

REKONFIGURASI JARINGAN PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH 20 KV PENYULANG NAIONI PT. PLN (PERSERO) ULP KUPANG MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK *ELECTRICAL TRANSIENT ANALYSIS PROGRAM (ETAP) 12.6*

Nikolaus M. Tana¹, Frans J. Likadja², Wellem F. Galla³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto Penfui-Kupang-NTT Telp (0380) 881557

Email : ichalelektro81@gmail.com

*Email : frankylikadja@yahoo.com

**Email : wfridzg@yahoo.co.id

ABSTRACT

The 20 kV medium Voltage overhead lines of Naioni feeder on PT. PLN (Persero) ULP Kupang system has a feed length of ± 79.825 kms and is the longest of all feeders installed in the ULP Kupang. To minimize the voltage drop and power losses on the Naioni Feeder 20 kV medium Voltage overhead lines (SUTM), network reconfiguration needs to be done including changing the diameter of the conductor, installing a transformer insert and installing a capacitor bank using the help of ETAP software. From the results of the study, before reconfiguration, the voltage drop at the end of the Bus_Trafo KB 082 channel was 0.967 kV and the voltage drop percentage was 4.68% while the total power losses at Naioni Feeder were 20 kV, which were active power losses of 48.062 kW and loss reactive power loss of 25,689 kVAR. Furthermore, after reconfiguring the carrying diameter on the channel that still uses a small diameter of 35 mm², it will be converted to 70 mm² on cable 17 that connects the KB 119 Transformer Bus channel to the KB 074 Transformer Bus which is a fairly long distance from all other channels. So that after carrying out the reconfiguration of the conductor diameter, the voltage drop at the end of the Bus Trafo KB 082 channel is 0.844 kV and the voltage drop percentage is 4.24%, while the total power losses in the Naioni Feeder are 20 kV which are active power losses of 41.142 kW and conductor reactive power loss of 25.53 kVAR. Furthermore, after installation of the transformer insert and changing the conductor diameter on cable 17 of 35 mm² will be changed to 70 mm² connecting the Transformer Bus Channel KB 119 to the KB 074 Transformer Bus, then the voltage drop at the end of the Bus Trafo KB 082 channel is 0.826 kV and the voltage drop percentage amounting to 4.15% while the total power losses at Naioni Feeder are 20 kV, namely active power losses of 39.292 kW and reactive power losses of 24.467 kVAR. And then, if the capacitor bank is installed on the Bus Transformer KB 119 channel bus point to the Bus Trafo KB 074 channel, then the voltage drop at the Bus Trafo KB 082 channel end is 0.891 kV and the voltage drop percentage is 4.47%, while the total power losses are The 20 kV Naioni Feeder is an active power loss of 43.714 kW and a reactive power loss of 22.888 kVAR.

Keywords: Medium Voltage Overhead Lines Of Naioni Feeder, Voltage Drop, Power losses.

ABSTRAK

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) Penyulang Naioni 20 kV pada sistem ULP Kupang memiliki panjang penyulang $\pm 79,825$ kms dan terpanjang dari semua penyulang yang terpasang pada sistem ULP Kupang. Untuk meminimalisir jatuh tegangan dan rugi daya pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) Penyulang Naioni 20 kV, perlu dilakukan rekonfigurasi jaringan diantaranya dengan merubah diameter penghantar, memasang transformator sisip dan memasang kapasitor bank menggunakan bantuan perangkat lunak ETAP. Dari hasil penelitian, sebelum dilakukan rekonfigurasi, jatuh tegangan pada ujung saluran Bus Trafo KB 082 sebesar 0,967 kV dan presentasi jatuh tegangan sebesar 4,68% sedangkan rugi-rugi daya total pada Penyulang Naioni 20 kV yaitu rugi-rugi daya aktif sebesar 48,062 kW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 25,689 kVAR. Selanjutnya setelah dilakukan rekonfigurasi diameter penghantar pada saluran yang masih menggunakan diameter penghantarnya masih kecil 35 mm² akan diubah menjadi 70 mm² pada pada kabel 17 yang menghubungkan saluran Bus Trafo KB 119 ke Bus Trafo KB 074 yang merupakan jarak yang cukup panjang dari semua saluran yang lain. Sehingga setelah dilakukan rekonfigurasi diameter penghantar, maka jatuh tegangan pada ujung saluran Bus Trafo KB 082 sebesar 0,844 kV dan presentasi jatuh tegangan sebesar 4,24%, sedangkan rugi-rugi daya total pada Penyulang Naioni 20 kV yaitu rugi-rugi daya aktif sebesar 41,142 kW dan rugi daya reaktif penghantar sebesar

25,53 kVAR. Selanjutnya setelah dilakukan pemasangan transformator sisip dan mengubah diameter penghantar pada kabel 17 dari 35 mm² akan diubah menjadi 70 mm² yang menghubungkan saluran Bus Trafo KB 119 ke Bus Trafo KB 074, maka jatuh tegangan pada ujung saluran Bus Trafo KB 082 sebesar 0,826 kV dan presentasi jatuh tegangan sebesar 4,15 % sedangkan rugi-rugi daya total pada Penyulang Naioni 20 kV yaitu rugi-rugi daya aktif sebesar 39,292 kW dan rugi daya reaktif sebesar 24,467 kVAR. Dan Selanjutnya bila mana di pasang kapasitor Bank pada titik bus saluran Bus Trafo KB 119 ke saluran Bus Trafo KB 074, maka jatuh tegangan pada ujung saluran Bus Trafo KB 082 sebesar 0,891 kV dan presentasi jatuh tegangan sebesar 4,47 %, sedangkan rugi-rugi daya total pada Penyulang Naioni 20 kV yaitu rugi-rugi daya aktif sebesar 43,714 kW dan rugi daya reaktif sebesar 22,888 kVAR .

Kata Kunci: SUTM 20 kV Penyulang Naioni, Jatuh Tegangan, Rugi-rugi daya.

1. PENDAHULUAN

Penyaluran daya listrik dari pusat pembangkit ke konsumen menggunakan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) mengakibatkan rugi-rugi teknis (*losses*), yaitu rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran daya listrik terutama adalah ditinjau dari kualitas daya yang diterima oleh konsumen [1].

Penyulang Naioni merupakan jaringan distribusi primer 20 kV radial yang disuplai dari gardu hubung sikumana dengan daya transformator 30 MVA. Penyulang Naioni merupakan saluran terpanjang yang melayani beban pada wilayah Kelurahan Maulafa, Kelurahan Naioni, Tabun, Oenesu, Air Nona, Batakte, Desa Bone Ana, Sumlili, dan wilayah terletak yang paling ujung yaitu Tabulolong dengan panjang ± 79,825 kms sehingga memungkinkan terjadinya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang besar. Dalam perkembangan sistem kelistrikan saat ini telah mengarah pada peningkatan efisiensi dalam penyaluran tenaga listrik. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi yaitu dengan mengurangi rugi daya dan meminimalkan jatuh tegangan pada jaringan. Jatuh tegangan adalah besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar yang diakibatkan adanya impedansi saluran dan beban maka antara tegangan sumber (V_s) dan tegangan penerima (V_p) ada perbedaan. Dimana tegangan penerima akan selalu lebih kecil dari tegangan diterima pada perlengkapan hubungan bagian utama.

