

Analisis Profil Tegangan Dan Rugi Daya Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura Dengan Beroperasinya PLTMG Rawa Minyak

Ade Indra¹, Abrar Tanjung², Usaha Situmeang³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Lancang Kuning Pekanbaru

E-mail: adeindra187@gmail.com, abrar@unilak.ac.id, usahasitumeang@unilak.ac.id

Abstrak

Energi listrik merupakan kebutuhan primer yang terus berkembang seiring dengan perkembangan teknologi. Peningkatan ini perlu diimbangi dengan pemenuhan kebutuhan akan energi listrik yang merata kepada konsumen yang berada dipelosok daerah terpencil sekalipun, seperti yang berada dikabupaten Siak Sri Indrapura. Untuk meningkatkan kebutuhan akan energi listrik tersebut adalah harus dilakukannya pembangunan pusat pembangkit listrik yang baru dari pihak produsen yaitu PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara). PT. PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura merupakan penyuplai energy listrik di wilayah Kabupaten Sri Indrapura menggunakan Pusat Listrik Tenaga Diesel dengan kapasitas daya sebesar 25 MW. Permasalahan utama pada sistem distribusi adalah tegangan terima pada ujung saluran transformator DY 061 sebesar 17,975 kV dan rugi daya menjadi 27,694 kW. Rekonfigurasi dilakukan antara Penyulang Sapphire dengan Penyulang Bacan untuk mengatasi tegangan jatuh dan rugi daya. Berdasarkan hasil perhitungan dan diperoleh tegangan terima sebesar 19,027 kV pada transformator DY 061 dan rugi daya aktif sebesar 1,504 kW serta rugi-rugi daya reaktif sebesar 4,049 kVAr

Kata kunci : energi listrik, sistem distribusi, rekonfigurasi

Abstract

Electrical energy is a primary need that continues to grow along with technological developments. This increase needs to be balanced with the fulfillment of the need for electrical energy that is evenly distributed to consumers in remote areas, such as those in the Siak Sri Indrapura Regency. To increase the need for electrical energy, it is necessary to build a new power plant center from the producer, namely PT. PLN (State Electricity Company). PT. PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura is a supplier of electrical energy in the Sri Indrapura Regency using a Diesel Power Plant with a power capacity of 25 MW. The main problem in the distribution system is the received voltage at the end of the DY 061 transformer line of 17.975 kV and the power loss to 27.694 kW. Reconfiguration is carried out between the Sapphire Feed and the Bacan Feed to overcome voltage drops and power losses. Based on the calculation results, the received voltage is 19.027 kV on the DY 061 transformer and the active power loss is 1.504 kW and the reactive power losses are 4.049 kVar.

Key words: electrical energy, distribution system, reconfiguration

1. PENDAHULUAN

Sistem penyaluran tenaga listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit tenaga listrik harus melalui beberapa tahap sebelum tenaga listrik ini sampai ke konsumen. Tahapan berawal dari energi listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit tenaga

listrik yang pada umumnya menghasilkan tegangan sebesar 11,5 kV. Kemudian dinaikkan tegangannya oleh *step-up transformer* yang ada dipusat tenaga listrik menjadi 150 kV. Selanjutnya disalurkan ke jaringan transmisi melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang akan langsung menuju Gardu Induk (GI) [1]. Dari GI energi

listrik kemudian diturunkan tegangannya oleh *step-down transformer* yang ada pada GI menjadi 20 kV. Energi listrik kemudian disalurkan ke jaringan distribusi primer melalui Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) maupun Saluran Kabel Bawah Tanah (SKTM) [2]. Dari jaringan distribusi primer energi listrik kemudian disalurkan melalui gardu distribusi yang tegangannya diturunkan menjadi 380/220 V, dan energi listrik tersebut disalurkan ke konsumen melalui Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR).

Konfigurasi ulang dilakukan dengan transfer beban melalui perubahan status dan perubahan pada hasil simulasi tata letak *Load Break Switch* (LBS) berdasarkan ETAP 12,6 penyulang Sakti adalah 18,664 kV dengan rugi daya sebesar 0,598 MW dan 0,787 MVAR [3]. Perhitungan tegangan akhir adalah 10,42 kV dan rugi daya 988,7 kW. Setelah Substation Baru beroperasi, konfigurasi ulang-1 menghasilkan perhitungan tegangan akhir terendah 16,21 kV dan kehilangan daya 136,59 kW, sedangkan konfigurasi ulang-2 menghasilkan perhitungan tegangan ujung rendah 17,37 kV dan hilangnya daya 56,93 kW [4], [5].

