

Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20 kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci

Andri Van Anugrah¹, Hamzah Eteruddin², Arlenny³

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

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email: andri.vannugrah@pln.co.id, hamzah@unilak.ac.id, arlenny@unilak.ac.id,

Abstrak

Penyaluran energi listrik oleh PT PLN (Persero) Area Pekanbaru, Rayon Pangkalan Kerinci untuk daerah Sorek dan sekitarnya, disuplai oleh saluran distribusi 20 kV feeder Sorek melalui Gardu Hubung Kerinci. Panjang total jaringan feeder Sorek 194 kms dengan luas penampang jaringan utama 240 mm² dan percabangan umumnya menggunakan 150 mm². Jumlah pelanggan yang tersambung ke feeder Sorek sebanyak 20.606 dengan beban penyulang 218,2 ampere melalui 152 unit Transformator distribusi. Feeder Sorek menggunakan sistim distribusi Radial, hanya ada satu sumber melalui dari Gardu Hubung Kerinci, tidak terdapat sumber lain yang dekat dengan feeder tersebut. Panjangnya feeder Sorek ini menyebabkan terjadinya drop tegangan dan rugi-rugi daya yang sangat besar, dengan tegangan terendah pada ujung saluran mencapai 11,5 kV, kondisi tegangan yang disalurkan telah melampaui batas standar drop tegangan yaitu 10% (18 kV). Dengan dilakukannya pemasangan Express Feeder sepanjang 46 kms dari GH kerinci sampai ke GH Sorek, maka tegangan yang diterima seluruh Transformator mengalami peningkatan diantaranya Transformator BM 006 yang berada pada ujung saluran menjadi 17,155 kV. Rugi-rugi daya pada sistem PLN dapat ditekan hingga 1.407 kW sehingga memberikan dampak langsung pada peningkatan kualitas layanan penyaluran tenaga listrik pada feeder Sorek.

Kata Kunci: Saluran Distribusi, drop tegangan, pemasangan express feeder

Abstract

Distribution of electrical energy by PT PLN (Persero) Area Pekanbaru, Rayon Pangkalan Kerinci for Sorek and the surrounding area, is supplied by a distribution channel 20 kV substation feeder Sorek through Gardu Hubung Kerinci. The total length of 194 kms Sorek feeder network with major networks cross-sectional area of 240 mm² and branching generally use 150 mm². The number of customers who connect to Sorek feeder as many as 20 606 with load feeders 218.2 amperes through 152 units of distribution transformers. Feeder Sorek using Radial distribution system, there is only one source of the relay through Gardu Hubung Kerinci, there are no other sources close to the feeder. The length of this Sorek feeder cause a voltage drop and power losses are very large, with the lowest voltage at the end of the line reached 11.5 kV, the voltage supplied condition has exceeded the standard limit of 10% drop voltage (18 kV). By doing the installation of Express Feeder along 46 kms of GH kerinci to GH Sorek, the voltage across the transformer received increased transformer BM 006 including who are at the end of the channel into 17.155 kV. Power loss in the system can be reduced by up to PLN 1.407 kW thus have a direct impact on the improvement of the quality of service the distribution of electricity in the feeder Sorek

Keywords: Distribution Channels, voltage drop, express feeder installation

1. PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci berada di Kabupaten Pelalawan,

mendapatkan supply tenaga listrik dari 2 Sumber, yaitu Pembangkit PLTMG Langgam Power dan PT. RPE. PLTMG Langgam Power mempunyai daya terpasang sebesar 10 x 3,3 MW

sedangkan PT. RPE mempunyai daya terpasang sebesar 10 MW dengan total beban puncak sebesar 25.3 MW. Pada kondisi saat ini, PT. RPE mensupply melalui GH Lama Penyulang Satya Insani (panjang ± 5 kms) dan Penyulang Kerinci (panjang ± 5 kms). Sedangkan PLTMG Langgam Power mensupply melalui GH Kerinci (panjang ± 9 kms), Penyulang Cemara SP (panjang ± 40 kms), Penyulang Cemara Gading (panjang ± 13 kms), dan Sorek (panjang ± 194 kms).