Untuk mengurangi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya bisa diminimalkan dengan beberapa cara yaitu dengan melakukan pemasangan kapasitor bank, memperbesar luas permukaan penampang saluran distribusi, dan melakukan perubahan dengan cara

sumber ($V_s > V_p$) [2]. Sedangkan untuk rugi daya adalah besarnya daya yang hilang pada suatu jaringan, yang besarnya sama dengan daya yang disalurkan dari sumber dikurangi besarnya daya yang rekonfigurasi jaringan. Rekonfigurasi jaringan distribusi yaitu proses mengubah nilai arus maupun impedansi penyulang atau memindahkan suplai suatu titik bebantrafo distribusi dari suatu penyulang ke penyulang yang lain. Rekonfigurasi jaringan listrik dapat digunakan untuk menjaga keseimbangan sistem dan mengurangi rugi-rugi saluran [3].

Upaya meningkatkan suatu sistem penyaluran tenaga listrik yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut dengan baik tentunya harus memenuhi kriteria yang ditentukan oleh standar SPLN No.72 Tahun 1987 yaitu 5% bagi sistem yang memanfaatkan konfigurasi jaringan radial dan simpul. Hal ini diupayakan untuk meminimalkan jaringan listrik dengan cara merekonfigurasi jaringan agar jatuh tegangan dan rugi-rugi daya dalam kondisi yang lebih baik sesuai standar perusahaan listrik negara (SPLN).

1.1 Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi

Rugi-rugi daya adalah besarnya daya yang hilang pada suatu jaringan, yang besarnya sama dengan daya yang disalurkan dari sumber dikurangi besarnya daya yang diterima pada perlengkapan hubungan bagian utama. [1]. Rugi daya teknis yang biasa terjadi pada jaringan distribusi dinyatakan dengan persamaan 2.10 berikut:

$$P_{Losses1} = I_p^2 \times R \times L \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

$P_{Losses1}$ = Rugi daya aktif satu fasa pada jaringan (Watt)

$P_{Losses2}$ = Rugi daya aktif tiga fasa pada jaringan (Watt)

I_p^2 = Arus beban pada jaringan (Ampere)

R = Tahanan saluran (Ohm)
 L = Panjang saluran

Besar rugi-rugi daya pada jaringan tergantung pada besarnya tahanan dan arus beban pada jaringan tersebut. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya aktif pada jaringan tiga fasa dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{Losses2} = 3 \times I_p^2 \times R \times L \dots\dots\dots 2.2$$

Persamaan diatas digunakan untuk menghitung rugi daya aktif pada jaringan. Sedangkan untuk menghitung rugi daya reaktif pada jaringan distribusi dapat menggunakan persamaan 2.12 berikut:

Rugi-rugi daya Reaktif satu fasa :

$$Q_{Losses1} = I_p^2 \times X \times L \dots\dots\dots 2.3$$

Rugi-rugi daya Reaktif tiga fasa :

$$Q_{Losses2} = 3 \times I_p^2 \times X \times L \dots\dots\dots 2.4$$

Keterangan :

$Q_{Losses1}$ = Rugi daya Reaktif satu fasa pada jaringan (Watt)

$Q_{Losses2}$ = Rugi daya Reaktif tiga fasa pada jaringan (Watt)

I_p^2 = Arus beban pada jaringan (Ampere)

X = Reaktansi Saluran (Ohm)

L = Panjang saluran

1.2 Jatuh Tegangan

Jatuh Tegangan merupakan selisih antara tegangan kirim dengan tegangan terima pada jaringan distribusi. Tegangan jatuh disebabkan oleh beberapa faktor yaitu arus, impedansi saluran dan jarak. Untuk menghitung jatuh tegangan dapat digunakan rumus berikut [5] :

$$\Delta V = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \times L \dots\dots\dots 2.5$$

Untuk jatuh tegangan *line-line*,

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \times L \dots\dots\dots 2.6$$

Keterangan :

ΔV =Jatuh Tegangan (Volt)

I =Arus Beban (Ampere)

R =Resistansi saluran ((Ohm/km)

X = Reaktansi saluran (Ohm/km)

L = Panjang Jaringan

Rumus mencari sudut antara r dengan x

$$\theta = \tan^{-1} \frac{x}{R} \dots\dots\dots 2.7$$

$$\cos \theta = \frac{R}{\sqrt{R^2+X^2}} \dots\dots\dots 2.8$$

Menurut [1] untuk menghitung presentasi jatuhtegangan dapat menggunakan rumus :

$$\Delta V = \left(\frac{V_s - V_r}{V_s} \right) \times 100\% \dots\dots\dots 2.9$$

Keterangan:

ΔV =Jatuh Tegangan (Volt)

V_s =tegangan sisi pengirim

V_r =tegangan sisi penerima

Tabel 2.1.Impedansi AAAC Berpedoman pada SPLN No.72 Tahun 1987

Penampang Nominal (mm ²)	Impedansi Urutan Positif (Ω/Km)		Impedansi Urutan Nol (Ω/Km)		KHA (A)
	R	X	R	X	
16	2,0160	0,4036	2,1641	1,6911	105
25	1,2903	0,3895	1,4384	1,6770	135
35	0,9217	0,3790	1,0697	1,6665	170
50	0,6452	0,3678	0,7932	1,6553	210
70	0,4608	0,3572	0,6088	1,6047	255
95	0,3396	0,3449	0,4876	1,6324	320
120	0,2688	0,3376	0,4168	1,6251	365
150	0,2162	0,3305	0,3631	1,6180	425
185	0,1744	0,3239	0,3224	1,6114	490
240	0,1344	0,3158	0,2824	1,6033	585

Berdasarkan SPLN No. 72 Tahun 1987 Jatuhtegangan JTM yang diperbolehkan adalah:

1. 2% bagi sistem yang memanfaatkan konfigurasi jaringan spindel dan gugus.
2. 5% bagi sistem yang memanfaatkan konfigurasi jaringan radial dan simpul [4].

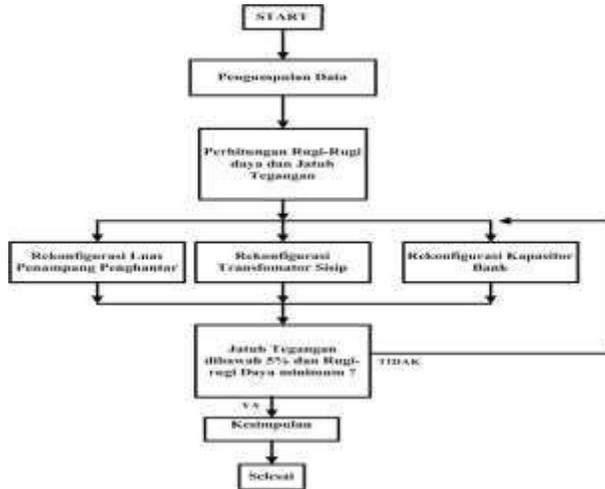
2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur, survey lapangan, wawancara dan pengumpulan data teknis.

Maka data-data yang penulis kumpulkan ialah sebagai berikut :

- 1) Single line diagram sistem pada Penyulang Naioni 20 kV PT PLN (Persero) ULP Kupang.
- 2) Panjang kawat penghantar antar bus transformator distribusi Penyulang naioni.
- 3) Data teknis kawat penghantar penyulang naioni.
- 4) Jumlah trafo distribusi di penyulang naioni.
- 5) Data trafo distribusi meliputi kapasitas transformator, tegangan, impedansi dan tap transformator di penyulang naioni.
 Data beban per transformator distribusi di Penyulang Naioni.