Sistem Tenaga Listrik

A.V.Sudhakara Reddy (2017) menyatakan metoda *Dragon Fly Meta-heuristic Algorithm* (DFA) digunakan untuk merestrukturisasi dan mengidentifikasi Switch yang optimal untuk meminimalkan kehilangan daya nyata dalam jaringan distribusi. Strategi telah diuji Sistem bus 16 bus, 33-bus, dan 69-bus IEEE untuk menunjukkan Pencapaian dan kecukupan proposal teknis. Hasilnya menunjukkan bahwa pengurangan kerugian yang signifikan dan peningkatan profil tegangan daya nyata. Shudakara Reddy dkk (2017) menyatakan bahwa Fungsi objektif dirumuskan untuk menyelesaikan masalah konfigurasi ulang yang mencakup minimalisasi kehilangan daya nyata. *Algoritma Gray Wolf Optimization Algorithm* digunakan untuk merestrukturisasi sistem distribusi daya dan mengidentifikasi sakelar optimal yang sesuai dengan kehilangan daya minimum dalam jaringan distribusi. Teknik GWO telah diuji pada standar IEEE 33-bus dan sistem 69-bus dan hasilnya disajikan.

Sistem distribusi merupakan subsistem yang terdiri dari pusat pengatur (*Distribution Control Centre, DCC*), saluran tegangan menengah 20 kV yang biasa disebut tegangan jaringan distribusi primer yang merupakan saluran udara atau kabel bawah tanah, gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan menengah dan transformator sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah 380/220 V yang menghasilkan tegangan kerja untuk industri dan konsumen perumahan. Untuk mendapatkan mutu dan keandalan yang tinggi pada sistem distribusi tenaga listrik ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu

- Regulasi tegangan (*voltage regulation*) yaitu variasi tegangan pelayanan harus dalam batas-batas yang diizinkan.
- Kontinuitas pelayanan yaitu tidak sering terjadinya pemutusan pelayanan listrik karena gangguan dan walaupun ada gangguan tersebut dapat diatasi dengan cepat.
- Efisiensi yaitu menekan serendah mungkin rugi-rugi teknis dengan pemilihan peralatan dan pengoperasian yang baik dan juga menekan rugi-rugi teknis dengan mencegah kesalahan pengukuran.

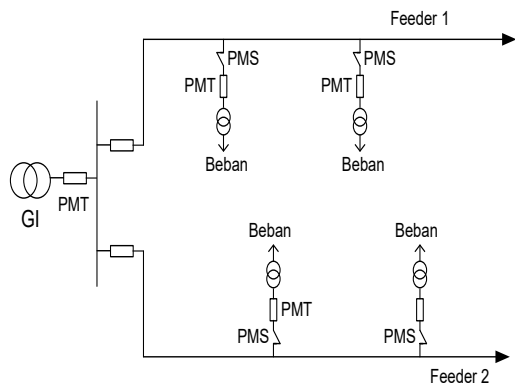
Dalam sistem jaringan distribusi dikenal beberapa macam tipe jaringan distribusi, dimana masing-masing sistem ini mempunyai karakteristik-karakteristik yang berbeda-beda serta mempunyai keuntungan dan kerugian yang tergantung pada kebutuhan saluran distribusi tersebut. Perencanaan dan pemilihan suatu bentuk konfigurasi jaringan distribusi *primer* disesuaikan dengan keadaan setempat serta memperhitungkan faktor ekonomis, lokasi dan prospek perkembangan dimasa yang akan datang, tanpa mengabaikan mutu dan kehandalan dari jaringan tersebut [3], [6], [7]. Dalam sistem jaringan distribusi terdapat tiga bentuk konfigurasi jaringan distribusi yang umum digunakan dalam mendistribusikan tenaga listrik, yaitu :

- Konfigurasi Jaringan Distribusi *Radial*
- Konfigurasi Jaringan Distribusi *Loop*
- Konfigurasi Jaringan Distribusi *Spindel*

Sistem Jaringan Distribusi *Radial*

Sistem jaringan distribusi *radial* ini adalah bentuk konfigurasi jaringan yang sangat sederhana dengan biaya yang relatif