Masing-masing penyulang mempunyai luas penampang yang bervariasi dan kondisi beban penyulang sebagai berikut : Penyulang Satya Insani (6 MW), Penyulang Kerinci Kota (2,5 MW), Penyulang Cemara SP (4,8 MW), Penyulang Cemara Gading (2 MW), dan Penyulang Sorek (9,5 MW).

Penyaluran energi listrik untuk daerah Sorek dan sekitarnya, disuplai oleh saluran distribusi 20 kV *feeder* sorek melalui gardu hubung kerinci. Panjang total jaringan *feeder* sorek 194 kms dengan luas penampang jaringan utama 240 mm² dan percabangan umumnya menggunakan 150 mm². Sementara jenis konduktor yang digunakan adalah AAAC [1], [2]. Transformator distribusi yang tersambung pada *feeder* tersebut sebanyak 152 unit. Kondisi saat ini yang menjadi kendala dan permasalahan dalam sistem kelistrikan PLN Pangkalan Kerinci yaitu *drop* tegangan atau susut jaringan yang sangat tinggi.

Sistem tenaga listrik meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi serta sistem distribusi [3]. Sistem distribusi mempunyai perananan penting dalam menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke masing-masing beban ataupun konsumen dengan mengganti tegangan listrik yang didistribusikan jadi tegangan yang dikehendaki. Hal ini disebabkan peran sistem distribusi ialah bagian yang sangat akhir dari totalitas sistem tenaga listrik yang memiliki guna mendistribusikan langsung tenaga listrik pada beban ataupun konsumen yang memerlukan [4]–[6].

Dalam pendistribusian tenaga listrik kekonsumen, tegangan listrik yang digunakan bermacam-macam bergantung dari tipe konsumen yang memerlukan. Buat konsumen industri dapat digunakan tegangan menengah 20 kV ataupun 6,3 kV sebaliknya buat konsumen tegangan rendah 0,4 kV yang menggambarkan

tegangan siap digunakan peralatan-peralatan perkantoran serta rumah tangga [4].

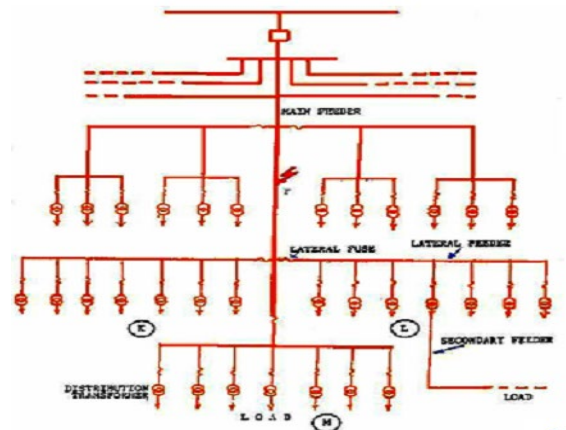
Sistem Distribusi

Terdapat beberapa bentuk jaringan yang umum digunakan dalam menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik yaitu [7], [8]:

1. Sistem Jaringan Distribusi Radial.
2. Sistem Jaringan Distribusi Rangkaian Tertutup (*loop*).
3. Sistem Jaringan Distribusi Spindel.

Jaringan Distribusi Radial

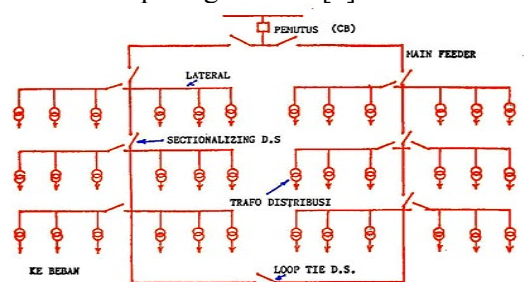
Wujud jaringan sistem ini ialah wujud dasar yang paling sederhana serta sangat banyak digunakan. Sistem dikatakan radial sebab jaringan ini ditarik secara radial dari Gardu Induk ke pusat-pusat beban maupun konsumen yang dilayani. Sistem ini terdiri dari saluran utama serta saluran cabang yang terlihat pada gambar 1 [9].