Diagram Alur Kerja Penelitian



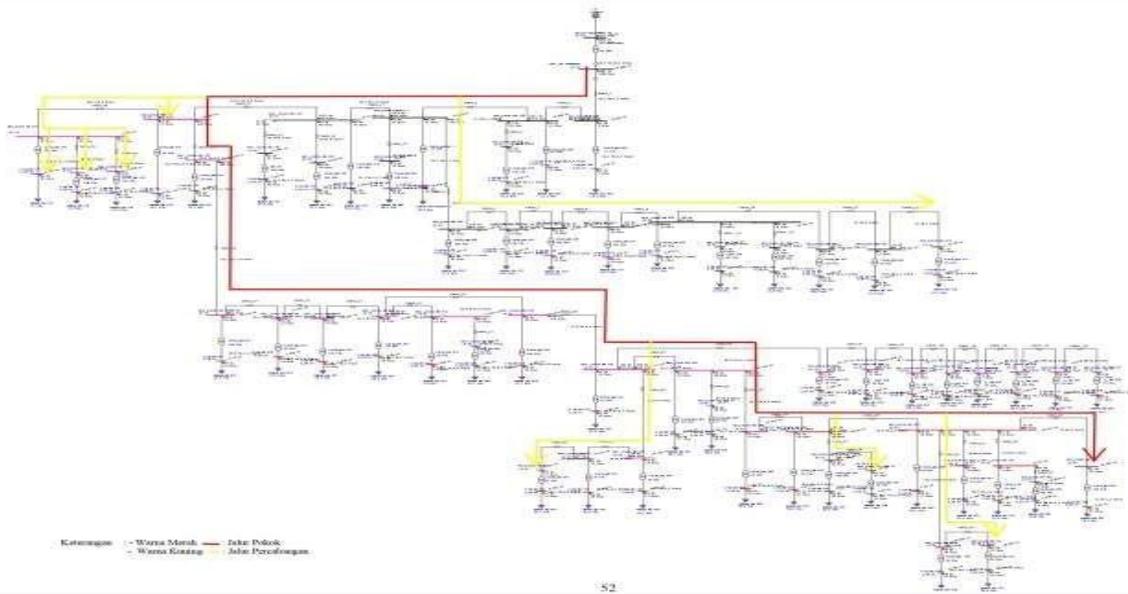
Gambar 3.1 Diagram Alur Kerja Penelitian

3.1 Umum

3.1.1 Struktur Jaringan Penyulang Naioni

Pada Penyulang Naioni mempunyai beban total Transformator Distribusi sebesar 2319,0755 kVA yang tersebar di sepanjang jaringan dengan total daya transformator GH Sikumana sebesar 30 MVA. Penyulang Naioni melayani beban pada wilayah Kelurahan Maulafa, Kelurahan Naioni, Tabun, Onesu, Air Nona, Batakte, Desa Bone Ana, Sumlili, dan wilayah terletak yang paling ujung yaitu Tabulolong. Total Transformator Distribusi yang ada di penyulang Naioni berjumlah 55 Transformator Distribusi 3 fase. Total keseluruhan panjang jaringan yang ada di penyulang Naioni yakni ± 79,825 kms yang terdiri dari saluran udara tegangan menengah (SUTM). Single line Diagram Penyulang Naioni dapat dilihat pada Gambar 3.1

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3.1 Single line Diagram Penyulang Naioni

3.1.2 Data Jaringan Penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Naioni

Jaringan distribusi yang digunakan pada Penyulang Naioni merupakan jaringan distribusi tegangan menengah tiga fasa (3Ø). Untuk konstruksi jaringan distribusi-nya terdiri dari Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV.

Luas penampang kawat yang digunakan yaitu AAAC 150 mm², 70 mm², dan 35 mm². Untuk impedansi ($R \cos \phi + X \sin \phi$), nilai R dan X-nya didapatkan berdasarkan ketentuan SPLN No. 72 Tahun 1987 seperti Tabel 2.1. Untuk data panjang jaringan menggunakan data dan kapasitas daya pembebanan pada setiap transformator dapat dilihat Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 ini.

Tabel 3.1 Data Panjang Jaringan Penyulang Naioni

No	DARI GARDU-KE GARDU	PANJANG PENGHANTAR (km)
1	GH SIKUMANA-KB 099	0,25
2	KB 099-KB 138	0,87
3	KB 138 - KB 029	1,4
4	KB 099 - KB NAIONI	0,36
5	KB NAIONI - KB 096	1,57
6	KB NAIONI - KB 058	0,52
7	KB 058 - KB 144	0,06
8	KB 144- KB 169	0,63
9	KB 169 - KB 176	0,74
10	KB 176 - KB 059	2,43
11	KB 059 - KB 061	2,26
12	KB 061 - KB 062	0,85
13	KB 062 - KB 118	0,14
14	KB NAIONI - KB 119	1,14
15	KB 119 - KB 202	0,59
16	KB 119 - KB 186	1,77
17	KB 119 - KB 074	3,17
18	KB 074 - KB 072	0,73
19	KB 072 - KB 123	0,51
20	KB 072 - KB 168	0,44
21	KB 074 - KB 137	1,03
22	KB 137 -KB 011	1,02
23	KB 011 - KB 018	1,64
24	KB 018 - KB 191	2,19
25	KB 191 - KB 064	0,7
26	KB 064 - KB 022	1,75
27	KB 022 - KB 083	0,535
28	KB 064 - KB 019	0,43
29	KB 019 - KB 106	1,13
30	KB 106 - KB 143	1,8
31	KB 143 - KB 075	0,52
46	KB 106 - KB 078	1,85
47	KB 078 -KB 068	4,38
48	KB 068 -KB 067	1,82
49	KB 067 -KB 065	1,93
50	KB 065 -KB 066	1,06
51	KB 066 -KB 049	2,12
52	KB 049 -KB 057	1,24
53	KB 057 -KB 048	2,11
54	KB 059 - KB 0195	1,1
55	KB 195 - KB 196	0,12

KB 186	100	75,214	75,214
KB 058	100	17,498	17,498
KB 144	100	44,123	44,123
KB 169	100	50,888	50,888
KB 176	50	32,48	64,96
KB 059	50	18,486	36,972
KB 061	100	32,743	32,743
KB 062	50	14,264	28,528
KB 118	50	17,828	35,656
KB 074	50	23,027	46,054
KB 072	100	65,888	65,888
KB 123	100	46,403	46,403
KB 168	50	21,272	21,272
KB 137	100	14,197	28,394
KB 011	100	61,27	61,27
KB 018	50	28,546	57,092
KB 191	10	13,686	13,686
KB 064	50	11,849	23,698
KB 022	50	34,022	68,044
KB 075	50	21,932	43,864
KB 076	50	22,604	45,208
KB 036	50	38,092	76,184
KB 043	50	17,198	34,396
KB 089	50	12,13	24,26
KB 037	50	12,808	25,616
KB 044	100	18,602	37,13
KB 139	50	15,886	31,772
KB 166	50	25,079	50,158
KB 053	50	16,749	33,498
KB 038	50	4,201	8,402
KB 054	50	18,469	36,938
KB 136	50	14,335	28,67
KB 091	100	13,779	13,779
KB 082	100	45,641	45,641
KB 078	50	11,321	22,642
KB 068	50	8,8	17,6
KB 067	50	8,81	17,62
KB 066	50	15,889	31,778
KB 065	50	8,346	16,692
KB 049	100	9,52	9,52
KB 057	50	8,349	16,698
KB 048	50	7,892	15,784
KB 195	100	14,856	14,856
KB 196	100	15,802	15,802

Tabel 3.2 Data Kapasitas Daya Pembebanan Pada Setiap Transformator

GARDU	KAPASITAS DAYA (kVA)	BEBAN kVA	% PEMBEBANAN
KB 099	25	14,574	58,296
KB 138	50	25,332	50,664
KB029	100	16,704	16,704
KB NAIONI I	50	40,793	81,586
KB096	100	77,579	77,579
KB 119	100	45,569	45,569
KB 202	160	87,9	54,9375

3.2 Simulasi Dan Analisis

3.2.1 Kondisi Eksiting Jaringan Pada Penyulang Naioni 20 kV

Setelah dilakukan simulasi jaringan distribusi Penyulang Naioni menggunakan metode aliran daya Newton-Rapshon dengan program ETAP 12.6 maka didapatkan hasil pada kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan.