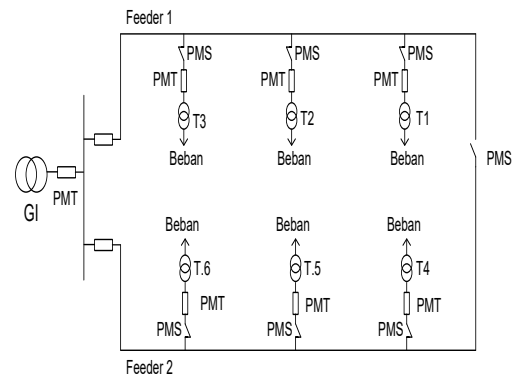
murah yang menghubungkan beban-beban ke sisi sumber tenaga listrik. Konfigurasi ini biasa dipakai untuk melayani daerah beban dengan kerapatan beban rendah dan sedang, tetapi sistem seperti ini tingkat keandalannya *relative* rendah. Apabila terjadi gangguan sepanjang saluran, maka semua konsumen yang tersambung ke sistem akan terputus, atau daerah pemadaman lebih luas dibandingkan konfigurasi jaringan *loop* maupun konfigurasi jaringan *spindle*. Sistem ini mempunyai sebuah saluran yang ditarik dari suatu sumber daya atau gardu induk dan saluran dicabangkan untuk beban-beban dilayani seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Jaringan Distribusi Jenis *Radial*

Sistem Jaringan Distribusi *Loop*

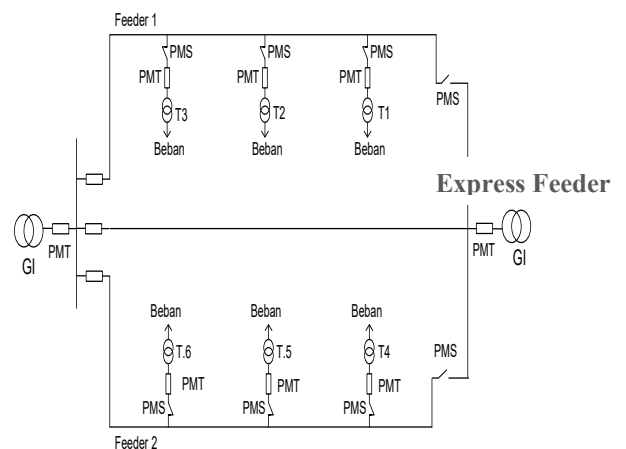
Sistem jaringan distribusi *loop* adalah bentuk konfigurasi jaringan yang memungkinkan alternatif lain dalam pemasokan sumber energi listrik dari dua arah. Cara ini digunakan untuk mengurangi lama pemutusan daya yang disebabkan oleh gangguan dengan menyambung kedua ujung saluran, sehingga keandalan sistem ini lebih baik dari pada sistem jaringan distribusi *radial*. Kelemahan konfigurasi jaringan distribusi *loop* ini salah satunya adalah biaya yang lebih mahal [8]–[11]. Sistem demikian biasanya dioperasikan secara manual dan dipakai pada jaringan-jaringan yang relatif kecil seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Jenis *Loop*

2.1.1 Sistem Jaringan Distribusi *Spindle*

Sistem jaringan distribusi *Spindle* adalah bentuk konfigurasi yang telah dikembangkan dari bentuk konfigurasi jaringan distribusi sistem *radial* dan bentuk konfigurasi jaringan distribusi sistem *loop*. Konfigurasi jaringan *spindle* ini terdiri dari beberapa penyulang dengan sumber tegangan yang berasal dari gardu induk distribusi dan kemudian disalurkan pada sebuah gardu hubung [2], [12], [13]. Pada tipe ini biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang langsung (*express feeder*) yang akan terhubung dengan gardu hubung, dimana pada kondisi normal penyulang ini tidak dialiri beban. Konfigurasi jaringan ini juga biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah yang menggunakan kabel tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Jenis *Spindle*

2.7 *Electrical Transient Analysis Program (ETAP) 12.6.0*

ETAP 12.6.0 (*Electrical Transient Analysis Program*) Power Station adalah software untuk power sistem yang bekerja berdasarkan plant (*project*). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. Misalnya generator, data motor, data transformator data kabel dan lain-lain. Sebuah plant terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. Dalam Power Station, setiap plant harus menyediakan data base untuk keperluan itu.