Gambar 1. Jaringan Sistem Distribusi Radial

Sistem Jaringan Loop

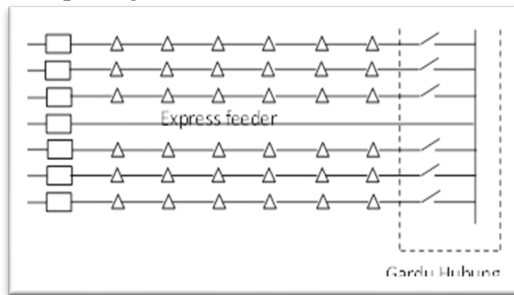
Jaringan sistem ini dikatakan rangkaian tertutup karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani membentuk suatu rangkaian tertutup seperti terlihat pada gambar 2 [9]



Gambar 2. Sistem Jaringan Loop.

Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Sistem jaringan ini merupakan kombinasi antara jaringan radial dengan jaringan rangkaian terbuka (*open loop*). Titik beban memiliki perpaduan alternatif penyulang sehingga bila salah satu *feeder* terganggu, maka dengan segera dapat digantikan oleh *feeder* lain. Untuk itu kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin. Bentuk sistem jaringan distribusi spindel dapat dilihat pada gambar 3 [10].

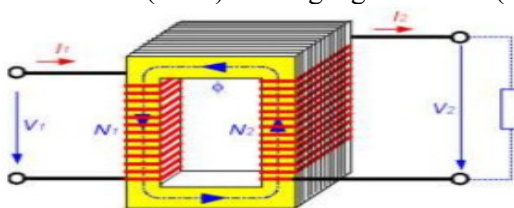


Gambar 3. Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Transformator Distribusi

Transformator atau Transformator adalah jenis mesin listrik statis yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Secara umum Transformator terdiri dari Transformator daya, Transformator tegangan dan Transformator arus. Transformator daya adalah Transformator yang bisa digunakan di gardu induk maupun gardu distribusi. Sedangkan Transformator tegangan dan Transformator arus adalah Transformator yang digunakan untuk pengukuran dan proteksi [4].

Jika kumparan primer dengan N_1 -lilitan diberi tegangan bolak-balik V_1 , maka pada kumparan tersebut mengalir arus I_1 dan menimbulkan fluksi medan listrik (ϕ) bolak-balik. Fluksi yang dihasilkan oleh kumparan primer ini mengalir pada inti Transformator, sebagaimana terlihat pada Gambar 4 [11], [12]. Saat fluksi mengalir melewati atau memotong kumparan primer, maka sesuai dengan Hukum Faraday pada kumparan primer timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) atau tegangan induksi (E_1).



Gambar 4. Konstruksi dasar Transformator

Fluksi yang dihasilkan oleh kumparan primer ini mengalir pada inti Transformator. Saat fluksi mengalir melewati atau memotong kumparan primer, maka sesuai dengan Hukum Faraday pada kumparan primer timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) atau tegangan induksi (E_1). Demikian juga saat fluksi memotong kumparan sekunder dengan N_2 -lilitan, maka pada kumparan tersebut juga timbul tegangan induksi (E_2).

$$E_1 = N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

Impedansi Saluran

Perhitungan jatuh tegangan, resistansi dan reaktansi kedua konduktor perlu diperhitungkan. Paduan antara resistansi dan reaktansi disebut dengan impedansi yang dinyatakan satuannya dalam ohm [13]

Impedansi dapat dihitung dengan rumus :

$$Z = R + jX$$

Maka :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \text{ Ohm} \quad (2)$$

Keterangan :

Z = Impedansi saluran (Ohm)

R = Tahanan saluran (Ohm)

X = Reaktansi (Ohm)

Tahanan

Tiap konduktor memberi perlawanan atau tahanan terhadap mengalirnya arus listrik dan hal ini dinamakan resistensi. Resistensi atau tahanan dari suatu konduktor (kawat penghantar) diberikan oleh :

$$R = \rho \frac{l}{A} \text{ Ohm} \quad (3)$$

Keterangan :