Tabel 3.3 Tabel Jatuh Tegangan Terukur Hasil Simulasi ETAP 12.6

Dari Bus	Ke Bus	Tegangan Kirim (Kv)	Tegangan Terima (Kv)	Arus (A)
Bus GH SIKUMANA	Bus Trafo KB 099	19,885	19,874	65,01
Bus Trafo KB 089	Bus Trafo KB 037	19,042	18,996	10,62
Bus Trafo KB 037	Bus Trafo KB 044	18,996	18,983	2,723
Bus Trafo KB 044	Bus Trafo KB 139	18,983	18,982	0,97
Bus Trafo KB 037	Bus Trafo KB 038	18,996	18,964	6,885
Bus Trafo KB 038	Bus Trafo KB 053	18,964	18,959	2,1
Bus Trafo KB 053	Bus Trafo KB 166	18,959	18,957	1,056
Bus Trafo KB 038	Bus Trafo KB 054	18,964	18,961	1,121
Bus Trafo KB 038	Bus Trafo KB 136	18,964	18,96	0,763
Bus Trafo KB 136	Bus Trafo KB 091	18,96	18,959	0,376
Bus Trafo KB 038	Bus Trafo KB 082	18,964	18,954	1,879

Berdasarkan hasil data simulasi ETAP 12.6 pada Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa hasil simulasi pada kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan Penyulang Naioni pada tegangan ujung jaringan utama (main feeder) mengalami penurunan dengan besar tegangan untuk tiap-tiap saluran yaitu pada saluran Bus Trafo KB 037 sebesar 18,96 kV, Bus Trafo KB 044 sebesar 18,947 kV, Bus Trafo KB 139 sebesar 18,947 kV, Bus Trafo KB 038 sebesar 18,928, Bus Trafo KB 053 sebesar 18,923 kV, Bus Trafo KB 166 sebesar 18,921 kV, Bus Trafo KB 054 sebesar 18,925 kV, Bus Trafo KB 136 sebesar 18,924 kV, Bus Trafo KB 091 sebesar 18,924 kV, dan Bus Trafo KB 082 sebesar 18,918 kV.

3.2.2 Perhitungan Jatuh Tegangan dan Rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi Jaringan Pada Penyulang Naioni

Perhitungan jatuh tegangan dan rugi daya untuk setiap bagian jaringan (jarak antar bus) dilakukan dari titik sumber ke titik saluran bus yang berada di depannya. Untuk menghitung jatuh tegangan dilakukan dengan asumsi dimana titik sumber adalah titik A dan jaringan saluran bus di depannya adalah titik B begitupun untuk menghitung jatuh tegangan dan rugi daya pada saluran bus yang lain dengan menggunakan asumsi yang sama dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.

Berdasarkan Gambar 3.1. dapat dilihat untuk mengetahui besarnya jatuh tegangan pada titik B dapat menggunakan persamaan 2.5:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \times L \dots \dots \dots 2.5$$

Keterangan :

- ΔV =Jatuh Tegangan (Volt)
- I =Arus Beban (Ampere)

- R =Resistansi saluran ((Ohm/km)
- X = Reaktansi saluran (Ohm/km)

Pada kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan Penyulang Naioni, Faktor daya pada simulasi ETAP 12.6 dari Saluran Bus Gardu Hubung Sikumana ke Saluran Bus KB 099 di Penyulang Naioni dimana faktor daya yaitu 0,85.

- cos θ = 0,85
- Sin θ = 0,52
- R = 0,2162 Ohm
- X = 0,3305
- Panjang = 0,25

Jadi dengan memasukan persamaan 2.5 untuk menghitung Jatuh Tegangan persection menjadi :

$$\begin{aligned} \Delta V &= \sqrt{3} \times 65,01 (0,2162 \times 0,85 + \\ & \quad 0,3305 \times 0,52) \times 0,25 \\ &= 9,997 \text{ Volt} \\ &= 0,00999 \text{ kV} \end{aligned}$$

Dengan dilakukannya rumus yang sama untuk semua penghantar dengan mengacu pada data tahanan pada tabel 2.1 dan data arus beban pada tabel 3.3 maka didapatkan hasil jatuh tegangan terukur simulasi ETAP 12.6 dan perhitungan dengan menggunakan rumus didapatkan hasil keseluruhan-nya yaitu sama seperti hasil pengukuran pada hasil simulasi program ETAP 12.6 hanya berbeda selisih beberapa angka dibelakang koma.

Dari hasil simulasi pada Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa hasil simulasi mengalami penurunan tegangan yang paling rendah yaitu Bus Trafo KB 166 sebesar 18,921 kV dan saluran Bus Trafo KB 082 sebesar 18,918 kV, karena pada Bus Trafo KB 082 tersebut merupakan bus percabangan paling ujung dari semua bus percabangan yang lain.

Untuk perhitungan presentasi jatuh tegangan kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan pada penyulang Naioni dapat menggunakan persamaan 2.8 adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = \left(\frac{V_s - V_r}{V_s} \right) \times 100\%$$

Keterangan: ΔV = Jatuh Tegangan (Volt)

V_s = tegangan sisi pengirim

V_r = tegangan sisi penerima

Dengan mempresantasikan bahwa saluran Bus GH Sikumana sebagai tegangan sisi kirim (V_s) dengan besar tegangan sebesar 19,885 kV sedangkan disisi penerima (V_r) yaitu pada Bus Trafo KB 166 dan Bus Trafo KB 082. Maka untuk menghitung presentasi jatuh tegangan pada kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan Penyulang Naioni adalah sebagai berikut :

$$\Delta V_{\text{Bus Trafo KB 166}} = 19,885 - 18,957 = 0,928 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V \text{ Bus Trafo KB 166} &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{0,928}{19,885} \times 100\% \\ &= 4,66\% \end{aligned}$$

$$\Delta V_{\text{Bus Trafo KB 082}} = 19,885 - 18,954 = 0,931 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V_{\text{Bus Trafo KB 166}} &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{0,931}{19,885} \times 100\% \\ &= 4,68\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat diketahui bahwa pada kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan Penyulang Naioni mengalami jatuh tegangan pada Bus Trafo KB 166, dan Bus Trafo KB 082 dengan jatuh tegangan untuk masing-masing bus yaitu Bus Trafo KB 166 sebesar 0,964 atau 4,84 % dan Bus Trafo KB 082 sebesar 0,967 kV atau 4,86%. Oleh karena itu jatuh tegangan pada ujung jaringan masih dalam batas toleransi yang ditentukan yaitu ± 5 %.

