwi 11 Di Pt Pln (Persero) Area Semarang," Transmisi, volume 18, nomor 2, pp. 64-69, 2016.
- [3] T. Sukamadi, "Perhitungan Dan Analisis Keseimbangan Beban Pada Sistem Distribusi 20 Kv Terhadap Rugi-Rugi Daya (Studi Kasus Pada Pt. Pln Upj Slawi)," Transmisi, vol. 11, no. 1, pp. 47-52, 2009.
- [4] R. Wibowo, Kriteria Disain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, 1st edition. PT PLN (PERSERO), 2010.
- [5] C. Elchrisa, L. K. Amali, dan A. I. Tolago, "Analisis Optimasi Penempatan Kapasitor Bank pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV Feeder IS.03 Rayon Limboto untuk Memperbaiki Kualitas Tegangan," Jambura J. Electr. Electron. Eng., volume 1, nomor 1, pp. 25-31, 2019..
- [6] M. Aziz, "Studi Analisis Losses dan Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi GI Sidera Feeder Palolo PT PLN (Persero) dengan Uprating Konduktor dan Capasitor Placement Berbasis ETAP 16.0.0," pp. 1-9, 2020.
- [7] SPLN 1:1995, "Tegangan - tegangan Standar," 1995.
- [8] E. H. Harun, "Analisis Kemampuan Pembangkit Sistem Tenaga Listrik Gorontalo Berdasarkan Simulasi Aliran Daya Menggunakan MatLab," Foristek, vol. 4, no. 1, pp. 323-333, 2014.
- [9] E. H. Harun, "Analisis Tegangan Setiap Bus Pada Sistem Tenaga Listrik Gorontalo Melalui Simulasi Aliran Daya," Jurnal SAINSTTEK, Vol. 6 Nomor 6, November 2012.
- [10] A. Hermawan, "Analisis Terhadap Performance Sistem Tenaga Listrik Memakai Metode Aliran Daya", Jurnal ELTEK, Volume 11, Nomor 01, April 2013.
- [11] I. Pondaag, G. M. Ch. Mangindaan, dan L. S. Patras, "Studi Aliran Beban Sistem 150 KV Wilayah Sulawesi Utara - Gorontalo", Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Volume 9, Nomor 3 September-Desember 2020, hal. 145 - 154.
- [12] F. Otniel, N. Busaeri, dan Sutisna, "Analisa Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Pada Bagian Penyulang 05ee0101a Di Area Utilities II PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit IV Cilacap Menggunakan Metode Newton-Raphson," Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE), Volume 01, Nomor 01, Oktober, 2019.
- [13] Ekoriskiyanto, Y. Mohamad, dan E. Harun, "Analisis Kontingensi Pada Sistem Tenaga Listrik Sulawesi Utara - Gorontalo", Jurnal Ilmiah FORISTEK Volume 9, Nomor 1, Maret 2019.
- [14] D. U. Y. W. Redho Hermawan, "Analisa Rugi Daya Saluran Pada Penyulang Arwana Sebelum dan Sesudah Perbaikan Menggunakan Electrical Transient Analysis Program (ETAP) 7.5.0 Di PT.PLN (PERSERO) Area Palembang," J. Desiminasi Teknol., vol. 5, no. 3, pp. 175-189, 2017.
- [15] W. Belfias, E. Putra, dan T. Hendrawan, "Analisa pecah beban penyulang kb5 di pln rayon koba untuk perbaikan tegangan dan susut," Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, volume 3, pp. 3-7, 2017.