ETAP 12.6.0 *Power Station* dapat melakukan penggambaran *single line* diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yakni *load flow* (aliran daya), *short circuit* (hubung singkat), *motor starting*, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *cable derating*. ETAP 12.6.0 *Power Station* juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP 12.6.0 *Power Station* adalah [14] :

- a. *One Line Diagram*, menunjukkan hubungan antara komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- b. *Library*, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektrik maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
- c. Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode-metode yang dipakai.
- d. *Study Case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa

2. METODOLOGI PENELITIAN

Permasalahan utama pada sistem jaringan distribusi PT. PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura adalah akibat terlalu panjang saluran pada penyulang Saphire hingga mencapai 136,95 kms yang mengakibatkan tegangan terima pada ujung saluran transformator menjadi turun mencapai 17,945 kV dan rugi daya menjadi 27,694 kW. Untuk mengurangi jatuh tegangan dan rugi daya maka dilakukan penambahan suplai energi listrik dari PLTMG Rawa Minyak, penambahan ini perlu dilakukan analisa sehingga dapat mengurangi jatuh tegangan dan rugi daya pada saluran tersebut. Metoda dan langkah – langkah pembahasan dalam penyelesaian penelitian ini adalah:

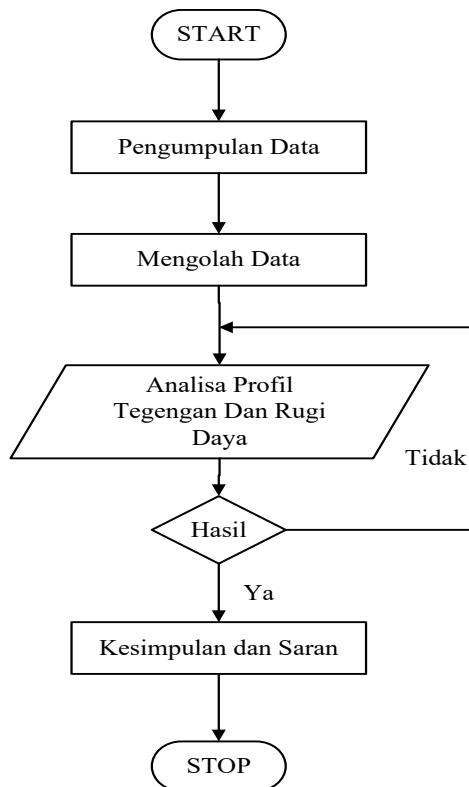
- a. Pengumpulan data berdasarkan hasil pencatatan atau pelaporan PT. PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura dan wawancara langsung dengan supervisor teknik.
- b. Menghitung impedansi total antar transformator pada saluran penyulang Saphire berdasarkan jenis dan luas penampang kawat penghantar yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura.
- c. Menghitung jatuh tegangan dan menghitung tegangan terima transformator distribusi kondisi eksisting.
- d. Menganalisa masuknya tegangan dari PLTMG Rawa Minyak ke penyulang Saphire dengan menggunakan program ETAP 12.6.0

Sistem Kelistrikan

Sistem kelistrikan PT. PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura pada penyulang Saphire bermula dari pusat listrik Gardu Induk Pangkalan Kerinci yang memiliki 1 (satu) unit transformator daya sebesar 30 MVA dan memiliki 4 (empat) penyulang diantaranya penyulang Berlian, penyulang Zamrud untuk area pelayanan PT. PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci, penyulang Bacan dan penyulang Saphire untuk area pelayanan PT. PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini agar hasil yang dicapai tidak menyimpang dari tujuan

yang telah ditentukan adalah seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 *Flow Chart* Penelitian

3. HASIL PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Impedansi dan Tahanan Total

Impedansi dihitung berdasarkan jenis dan ukuran kawat penghantar saluran distribusi pada penyulang Sapphire menggunakan kawat penghantar yang mempunyai luas penampang 240 mm² dengan impedansi kawat penghantar (0,1344 + j0,3158), luas penampang 150 mm² dengan impedansi (0,2162 + j0,3305) dan luas penampang 70 mm² dengan impedansi (0,4608 + j0,3572). Untuk luas penampang AAAC 240 mm² pada penyulang Sapphire dari bus GI PK ke bus Tr DY 051 dengan data sebagai berikut :

