

ANALISIS ALIRAN DAYA SISTEM KELISTRIKAN LOMBOK UNTUK MENGETAHUI PENGARUH SISIPAN GARDU INDUK MATARAM

Cok Indah Purnama Putri¹, I Made Ari Nrartha², Ida Bagus Fery Citarsa³
¹²³ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

*Corresponding Author Email: cokordaindah7@gmail.com

ABSTRAK

Sistem distribusi sekunder penyulang Narmada dan Cemara yang dilayani oleh Gardu Induk Ampenan memiliki beban yang tinggi. Pertumbuhan beban pada dua penyulang tersebut terus meningkat sehingga dibangun gardu induk baru sebagai gardu sisipan yaitu Gardu Induk Mataram (GIM) untuk mengambil alih beban-beban pada penyulang tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui profil tegangan dan rugi daya dari analisis aliran daya Sistem Kelistrikan Lombok akibat sisipan GIM. Metode yang digunakan untuk analisis aliran daya adalah metoda Newton-Raphson pada program DigSILENT 15.1. Dua skenario simulasi yaitu, skenario pertama adalah kondisi sebelum sisipan GIM pada tahun 2021 dan skenario kedua adalah kondisi setelah sisipan GIM pada tahun 2023. Masing-masing skenario mensimulasikan dua kondisi pembebanan yakni pembebanan luar waktu beban puncak (LWBP) pada pukul 07:30 (WITA) dan waktu beban puncak (WBP) pada pukul 19:00 (WITA). Hasil penelitian menunjukkan rata-rata tegangan dengan rugi-rugi daya transmisi pada kondisi LWBP tahun 2021, dan 2023 adalah 154,35 kV dengan 313,1 kW dan 154,94 kV dengan 375,5 kW. Pada kondisi WBP rata-rata tegangan dengan rugi-rugi daya transmisi adalah 151,94 kV dengan 770,6 kW, dan 153,61 kV dengan 822 kW. Jatuh tegangan dengan rugi-rugi daya pada penyulang Narmada dan Cemara kondisi LWBP tahun 2021, dan 2023 adalah 1,046 kV dengan 190 kW dan 1,17 kV dengan 143 kW, dan 0,82 kV dengan 157 kW dan 0,405 kV dengan 22 kW. Pada kondisi WBP jatuh tegangan dengan rugi-rugi daya pada penyulang Narmada dan Cemara adalah 1,404 kV dengan 235 kW dan 1,455 kV dengan 177 kW, dan 0,952 kV dengan 166 kW dan 0,497 kV dengan 27 kW. Sisipan GIM menyebabkan perubahan arah aliran daya transmisi dari PLTMGU Lombok Peaker dan PLTU LED. Gardu Induk Mataram mampu meningkatkan kapasitas penyaluran yang lebih efisien.

Keyword: aliran daya, Newton-Raphson, profil tegangan, rugi daya, DigSILENT, GI Mataram

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat pada penyulang Narmada dan penyulang Cemara. Kondisi pada tahun 2021, kedua penyulang tersebut disupply oleh Gardu Induk Ampenan dan pada saat itu, penyulang Narmada dan penyulang Cemara masing-masing dengan panjang saluran 121,228 km dan 78,173 km. Besar beban penyulang Narmada dan Cemara sebesar 5,809 MW dan 6,553 MW pada Waktu Beban Puncak (WBP). Beban yang terus bertambah setiap tahunnya menyebabkan tegangan di ujung penyulang Narmada dan penyulang Cemara ini mengalami jatuh tegangan. Tegangan ujung penyulang Narmada dan Cemara adalah 19,096 kV dan 19,045 kV sehingga mendekati batas toleransi jatuh tegangan sesuai (SPLN 72:1978) sebesar -10% (Ambabunga et al., 2023), (Nurzaman et al., 2021).