Untuk menghitung rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada penghantar pada Penyulang Naioni dapat dilakukan dengan persamaan 2.11 dan 2.14 yaitu :

Rugi-Rugi Daya Aktif tiga fasa :

$$\begin{aligned} P_{\text{Losses2}} &= 3 \times I^2 \times R \cdot L \\ &= 3 \times 65,01^2 \times 0,2162 \times 0,25 \\ &= 685,295 \text{ Watt} \\ &= 0,6853 \text{ kW} \end{aligned}$$

Rugi-rugi daya Reaktif tiga fasa :

$$\begin{aligned} Q_{\text{Losses2}} &= 3 \times I_p^2 \times X \times L \\ &= 3 \times 65,01^2 \times 0,3305 \times 0,25 \\ &= 1047,6 \text{ VAR} \\ &= 1,04759 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Dengan dilakukannya rumus yang sama untuk semua penghantar dengan mengacu pada data tahanan pada Tabel 3.1 dan data arus beban pada tabel 3.1 maka didapatkan hasil rugi-rugi daya. Rugi-rugi daya tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Hasil Simulasi dan Perhitungan Rugi-rugi daya Pada Saluran Udara Tegangan Menengah Penyulang Naioni

No	Dari Bus	Ke Bus	RUGI DAYA TERUKUR	
			kW	kVAR
1	Bus GH SIKUMANA	Bus Trafo KB 099	0,692	1,11

2	Bus Trafo KB 099	Bus Trafo KB 138	2,378	3,816
3	Bus Trafo KB 138	Bus Trafo KB 029	0,01	0,004
4	Bus Trafo KB 138	Bus Trafo NAIONI 1	1,954	1,59
5	Bus Trafo NAIONI 1	Bus Trafo KB 058	0,589	0,254
6	Bus Trafo KB 058	Bus Trafo KB 144	0,14	0,058
7	Bus Trafo KB 144	Bus Trafo KB 169	0,012	0,005
8	Bus Trafo KB 169	Bus Trafo KB 176	0,084	0,036
9	Bus Trafo KB 176	Bus Trafo KB 059	0,065	0,028
10	Bus Trafo KB 059	Bus Trafo KB 061	0,086	0,037
11	Bus Trafo KB 061	Bus Trafo KB 062	0,022	0,01
12	Bus Trafo KB 062	Bus Trafo KB 118	0,001	0,001
13	Bus Trafo NAIONI 1	Bus Trafo KB 096	0,002	0,001
14	Bus Trafo NAIONI 1	Bus Trafo KB 119	3,545	2,884
15	Bus Trafo KB 119	Bus Trafo KB 202	0,01	0,004
16	Bus Trafo KB 119	Bus Trafo KB 186	0,016	0,003
17	Bus Trafo KB 119	Bus Trafo KB 074	14,489	6,253
18	Bus Trafo KB 074	Bus Trafo KB 072	0,06	0,026
19	Bus Trafo KB 072	Bus Trafo KB 123	0,005	0,002
20	Bus Trafo KB 072	Bus Trafo KB 168	0,004	0,002
21	Bus Trafo KB 074	Bus Trafo KB 137	3,337	1,44
22	Bus Trafo KB 137	Bus Trafo KB 011	3,084	1,331
23	Bus Trafo KB 011	Bus Trafo KB 018	3,237	0,651
24	Bus Trafo KB 018	Bus Trafo KB 191	5,515	2,38
25	Bus Trafo KB 191	Bus Trafo KB 064	1,587	0,685
26	Bus Trafo KB 064	Bus Trafo KB 022	0,023	0,01
27	Bus Trafo KB 022	Bus Trafo KB 083	0,002	0,001
28	Bus Trafo KB 064	Bus Trafo KB 019	0,767	0,331
29	Bus Trafo KB 019	Bus Trafo KB 106	1,797	0,775
30	Bus Trafo KB 106	Bus Trafo KB 143	0,03	0,013
31	Bus Trafo KB 143	Bus Trafo KB 075	0,004	0,002
32	Bus Trafo KB 075	Bus Trafo KB 076	0,006	0,002
33	Bus Trafo KB 106	Bus Trafo KB 036	1,557	0,672
34	Bus Trafo KB 036	Bus Trafo KB 043	0,008	0,003
35	Bus Trafo KB 036	Bus Trafo KB 089	0,607	0,262
36	Bus Trafo KB 089	Bus Trafo KB 037	0,8	0,345
37	Bus Trafo KB 037	Bus Trafo KB 044	0,055	0,024
38	Bus Trafo KB 044	Bus Trafo KB 139	0,001	0
39	Bus Trafo KB 037	Bus Trafo KB 038	0,348	0,15
40	Bus Trafo KB 038	Bus Trafo KB 053	0,017	0,007
41	Bus Trafo KB 053	Bus Trafo KB 166	0,004	0,002
42	Bus Trafo KB 038	Bus Trafo KB 054	0,006	0,003
43	Bus Trafo KB 038	Bus Trafo KB 136	0,005	0,002
44	Bus Trafo KB 136	Bus Trafo KB 091	0	0
45	Bus Trafo KB 038	Bus Trafo KB 082	0,032	0,014
46	Bus Trafo KB 106	Bus Trafo KB 078	0,256	0,11
47	Bus Trafo KB 078	Bus Trafo KB 068	0,452	0,195
48	Bus Trafo KB 068	Bus Trafo KB 067	0,147	0,063
49	Bus Trafo KB 067	Bus Trafo KB 066	0,112	0,048
50	Bus Trafo KB 066	Bus Trafo KB 065	0,044	0,019
51	Bus Trafo KB 065	Bus Trafo KB 049	0,048	0,021
52	Bus Trafo KB 049	Bus Trafo KB 057	0,006	0,003
53	Bus Trafo KB 057	Bus Trafo KB 048	0,003	0,001
54	Bus Trafo KB 059	Bus Trafo KB 195	0,001	0
55	Bus Trafo KB 059	Bus Trafo KB 196	0	0
TOTAL			48,062	25,689

Berdasarkan Tabel 3.4 menunjukkan bahwa total rugi daya aktif penghantar sebesar 48,062 kW dan rugi daya reaktif penghantar sebesar 25,689 kVAR. Sehingga hasil perhitungan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya dengan menggunakan persamaan 2.11 dan 2.14 diatasdidapatkan hasil keseluruhan-nya yaitu sama seperti pada hasil simulasi program ETAP 12.6 hanya berbeda selisih beberapa angka dibelakang koma. Dapat diambil dari hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6 diperoleh kondisi bahwa pada hasil simulasi ETAP 12.6 kondisi Existing jatuh tegangan pada ujung jaringan masih dalam toleransi standard SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu $\pm 5\%$.

3.2.3 Perbaikan Luas Penampang Penghantar

Salah satu upaya untuk meminimalkan atau memperbaiki penyaluran energi daya listrik yang mudah dilakukan dan bermanfaat dalam waktu yang lama untuk mengantisipasi perkembangan beban yang dipikul oleh penyulang adalah dengan rekonfigurasi luas penampang. Upaya ini perlu dilakukan agar mengurangi jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada saluran. Dilihat pada data Tabel 3.1 bahwa luas penampang saluran penghantar utama (main feeder) yang menggunakan luas penampang AAAC 150 mm² mempunyai panjang $\pm 1,12$ kms, sedangkan luas penampang AAAC 70 mm² mempunyai panjang $\pm 3,14$ kms, dan luas penampang yang paling panjang digunakan yaitu 35 mm² dengan panjang $\pm 77,005$ kms. Rencana rekonfigurasi luas penampang penghantar yaitu dari 35 mm² menjadi AAAC 70 mm² yaitu pada saluran penghantar utama (main feeder) pada kabel 17 17 yang menghubungkan saluran Bus Trafo KB 119 ke Bus Trafo KB 074 ini merupakan jarak yang cukup panjang antara beban lainnya dengan panjang salurannya yaitu 3,17 km sehingga menyebabkan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada ujung jaringan Penyulang Naioni. Sedangkan pada saluran yang paling ujung lainnya tetap menggunakan penghantar AAAC 35 mm². Untuk hasil simulasi keseluruhan Gambar *single line diagram*-nya dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Berdasarkan hasil rekonfigurasi diameter pada saluran Bus Trafo KB 119 ke Saluran Bus Trafo KB 074 menunjukkan bahwa pada kondisi setelah di lakukan-nya rekonfigurasi luas penampang penghantar, maka jatuh tegangan tegangan pada tiap saluran selalu mengalami kenaikan yaitu pada saluran Bus Trafo KB 037 sebesar 19,082 kV, Bus Trafo KB 044 sebesar 19,069 kV, Bus Trafo KB 139 sebesar 19,068 kV, Bus Trafo KB 038 sebesar 19,05 kV, Bus Trafo KB 053 sebesar 19,045 kV, Bus Trafo KB 166 sebesar 19,043 kV, Bus Trafo KB 054 sebesar 19,047 kV, Bus Trafo KB 136 sebesar 19,046

kV, Bus Trafo KB 091 sebesar 19,045 kV, dan Bus Trafo KB 082 sebesar 19,04 kV.