Panjang saluran L = 36,8 km
 R = 0,1344 Ohm
 X = 0,3158 Ohm

Untuk menghitung impedansi total sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{Total}} &= \sqrt{R^2 + X^2} \times \text{panjang saluran} \\
 &= \sqrt{(0,1344^2 + 0,3158^2)} \text{ Ohm} \times 36,8 \text{ km} \\
 &= 12,63 \text{ Ohm/km}
 \end{aligned}$$

Untuk luas penampang AAAC 150 mm² pada penyulang Sapphire dari bus D ke bus Tr DY 008 dengan data sebagai berikut :

Panjang saluran = 3,65 km
 R = 0,2162 Ohm
 X = 0,3305 Ohm

Maka impedansi totalnya adalah :

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{Total}} &= \sqrt{R^2 + X^2} \times \text{panjang saluran} \\
 &= \sqrt{(0,2162^2 + 0,3305^2)} \text{ Ohm} \times 3,65 \text{ km} \\
 &= 1,44 \text{ Ohm/km}
 \end{aligned}$$

3.2 Perhitungan Arus Saluran

Perhitungan arus beban 20 kV penyulang Sapphire didasarkan pada arus beban transformator pada posisi 380 V dengan menggunakan arus beban rata-rata. Perhitungan dimulai dari transformator yang berada di ujung saluran dan diteruskan pada transformator berikutnya demikian seterusnya sehingga sampai ke pangkal saluran penyulang Sapphire yang bermula pada Gardu Induk Pangkalan Kerinci. Transformator distribusi yang berada paling ujung saluran adalah Transformator DY061 dengan data arus beban perphasa sebagai berikut :
 I_R = 152 Amp; I_S = 166 Amp; I_T = 189 Amp
 Arus beban rata-rata pada sisi sekunder 380 Volt adalah :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{rata-rata DY061}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\
 &= \frac{152 + 166 + 189}{3} \\
 &= 169 \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

Untuk arus beban pada sisi primer 20 kV dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$I_{\text{DY061}} = \frac{V_2 \times I_2}{V_1}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{DY061}} &= \frac{380 \times 169}{17945} \\
 &= 3,57 \text{ Amp}
 \end{aligned}$$

Sehingga arus yang mengalir pada saluran 20 kV dari DY060 ke DY061 adalah :

$$I_{DY060 - DY061} = 3,57 \text{ Amp}$$

Besar arus DY060, arus beban perphasa adalah :

$$I_R = 105 \text{ Amp}; I_S = 134 \text{ Amp}; I_T = 164 \text{ Amp}$$

Arus beban rata-rata pada sisi 400 Volt :

$$\begin{aligned} I_{\text{rata-rata DY060}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\ &= \frac{105 + 134 + 164}{3} \\ &= 134,33 \text{ Amp} \end{aligned}$$

Arus beban rata-rata pada sisi 20 kV :

$$\begin{aligned} I_{DY060} &= \frac{V_2 \times I_2}{V_1} \\ I_{DY060} &= \frac{380 \times 134,33}{17953} \\ &= 2,84 \text{ Amp} \end{aligned}$$

3.3 Perhitungan Jatuh Tegangan, Tegangan Terima dan Rugi Daya

Berdasarkan perhitungan jatuh tegangan dan rugi daya pada penyulang Saphire lampiran 2, maka arus yang mengalir antara Bus Gardu Induk Pangkalan Kerinci sampai pada Bus Tr DY 051 adalah 74,83 Amp. Dengan nilai impedansi totalnya 12,63 Ohm, maka jatuh tegangan pada saluran tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta V &= \sqrt{3} \times I_{\text{Total beban 20 kV}} \times Z \\ &= \sqrt{3} \times 74,83 \text{ Amp} \times 12,63 \text{ Ohm} \\ &= 1636,96 \text{ Volt} \\ &= 1,63 \text{ kV} \end{aligned}$$

Tegangan kirim dari Gardu Induk Pangkalan Kerinci adalah 20,4 kV sehingga tegangan terima pada Bus Tr DY 051 adalah :

$$\begin{aligned} V_r \text{ Bus Tr DY 051} &= V_s - \Delta V \\ &= 20,4 \text{ kV} - 1,63 \text{ kV} \\ &= 18,77 \text{ kV} \end{aligned}$$

3.4 Aliran Daya Menggunakan Program ETAP 12.6

Dalam kondisi eksisting dengan menggunakan program ETAP 12.6 dapat dilihat tegangan terima ujung saluran distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura pada penyulang Saphire

untuk transformator DY 061 menurun hingga 17,975 kV

Tabel 1 Hasil Perhitungan Kondisi Eksisting dan Interkoneksi PLTMG Rawa Minyak Menggunakan Program ETAP 12.6