R = Resistansi (Ohm)

ρ = Resistivitas (tahanan jenis penghantar)

l = Panjang kawat (meter)

A = Luas penampang kawat (mm^2)

Reaktansi

Sebuah konduktor yang dilalui arus listrik dikelilingi oleh garis-garis magnetik yang berbentuk lingkaran-lingkaran konsentrik. Dalam hal ini arus bolak-balik medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah-

ubah dan mengait dengan konduktor itu sendiri maupun dengan konduktor-konduktor lain yang terletak berdekatan. Oleh karena adanya kaitan-kaitan fluks tersebut, saluran memiliki sifat induktansi. Reaktansi induktif dari saluran udara tiga [14].

Reaktansi penghantar untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari induktansi, maka reaktansinya disebut induktif (X_L) yang dapat dihitung dengan rumus :

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (4)$$

Keterangan :

X_L = Reaktansi jaringan (Ohm)

f = frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Henry)

Jelaslah bahwa reaktansi suatu instalasi listrik tergantung dari : [15]

1. Jarak antar konduktor, yaitu ; semakin besar jarak, semakin besar pula reaktansi.
2. Radius konduktor, yaitu ; berkurang atau bertambahnya radius.
3. Panjang saluran, yaitu : akan bertambahnya nilai reaktansi.

Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi

Dalam penyediaan tenaga listrik, disyaratkan suatu level standar tertentu untuk menentukan kualitas tegangan pelayanan. Secara umum ada 3 hal yang perlu dijaga kualitasnya, yaitu [16], [17]:

1. Frekwensi (50 Hz)
2. Tegangan (+ 5% dan – 10%) [18]
3. Kehandalan

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 [19], [20]

Besarnya rugi-rugi daya satu fasa dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta P = I^2 \times R \text{ [Watt]} \quad (5)$$

dimana :

ΔP = Rugi daya pada jaringan (Watt)

I = Arus beban pada jaringan (Ampere)

R = Tahanan murni (Ohm)

Besar rugi-rugi daya pada jaringan tergantung pada besarnya tahanan dan arus

beban pada jaringan tersebut. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya pada jaringan tiga fasa dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R \text{ [Watt]} \quad (6)$$

Jatuh Tegangan (Voltage Drop)

Terjadinya jatuh tegangan pada saluran disuatu lokasi adalah disebabkan oleh bagian yang berbeda tegangan didalam suatu sistem daya tersebut dan juga dipengaruhi oleh resistansi, reaktansi, dan impedansi pada saluran. Jatuh tegangan pada saluran adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik [21].

Besarnya rugi tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$V = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi \quad (7)$$

$$V = I \times Z \quad (8)$$

dimana :

V = Jatuh tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (Amper)

R = Tahanan saluran (Ohm)

X = Reaktansi (Ohm)

φ = Sudut dari faktor daya beban

$Z = R + jX$ (ohm)

Pada saluran arus bolak-balik besarnya jatuh tegangan tergantung dari impedansi saluran serta beban dan faktor daya. Untuk jarak yang dekat jatuh tegangan tidak begitu berarti. Perhitungan jatuh tegangan yang diperlukan tidak hanya untuk peralatan sistem saja namun juga untuk dapat menjamin tegangan terpasang yang dapat dipertahankan dalam batas-batas yang layak. Oleh karena itu perlu diketahui hubungan fasor antar tegangan dan arus serta reaktansi dan resistansi pada perhitungan yang akurat

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan atau langkah-langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data berdasarkan hasil pencatatan / pelaporan PT. PLN (Persero) Pangkalan Kerinci dan wawancara dengan supervisor teknik

2. Menghitung impedansi total antar Transformator pada saluran OGF Sorek berdasarkan jenis dan luas penampang kawat penghantar yang dipergunakan oleh PT. PLN (persero) Rayon Pangkalan Kerinci yang mana dapat dihitung dengan cara :

$$Z = \sqrt{R^2 + (jX)^2} \times \text{Panjang Saluran}$$

3. Perhitungan Drop Tegangan Dan Tegangan Terima Transformator Distribusi Kondisi Eksisting.

- a. Perhitungan Arus Beban Rata- Rata Dan Arus saluran. Arus beban rata-rata pada sisi 380 Volt adalah :