Sebagai persiapan jangka panjang terhadap pertumbuhan beban, upaya yang dapat dilakukan yaitu penyisipan gardu induk baru (Sunanda, n.d., 2018). Pengaruh penyisipan gardu induk baru dapat memenuhi kebutuhan energi listrik pada beban sekitar lokasi gardu induk, mengurangi jatuh tegangan dan rugi daya (Dali et al., n.d., 2022), (Parinduri et al., 2017), (Arizal, 2022) (Zainuddin & Wiraputra, 2017). Upaya

yang dapat dilakukan setelah melakukan penyisipan gardu induk yaitu bagi beban penyulang. Bagi beban penyulang dapat mengurangi arus beban, jatuh tegangan dan rugi daya pada penyulang karena supply daya aktif dekat dengan beban sehingga dapat meningkatkan kehandalan pada sistem kelistrikan (Hakim et al., 2023), (Priyadi et al., n.d., 2021), (Mangapul Tambunan et al., n.d., 2017), (Muhammad et al., 2023), (Qalbi M et al., nd 2020), (Purnama et al., n.d., 2019), (Pramanasari et al., n.d., 2021), (Amu et al., n.d., 2019).

Berdasarkan perihal tersebut, maka dilakukan metode pengalihan beban dengan menyisipkan gardu induk baru yakni Gardu Induk Mataram yang memiliki dua unit transformator dengan kapasitas masing-masing 60 MVA. Penyisipan Gardu Induk Mataram dan penambahan penyulang baru, beban yang sebelumnya berada di penyulang Narmada dan penyulang Cemara dibagi pada penyulang Lingsar, penyulang Suranadi dan penyulang Gerimax. Penelitian ini menyajikan pengaruh sisipan Gardu Induk Mataram untuk perbaikan tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dan transmisi Sistem Kelistrikan Lombok dengan analisa aliran daya metode Newton-Raphson. Metode Newton Raphson digunakan pada penelitian ini karena jika digunakan pada sistem tenaga yang besar, lebih efisien dan praktis. Menurut (Cekdin, 2021) berdasarkan ukuran sistem maka dapat menentukan jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk mendapatkan pemecahan. Persamaan aliran daya pada metode ini dirumuskan dalam bentuk polar ((Marwan, 2019).

2. METODE

Metode studi aliran daya yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode Newton-Raphson melalui simulasi dengan program DigSILENT 15.1. Simulasi dilakukan pada dua kondisi skenario yaitu: 1) kondisi 2021, 2) kondisi 2023. Kedua skenario disimulasikan pada dua pembebanan berbeda yakni pada saat pembebanan luar waktu beban puncak (LWBP) pukul 07:30 dan waktu beban puncak (WBP) pukul 19:00. Data kuantitatif yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data sekunder tahun 2021 dan 2023 dari PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Mataram dan PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Penyaluran dan Pengatur Beban (UP3B) Mataram dengan teknik pengumpulan data yaitu dengan cara wawancara dan dokumentasi. Data sekunder yang digunakan yaitu:

1. Single line diagram transmisi 150 kV dan distribusi 20 kV yaitu penyulang Narmada, Cemara, Lingsar, Suranadi dan Gerimax
2. Spesifikasi, kapasitas dan daya generator
3. Spesifikasi dan tapping transformator daya dan transformator distribusi
4. Spesifikasi penghantar jaringan distribusi 20 kV dan transmisi 150 kV
5. Beban aktif (MW) dan beban reaktif (MVA) semua penyulang serta gardu distribusi pada penyulang Narmada dan penyulang Cemara

Teknik analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Studi literatur
2. Pengumpulan data
3. Membuat Single Line Diagram
4. Memasukkan parameter
5. Simulasi sistem
6. Validasi hasil data lapangan dan simulasi

Prosedur penyelesaian studi aliran daya dengan metode Newton-Raphson

1. Pada bus berbeda dimana PiSch dan QiSch nilainya ditentukan. Besarnya tegangan dan sudut fasa disamakan dengan nilai slack bus $|V_i(0)| = 1$ dan $\delta_1(0) = 0$. Voltage regulated buses $|V_i|$ dan PiSch diatur, sedangkan sudut fasa disamakan dengan sudut slack bus jadi $\delta_1(0) = 0$.
2. Hitung $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$ pada bus beban dan juga $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$
3. Hitung $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$ pada voltage controlled buses
4. Hitung elemen-elemen matrik Jacobian; J_1, J_2, J_3 dan J_4
5. Hitung harga-harga $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan $\Delta |V_i^{(k)}|$
6. Hitung harga-harga baru dari sudut fasa dan tegangan $\Delta \delta_i^{(k+1)}$ dan $\Delta |V_i^{(k+1)}|$
7. Proses ini berlangsung hingga : $|V_i^{(k+1)} - V_i^{(k)}| \leq \varepsilon$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi aliran daya menggunakan DigSILENT 15.1 menghasilkan arah aliran daya, profil tegangan dan rugi daya pada jaringan transmisi serta distribusi yaitu pada penyulang Narmada, Cemara, Lingsar, Gerimax dan Suranadi.