Untuk perhitungan presentasi jatuh tegangan sebelum rekonfigurasi jaringan pada Penyulang Naioni dapat menggunakan persamaan 2.19 adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = \left(\frac{V_s - V_r}{V_s} \right) \times 100\%$$

Keterangan: ΔV = Jatuh Tegangan (Volt)
 V_s = tegangan sisi pengirim
 V_r = tegangan sisi penerima

Dengan mempresentasikan bahwa saluran Bus GH Sikumana sebagai tegangan sisi kirim (V_s) dengan besar tegangan sebesar 19,884 kV sedangkan di sisi penerima (V_r) yaitu pada Bus Trafo KB 166 dan Bus Trafo KB 082. Maka untuk menghitung jatuh tegangan dan presentasi jatuh tegangan setelah rekonfigurasi jaringan adalah sebagai berikut :

$$\Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 166}} = 19,884 - 19,043 = 0,841 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 166}} &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{0,841}{19,884} \times 100\% \\ &= 4,22 \% \end{aligned}$$

$$\Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 082}} = 19,884 - 19,04 = 0,844 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 166}} &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{0,844}{19,884} \times 100\% \\ &= 4,24 \% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat diketahui bahwa kondisi setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan Penyulang Naioni, maka presentasi jatuh tegangan mengalami penurunan pada titik saluran Bus Trafo KB 166, dan Bus Trafo KB 082 dengan jatuh tegangan untuk masing-masing bus yaitu Bus Trafo KB 166 sebesar 0,841 atau 4,22 % dan Bus Trafo KB 082 sebesar 0,844 kV atau 4,24 %. Hasil rekonfigurasi luas penampang penghantar pada Penyulang Naioni juga akan mengurangi rugi-rugi daya total yang terjadi pada penyulang. Berdasarkan kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan penyulang Naioni mengalami rugi-rugi daya aktif penghantar sebesar 48,062 kW dan rugi daya reaktif penghantar sebesar 25,689 kVAR. Setelah dilakukan dengan penggantian luas penampang penghantar total

rugi daya aktif dan rugi daya reaktif akan berkurang dengan besar rugi daya masing-masing yaitu rugi daya aktif sebesar 41,142 kW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 25,53 kVAR.

3.2.4 Perbaikan Dengan Pemasangan Kapasitor Bank

Salah satu upaya untuk memperbaiki faktor daya, dapat dilakukan dengan memasang Kapasitor Bank. Dalam melakukan perbaikan faktor daya terlebih dahulu menentukan parameter Kapasitor Bank yang paling optimal.

Untuk menentukan parameter pemasangan kapasitor bank yang paling optimal dapat dihitung dengan mengacu pada persamaan 2.27 sebagai berikut:

$$Q_c = P \text{ (kW)} \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

Ket : P = daya aktif (KW)

Qc = kapasitas kapasitor (KVAR)

tan ϕ_1 = tangen sudut faktor daya awal

tan ϕ_2 = tangen sudut faktor daya yang diinginkan

Pada kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan Penyulang Naioni, Faktor daya pada simulasi ETAP 12.6 dari Saluran Bus Gardu Hubung Sikumana ke Saluran Bus KB 099 di Penyulang Naioni dimana faktor daya yaitu 0,85. Sedangkan setelah rekonfigurasi jaringan Faktor daya yang di inginkan untuk memperbaiki jaringan pada Penyulang Naioni yaitu 0,90. Sebelum menentukan Pemasangan Kapasitor Bank terlebih dahulu mencari nilai daya aktif pada suatu saluran dengan mengacu pada persamaan 2.7 sebagai berikut.

$$P_3 \phi = \sqrt{3} \times VL \times IL \times \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \times 19.885 \times 65,01 \times \cos 0,85$$

$$= 2235,71 \text{ Kw}$$

Maka untuk menentukan nilai kapasitor yang sesuai dengan kebutuhan dapat dihitung melalui persamaan 2.27 berikut:

$$Q_c = P \text{ (kW)} \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

$$\tan \phi_1 = \cos^{-1} (0,84)$$

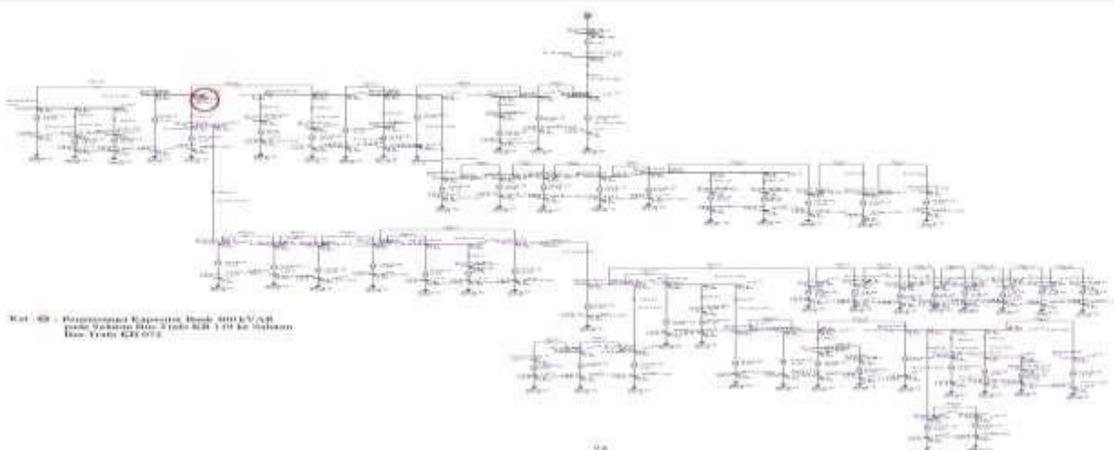
$$\tan \phi_2 = \cos^{-1} (0,90)$$

Maka untuk daya reaktif (Qc) perhitungan sebagai berikut :

$$Q_c = 2238,71 \times (\tan (\cos^{-1} (0,84)) - \tan (\cos^{-1} (0,90)))$$

$$= 302,76 \text{ kVAR}$$

Dari hasil perhitungan data untuk pemasangan kapasitor tersebut menunjukkan nilai sebesar 302,76 kVAR. Karena kapasitor di pasaran tidak ada yang bernilai 361,80 kVAR jadi kapasitor yang di pilih harus 400 kVAR, maka selanjutnya dilakukan pencarian titik dimana untuk penempatan Kapasitor Bank yang paling optimal. Sehingga didapatkan penempatan kapasitor bank yang paling optimal yaitu pada titik bus saluran Bus_Tafo KB 119 ke saluran Bus_Trafo KB 074. Dimana pada saluran Bus Trafo KB 119 ke saluran Bus Trafo KB 074 tersebut merupakan jarak yang cukup panjang dari semua saluran yang lain sehingga mengakibatkan *losses* atau rugi daya reaktif cukup besar dengan besar rugi daya reaktif sebesar 6,253 kVAR, maka untuk itu perlu di pasang Kapasitor Bank agar menekan terjadinya *losses* atau rugi daya reaktif yang besar pada suatu sistem tenaga listrik. Sehingga setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan pemasangan kapasitor Bank pada saluran Bus Trafo KB 119 ke saluran Bus Trafo KB 074 besar rugi daya reaktif akan berkurang sebesar 4,916 kVAR. Untuk hasil simulasi ETAP 12.6 keseluruhan Gambar *single line diagram-nya* dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2 Single Lini Diagram Pemasangan Kapasitor Bank

Berdasarkan Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa kondisi setelah di lakukan-nya perbaikan dengan pemasangan transformator sisipan maka jatuh tegangan tegangan pada tiap saluran selalu mengalami kenaikan yaitu pada saluran Bus Trafo KB 037 sebesar 19,071 kV, Bus Trafo KB 044 sebesar 19,058 kV, Bus Trafo KB 139 sebesar 19,058 kV, Bus Trafo KB 038 sebesar 19,039 kV, Bus Trafo KB 053 sebesar 1819,034 kV, Bus Trafo KB 166 sebesar 19,032 kV, Bus Trafo KB 049 sebesar 19,036 kV, Bus Trafo KB 136 sebesar 19,035 kV, Bus Trafo KB 091 sebesar 19,035 kV, dan Bus Trafo KB 082 sebesar 19,029 kV.