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

Arus rata-rata pada sisi 20 kV adalah :

$$I_{Saluran} = \frac{380 \text{ V}}{20.000 \text{ V}} \times I_{rata-rata}$$

- b. Perhitungan Drop Tegangan, Rugi Daya Dan Tegangan Terima Perhitungan jatuh tegangan satu fasa:

$$\Delta V = I \times Z_{total}$$

Sehingga jatuh tegangan 3 fasa adalah :

$$\Delta V = \sqrt{3} \times \Delta V$$

Maka tegangan terima pada Transformator yang ada di depannya adalah :

$$V_r = V_s \times \Delta V, V_s = \text{tegangan kirim}$$

Perhitungan Rugi-rugi Daya 1 Fasa :

$$\Delta P = I^2 \times R$$

Perhitungan Rugi-rugi Daya 3 fasa :

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times R$$

4. Menganalisa pemasangan Express feeder dengan cara meperhitungkan panjang saluran yang akan digunakan dari GH Kerinci ke GH Sorek dengan menggunakan program ETAP 12.6.0.

3.2. Perhitungan Drop Tegangan

Berdasarkan perhitungan drop tegangan dan rugi daya secara konvensional pada *Out Going Feeder*, maka arus yang mengalir antara gardu hubung kerinci sampai pada Bus 1 Sorek adalah 239 A, dengan nilai impedansi totalnya

1,13 Ohm, maka drop tegangan pada saluran tersebut adalah :

$$\begin{aligned} \Delta V &= \sqrt{3} \times I_{total \text{ beban } 20 \text{ kV}} \times Z \\ &= \sqrt{3} \times 239 \text{ Ampere} \times 1,13 \text{ Ohm} \\ &= 467,77 \text{ Volt atau } 0,467 \text{ kV} \end{aligned}$$

Tegangan pada dari gardu hubung kerinci adalah 20,8 kV sehingga tegangan terima di Bus 1 Sorek adalah:

$$\begin{aligned} V_r \text{ Bus 1 Sorek} &= V_s - \Delta V \\ &= 20.800 - 467,77 \text{ Volt} \\ &= 20.332,23 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Perhitungan Rugi-rugi Daya

Untuk menghitung rugi-rugi daya kita lakukan sebagai berikut, Rugi daya satu fasa dari gardu hubung ke Bus 1 Sorek adalah :

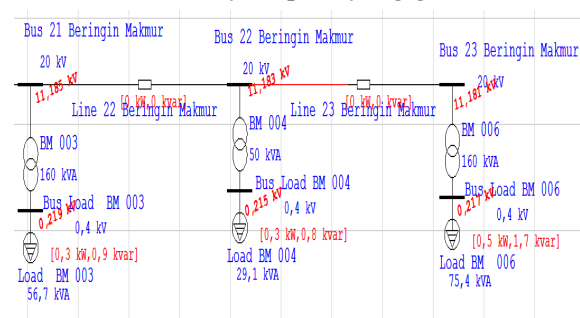
$$\begin{aligned} \Delta P &= I^2 \times R \\ &= 239^2 \times 0,444 \text{ Ohm} \\ &= 23561,724 \text{ Watt} \\ &= 25,361 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk rugi-rugi daya saluran tiga fasa adalah :

$$\begin{aligned} \Delta P &= 3 \times I^2 \times R \\ &= 3 \times 239^2 \times 0,444 \text{ Ohm} \\ &= 76,085 \text{ Watt} \\ &= 5,953 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pemasangan Express Feeder

Pada saat ini kinerja jaringan 20 kV pada OGF Sorek menurun dengan tegangan terima terendah pada ujung saluran Transformator BM 006 11,181 kV. Dengan menggunakan aplikasi ETAP 12.6, hasilnya seperti yang gambar 5 :