Kondisi Eksisting	Hasil
Total Rugi Daya Aktif (kW)	20,935 kW
Total Rugi Daya Reaktif (kVAr)	57,077 kVAr
Kondisi Interkoneksi	Hasil
Total Rugi Daya Aktif (kW)	19,431 kW
Total Rugi Daya Reaktif (kVAr)	52,963 kVAr

Tabel 2 Profil Tegangan Penyulang Saphire Setelah Masuknya Sistem 20 kV PLTMG Rawa Minyak

No	Transformator	Tegangan (kV)	
		Kondisi Eksisting	Kondisi Interkoneksi PLTMG Rawa Minyak
1.	Tr DY 055	17,981	19,032
2.	Tr DY 056	17,98	19,032
3.	Tr DY 057	17,977	19,029
4.	Tr DY 061	17,975	19,027

Tabel 3 Profil Rugi Daya Aktif dan Rugi Daya Reaktif Penyulang Saphire Setelah Masuknya Sistem 20 kV PLTMG Rawa Minyak

Rugi Daya Aktif (kW)	Existing	Interkoneksi
Total	20,935	19,431
Rugi Daya Reaktif (kVAr)	Existing	Interkoneksi
Total	57,077	52,963

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di peroleh kesimpulan sebagai berikut :

- Pada saat kondisi eksisting tegangan terima di ujung saluran penyulang Saphire pada transformator DY 061

yaitu sebesar 17,975 kV dengan total rugi-rugi daya aktif sebesar 20,935 kW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 57,012 kVAr

- b. Setelah beroperasinya PLTMG Rawa Minyak dan masuknya sistem tersebut ke dalam saluran penyulang Sapphire terdapat perubahan profil tegangan yang ada pada ujung transformator DY 061 yaitu sebesar 19,027 kV dengan total rugi daya aktif sebesar 19,431 kW dan rugi daya reaktif sebesar 52,963 kVar
- c. Dengan beroperasinya PLTMG Rawa Minyak dapat memperbaiki profil tegangan dan rugi daya aktif 1,504 kW dan rugi daya reaktif sebesar 4,049 kVAr.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Asman, H. Eteruddin, and A. Arlenny, "Analisis Proteksi Rele Jarak Pada Saluran Transmisi 150 kV Garuda Sakti – Pasir Putih Menggunakan PSCAD," *SainETIn*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2018.
- [2] H. Eteruddin and A. A. Mohd Zin, "Reduced Dielectric Losses for Underground Cable Distribution Systems," *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, vol. 1, no. 1, pp. 37–46, Apr. 2012.
- [3] J. Kartoni and E. Ervianto, "Analisa Rekonfigurasi Pembebanan Untuk Mengurangi Rugi - Rugi Daya Pada Saluran Distribusi 20 kV," *Jom FTeknik*, vol. 3, no. 2, p. 1, 2016.
- [4] A. Tanjung, "Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 kV Gardu Induk Teluk Lembu dan PLTMG Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya dan Drop Tegangan," *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 160–166, 2014.
- [5] A. Tanjung and M. Monice, "Reconstruction of Power Supply System 20 kV Distribution to Compare Power Rate and Fall Voltage PT. PLN (Persero) Area Dumai," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 97, no. 1.
- [6] A. Van Anugrah, "Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT. PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci," Skripsi Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning, 2016.
- [7] A. V. S. Reddy, M. D. Reddy, and M. S. K. Reddy, "Network Reconfiguration of Distribution System for Loss Reduction using GWO Algorithm," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 7, no. 6, pp. 3226–3234, 2017.
- [8] SPLN-64, *Petunjuk Pemilihan Dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Indonesia, 1985.
- [9] SPLN-1, *Tegangan Tegangan Standar*. Indonesia, 1995, p. 5.
- [10] SNI-0225, *Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL)*. Indonesia, 2011.
- [11] L. L. Grigsby, *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution*, 3rd ed. CRC Press, 2012.
- [12] T. S. Hutauruk, *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [13] S. M. Sianipar, "Studi Aliran Daya Saluran Distribusi 20 kV Out Going Feeder Bunga Raya PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura," Skripsi Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning, 2016.
- [14] ETAP, *ETAP 12.6 User Guide* ®. California: Operation Technology, 2014.