Untuk perhitungan presentasi jatuh tegangan setelah perbaikan dengan Kapasitor Bank jaringan pada penyulang Naioni dapat menggunakan persamaan 2.19 adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = \left(\frac{V_s - V_r}{V_s} \right) \times 100\%$$

Keterangan: ΔV = Jatuh Tegangan (Volt)
 V_s = tegangan sisi pengirim
 V_r = tegangan sisi penerima

Dengan mempresantasikan bahwa saluran Bus GH Sikumana sebagai tegangan sisi kirim (V_s) dengan besar tegangan sebesar 19,92 kV sedangkan di sisi penerima (V_r) yaitu pada Bus Trafo KB 166 dan Bus Trafo KB 082. Maka untuk menghitung jatuh tegangan dan presentasi jatuh tegangan setelah rekonfigurasi jaringan adalah sebagai berikut :

$$\Delta V \text{ Bus TrafoKB 166} = 19,92 - 19,032 = 0,888 \text{ kV}$$

$$\begin{aligned} \% \Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 166}} &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{0,888}{19,92} \times 100\% \\ &= 4,45 \% \end{aligned}$$

$$\Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 082}} = 19,92 - 19,029 = 0,891 \text{ kV}$$

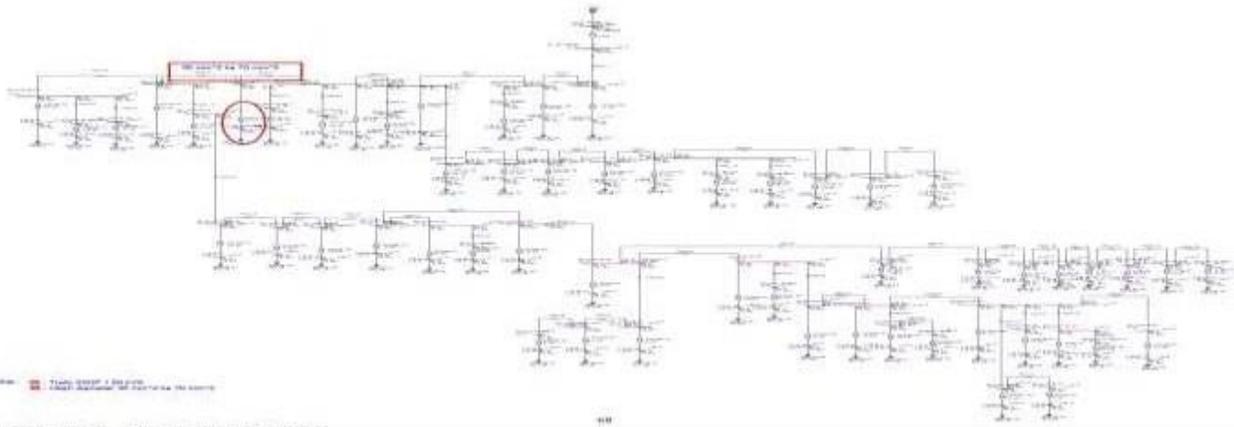
$$\begin{aligned} \% \Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 166}} &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{0,891}{19,92} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 4,47 \%$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat diketahui bahwa pada kondisi setelah dilakukan perbaikan jaringan Penyulang Naioni maka presentasi jatuh tegangan mengalami penurunan pada titik saluran Bus Trafo KB 166, dan Bus Trafo KB 082 dengan jatuh tegangan untuk masing-masing bus yaitu Bus Trafo KB 166 sebesar 0,888 kV atau 4,45 % dan Bus Trafo KB 082 sebesar 0,891 kV atau 4,47%. Sehingga pada kondisi sebelum rekonfigurasi menunjukkan bahwa jaringan Penyulang Naioni mengalami rugi-rugi daya aktif sebesar 48,062 kW dan rugi daya reaktif sebesar 25,689 kVAR. Setelah dilakukan dengan perbaikan pemasangan Kapasitor Bank total rugi daya aktif dan rugi daya reaktif akan berkurang dengan besar rugi daya masing-masing yaitu rugi daya aktif sebesar 43,714 kW dan rugi daya reaktif sebesar 22,888 kVAR .

3.2.5 Perbaikan Dengan Pemasangan Transformator Sisip

Pemasangan transformator distribusi sisipan ini dimaksudkan untuk mengurangi beban pada gardu distribusi yang sudah ada sebelumnya dengan memindahkan sebagian beban ke gardu distribusi sisip. Penempatan gardu distribusi sisip ini harus di perhatikan dengan matang agar diperoleh posisi yang tepat, sehingga gardu distribusi ini dapat berfungsi untuk meningkatkan kualitas tegangan di ujung jaringan distribusi, maka di dapatkan penempatan pemasangan transformator sisip yang paling optimal yaitu pada saluran Bus _Trafo KB 119 ke Bus Trafo KB 074. Dimana pada kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan pada saluran Bus Trafo KB 119 ke Bus Trafo KB 074 tersebut merupakan jarak yang cukup panjang dari semua saluran yang lain dengan panjang 3,17 km dan masih menggunakan diameter penghantarnya masih kecil yaitu 35 mm². Sedangkan dalam kondisi sebelum rekonfigurasi jaringan rugi daya aktif dan rugi daya reaktif pada saluran Bus Trafo KB 119 ke Bus Trafo KB 074 juga cukup besar dengan besar rugi daya aktif sebesar 14,435 kW dan rugi daya reaktif sebesar 6,229 kVAR. Untuk hasil simulasi keseluruhan Gambar *single line diagram*-nya dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Single Line Diagram Pemasangan Transformator Sisip

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada kondisi setelah di lakukan nya perbaikan dengan pemasangan transformator sisipan maka jatuh tegangan tegangan pada tiap saluran selalu mengalami kenaikan yaitu pada saluran Bus Trafo KB 037 sebesar 19,102 kV, Bus Trafo KB 044 sebesar 19,089 kV, Bus Trafo KB 139 sebesar 19,089 kV, Bus Trafo KB 038 sebesar 19,07 kV, Bus Trafo KB 053 sebesar 19,065 kV, Bus Trafo KB 166 sebesar 19,063 kV, Bus Trafo KB 054 sebesar 19,067 kV, Bus Trafo KB 136 sebesar 19,066 kV, Bus Trafo KB 062 sebesar 19,065 kV, dan Bus Trafo KB 082 sebesar 19,06 kV. Untuk perhitungan presentasi jatuh tegangan setelah perbaikan dengan transformator sisip jaringan pada Penyulang Naioni dapat menggunakan persamaan 2.19 adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = \left(\frac{V_s - V_r}{V_s} \right) \times 100\%$$

Keterangan: ΔV = Jatuh Tegangan (Volt)
 V_s = tegangan sisi pengirim
 V_r = tegangan sisi penerima