Gambar 5. Tegangan ujung saluran Transformator BM 006

Adapun perhitungan rugi-rugi daya aktif pada sistem kelistrikan sebesar 2,063 MW dan Rugi – rugi daya Reaktif pada Saluran Sebesar 3,703 MVar dapat ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini :

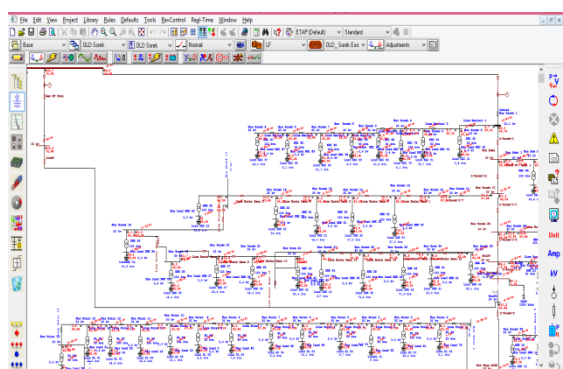
Tabel 1. Hasil perhitungan

| URAIAN | MW | MVar | MVA |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| Source (Swing Buses): | 14,325 | 10,984 | 18,051 |
| Total Motor Load: | 8,708 | 5,569 | 10,336 |
| Total Static Load: | 3,554 | 1,712 | 3,945 |
| Apparent Losses: | 2,063 | 3,703 | |

Untuk menurunkan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya dapat dilakukan dengan pemasangan express feeder dari GH Kerinci ke GH Sorek. Pemasangan express feeder akan membagi beban menuju GH Sorek dengan memperhatikan beberapa hal berikut ini :

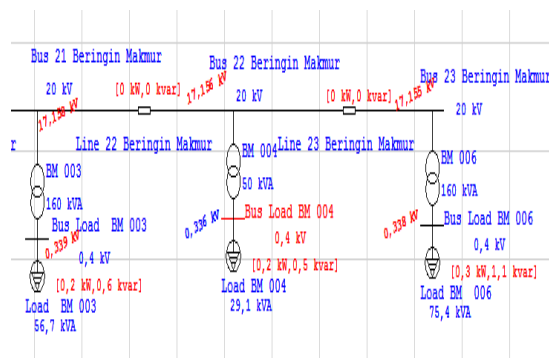
1. Jarak GH Kerinci ke GH Sorek 46 km
2. GH Sorek secara geografis berada pada titik yang strategis
3. Pada posisi tersebut diperkirakan beban akan terbagi rata
4. *Express Feeder* akan meminimalkan terjadinya jatuh tegangan

Berdasarkan arus yang mengalir pada saluran antara GH Kerinci ke GH Sorek dapat memberikan dampak penurunan rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Gambar 6 berikut ini merupakan hasil simulasi pemasangan *express feeder* pada saluran OGF Sorek menggunakan ETAP 12.6.0



Gambar 6. Simulasi Pemasangan Express Feeder

Gambar berikut ini merupakan kondisi tegangan ujung saluran pada Transformator BM 006 setelah dilakukan pemasangan express feeder sepanjang 46 kms.



Gambar 7. Tegangan Ujung Setelah Pemasangan Express Feeder

Adapun perbandingan tegangan terima serta rugi daya pada sistem kelistrikan PLN Pangkalan Kerinci dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Perbandingan Eksisting dan *Express Feeder*

| Keterangan | Kondisi Existing | Setelah Pemasangan Express Feeder |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------|
| Tegangan Terima | 11,181 kV | 17,155 kV |
| Rugi - rugi daya Aktif | 2.063 kW | 656 kW |
| Rugi - rugi daya Reaktif | 3.703 kVAr | 1.426 kVAr |

Jatuh tegangan dan rugi-rugi daya *feeder* Sorek per segmen setelah dilakukan pemasangan *Express Feeder* yang diperoleh dari simulai ETAP 12.6.0 dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Hasil persegmen pemasangan express feeder

| Feeder | Jatuh Tegangan | Rugi Daya Aktif | Rugi Daya Reaktif |
|-----------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Per Segmen | % | kW | kVAr |
| Kerinci | 0,17 | 0,094 | 0,221 |
| Adei | 3,12 | 31,377 | 73,702 |
| Brata Sena | 4,53 | 30,84 | 66,37 |
| Bunut | 3,27 | 10,654 | 18,875 |
| Sorek | 3,19 | 28,097 | 66,013 |
| Pulai | 5,63 | 65,768 | 153,87 |
| Ukui | 5,02 | 44,51 | 85,468 |
| Beringin Makmur | 2,75 | 11,481 | 24,308 |

3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan setelah melakukan pemasangan

express feeder maka dapat diberi beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada saat kondisi eksisting tegangan terima di ujung saluran BM 006 sebesar 11,181 kV dengan total Rugi - rugi daya aktif pada sistem sebesar 2.063 kW, dan Rugi – rugi daya Reaktif pada sistem sebesar 3.703 kVar.
2. Setelah dilakukan pemasangan *express feeder* tegangan terima di ujung saluran BM 006 sebesar 17,155 kV dengan total Rugi - rugi daya pada sistem sebesar 656 kW dan Rugi – rugi daya Reaktif pada sistem sebesar 1.426 kVar.
3. Pemasangan *Express Feeder* dapat memperbaiki jatuh tegangan dan menekan rugi daya hingga 1.407 kW pada saluran OGF Sorek yang berdampak langsung pada peningkatan kualitas kinerja PLN.

4. Daftar Pustaka

- [1] SPLN-41-8, *Hantaran Aluminium Campuran (AAAC)*. Indonesia, 1981, pp. 1–11.
- [2] SNI-0225, *Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL)*. Indonesia, 2011.
- [3] H. Asman, H. Eteruddin, and 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.
- [4] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: ITB, 1991.
- [5] H. Eteruddin, D. Setiawan, and P. P. P. Hutagalung, “Evaluasi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Pada Feeder 7 Peranap PT. PLN Persero Rayon Taluk Kuantan,” in *Seminar Nasional Pakar*, 2020, pp. 1.4.1-1.4.6.
- [6] A. Indra, A. Tanjung, and U. Situmeang, “Analisis Profil Tegangan Dan Rugi Daya Jaringan Distribusi 20 kV PT PLN (Persero) Rayon Siak Sri Indrapura Dengan Beroperasinya PLTMG Rawa Minyak,” *SainETIn*, vol. 4, no. 1, pp. 25–31, 2019.
- [7] T. A. Short, *Electric Power Distribution Handbook*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [8] T. Gonen, *Electric Power Distribution Engineering*, 3rd ed. New York: CRC Press, 2015.
- [9] Suhadi and T. Wrahatnolo, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik, Jilid 1 untuk SMK*, vol. 53, no. 9. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [10] D. Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang, 2009.
- [11] J. M. Tambunan and Widhyastuti, “Pengujian Rutin Trafo Arus 24 kV Di Laboratorium Hubung Singkat PT. PLN (Persero) Puslitbang Ketenagalistrikan,” *J. Ilm. SUTET*, vol. 8, no. 1, pp. 34–43, 2018.
- [12] F. T. Sanserlis, *Fisika Paket C Setara SMA/MA Kelas XII Modul Tema 15 : Teori Relativitas Khusus Einstein*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2020.
- [13] W. D. Stevenson Jr, “Analisis Sistem Tenaga Listrik.” p. 405, 1994.
- [14] H. Saadat, *Power System Analysis*. McGraw-Hill, 2002.
- [15] T. S. Hutaeruk, *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- [16] T. A. Short, *Distribution Reliability and Power Quality*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2004.
- [17] A. Baggingi, *Handbook of Power Quality*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.
- [18] SPLN-1, *Tegangan Tegangan Standar*. Indonesia, 1995, p. 5.
- [19] D. Kothari, *Modern Power System Analysis*, 3rd ed. New Delhi: Tata McGraw Hill, 2005.
- [20] A. Tanjung, “Analisa Sistem Distribusi 20 kV Untuk Memperbaiki Kinerja Sistem Distribusi Menggunakan Electrical Transient Analysis Program,” Pekanbaru, 2012.
- [21] A. Arismunandar, *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Pradnya Paramita, 1982.