Dengan mempresantasikan bahwa saluran Bus GH Sikumana sebagai tegangan sisi kirim (V_s) dengan besar tegangan sebesar 19,884 kV sedangkan disisi penerima (V_r) yaitu pada Bus Trafo KB 166 dan Bus Trafo KB 082. Maka untuk menghitung jatuh tegangan dan presentasi jatuh tegangan setelah rekonfigurasi jaringan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 166}} &= 19,886 - 19,063 \\ &= 0,823 \text{ kV} \\ \% \Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 166}} &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{0,823}{19,886} \times 100\% \\ &= 4,13 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 082}} &= 19,886 - 19,06 \\ &= 0,826 \text{ kV} \\ \% \Delta V_{\text{Bus_Trafo KB 166}} &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{0,826}{19,886} \times 100\% \\ &= 4,15 \% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat diketahui bahwa pada kondisi setelah perbaikan jaringan Penyulang Naioni maka presentasi jatuh tegangan mengalami penurunan pada titik saluran Bus Trafo KB 166, dan Bus Trafo KB 082 dengan jatuh tegangan untuk masing-masing bus yaitu Bus Trafo KB 166 sebesar 0,823 kV atau 4,13 % dan Bus Trafo KB 082 sebesar 0,826 kV atau 4,15%. Sedangkan hasil pemasangan transformator sisip pada Penyulang Naioni juga akan mengurangi rugi-rugi daya total yang terjadi pada penyulang. Sehingga pada kondisi existing menunjukkan bahwa jaringan Penyulang Naioni mengalami rugi-rugi daya aktif sebesar 48,062 kW dan rugi daya reaktif sebesar 25,689 kVAR. Setelah dilakukan dengan pemasangan transformator sisip maka total rugi daya aktif dan rugi daya reaktif akan berkurang dengan besar rugi daya masing-masing yaitu rugi daya aktif sebesar 39,292 kW dan rugi daya reaktif sebesar 24,467 kVAR.

3.3 Kondisi Eksiting Sebelum Rekonfigurasi dan Setelah Rekonfigurasi SUTM Penyulang Naioni 20 kV

Dari hasil perhitungan dan simulasi ETAP 12.6 yang telah didapatkan diatas maka akan dibandingkan kondisi sebelum rekonfigurasi dan setelah rekonfigurasi.

Tabel 3.5 Hasil Perbandingan Nilai Presentasi Jatuh Tegangan pada Saluran Bus_KB Trafo 166 dan saluran Bus Trafo KB 082 Sebelum Dan Sesudah Jaringan Di Minimalkan

ID	Jatuh Tegangan Kondisi Rekonfigurasi		Setelah Rekonfigurasi i Luas Penampang Penghantar		Setelah Rekonfigurasi i Pemasangan Transformator Sisip		Setelah Rekonfigurasi Dengan Kapasitor Bank	
	Δv (kV)	%	Δv (kV)	%	Δv (kV)	%	Δv (kV)	%
Bus Trafo KB 166	0,928	4,66	0,841	4,22	0,823	4,13	0,888	4,45
Bus Trafo KB 082	0,931	4,68	0,844	4,24	0,826	4,15	0,891	4,47

Berdasarkan Tabel 3.5 diatas menunjukkan bahwa perbandingan nilai presentasi Jatuh Tegangan Sebelum Dan Sesudah Jaringan diminimalkan selalu mengalami penurunan pada titik saluran Bus Trafo KB 166, dan Bus Trafo KB 082. Pada kondisi sebelum rekonfigurasi saluran Bus Trafo KB 166 jatuh tegangan sebesar 0,928 kV atau 4,66 % dan saluran Bus Trafo KB 082 jatuh tegangan sebesar 0,931 kV atau 4,68 %. Selanjutnya setelah rekonfigurasi luas penampang penghantar maka saluran Bus Trafo KB 166 jatuh tegangan sebesar 0,841 kV atau 4,22 % dan saluran Bus Trafo KB 082 0,844 kV atau 4,24 %. Kemudian setelah pemasangan transformator sisip maka saluran Bus Trafo KB 166 jatuh tegangan sebesar 0,823 kV atau 4,13 % dan saluran Bus Trafo KB 082 sebesar 0,826 kV atau 4,15 %. Selanjutnya setelah pemasangan kapasitor bank maka saluran Bus Trafo KB 166 jatuh tegangan sebesar 0,888 kV atau 4,45 % dan saluran Bus Trafo KB atau 4,47 %, sedangkan perbandingan rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif dari kondisi sebelum rekonfigurasi dan setelah perbaikan dapat dilihat pada Tabel 3.6 rugi daya aktif dan rugi daya reaktif.

Tabel 3.6 Perbandingan Rugi Daya Aktif dan Rugi Daya Reaktif

Kondisi Sebelum Rekonfigurasi		Setelah Rekonfigurasi Luas Penampang Penghantar		Setelah Rekonfigurasi Pemasangan Transformator Sisip		Setelah Rekonfigurasi Dengan Kapasitor Bank	
kW	kVAR	Kw	Kvar	kW	kVAR	kW	Kvar
48,062	25,689	41,42	25,53	39,292	24,467	43,714	22,888

Berdasarkan Tabel 3.6 perbandingan rugi daya aktif dan perbandingan rugi daya reaktif menunjukkan bahwa kondisi sebelum rekonfigurasi rugi daya aktif sebesar 48,062 kW dan rugi daya reaktif sebesar 25,689 kVAR. Selanjutnya setelah dilakukan dengan pergantian luas penampang penghantar mendapatkan hasil rugi-rugi daya aktif sebesar 41,42 kW dan rugi daya reaktif sebesar 25,53 kVAR. Selanjutnya setelah pemasangan

transformator sisip maka hasil rugi daya aktif sebesar 39,292 kW dan rugi daya reaktif sebesar 24,467 kVAR. Kemudian setelah di lakukan dengan pemasangan Kapasitor bank mendapatkan hasil yaitu rugi daya aktif sebesar 43,714 kW dan rugi daya reaktif sebesar 24,888 kVAR.

4. KESIMPULAN

FDari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi existing total rugi-rugi daya SUTM 20 kV pada peyulang Naioni yaitu untuk rugi-rugi daya aktif sebesar 48,062 kW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 25,689 kVAR.
2. Jatuh tegangan SUTM 20 kV penyulang Naioni pada kondisi Existing sebesar 4,68 % ini merupakan masih sesuai standar standard SPLN No. 72 Tahun 1987
3. Dengan cara merekonfigurasi jaringan yaitu mengubah diameter penghantar, memasang transformator sisip, dan memasang Kapasitor Bank tersebut dapat meminimalkan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada SUTM 20 kV Penyulang Naioni. Dari cara tersebut cara yang paling efisien yaitu rekonfigurasi Transformator Sisip dan mengubah diameter kabel sehingga presentasi Jatuh tegangan mengalami penurunan dengan besar tegangan 4,15 % dan rugi-rugi daya dapat di minimumkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andi, “Studi Analisis Profil Tegangan dan Rugi-Rugi Daya serta Energi Tidak Tersalurkan pada Penyulang Ogf 15 Bangau Sakti Di PT. PLN (Persero) Rayon Panam,” Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2017.
- [2] Arif, “Analisis Jatuh Tegangan dan Penanganan pada Jaringan Distribusi 20 kV Rayon Palur PT. PLN (Persero) Menggunakan ETAP 12.6, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.
- [3] Hasbullah, “Simulasi Rekonfigurasi Jaringan Distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) Rayon Sungai Rumbai,” Institut Teknologi Padang, 2017.
- [4] SPLN 72, “Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR),” Jakarta, 1987
- [5] Gonen, T., “Electric Power Distribution System Engineering,” Mc-Graw-Hill, Inc, United States of America, 1986.