1. Arah Aliran Daya Jaringan Transmisi

Tabel 1. Keterangan Bus Bar

Bus Bar	Keterangan Bus Bar
1	Lombok Peaker
2	GI Ampenan
3	GI Jeranjang
4	GI Mantang
5	GI Sengkol
6	GI Kuta
7	GI Paokmotong
8	GI Pringgabaya
9	GI Sambelia
10	GI Bayan
11	GI Tanjung
12	PLTU LED
13	GI Switching
14	GI Mataram

Arah aliran daya listrik berdasarkan hasil simulasi aliran daya, didapatkan arah aliran daya sebelum sisipan Gardu Induk Mataram, PLTMGU Lombok Peaker menyalurkan daya menuju bus 2. Arah aliran daya PLTU Jeranjang menuju bus 3, 4 dan 5 dan PLTU LED Lotim menuju bus 9, 8, 7, 5, 10 dan 11. Bus 11 merupakan

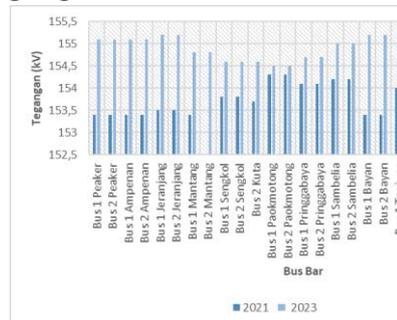
bus yang paling ujung. Bus 7 menerima daya dari dua sumber yaitu dari bus 8 dan 5, serta bus 5 mendapat sumber aliran daya dari bus 3 dan 4.

Seiring pertumbuhan beban dan pengoperasian pembangkit yang meningkat pada tahun 2023 dengan penambahan 4 saluran transmisi baru yaitu GI Mantang – GI Mataram, GI Mataram – GI Switching, GI Tanjung – GI Switching dan GI Switching – Bus Lombok Peaker pada sistem didapatkan jaringan sistem yang telah berubah berbentuk loop. Terjadi perubahan arah aliran daya listrik setelah beroperasinya interkoneksi GI Switching dan GI Mataram. PLTMGU Lombok Peaker menyalurkan daya menuju bus 2, 13, 14, 4, 11 dan 10. PLTU LED Lotim mengalirkan aliran daya listrik menuju bus 10, 8 dan 7 dan PLTU Jeranjang mengalirkan aliran daya listrik menuju bus 3, 4, 5, 6 dan 7. Bus 7 menerima dua sumber aliran daya dari bus 8 dan 5, bus 4 dari bus 3 dan 14, serta bus 5 dari bus 3 dan 4.

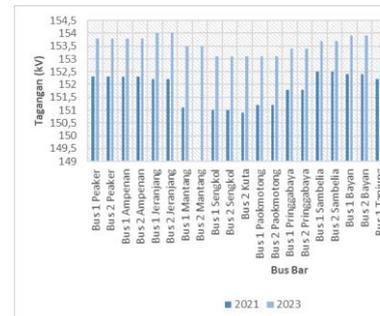
2. Profil Tegangan

Profil tegangan sistem kelistrikan Lombok pada jaringan transmisi 150 kV dan distribusi 20 kV tahun 2021 sebelum sisipan GIM dan 2023 setelah sisipan GIM pada kondisi pembebanan yakni pembebanan luar waktu beban puncak (LWBP) pada pukul 07:30 (WITA) dan waktu beban puncak (WBP) pada pukul 19:00 (WITA) di tampilkan pada Gambar 1-2.

a) Profil Tegangan Transmisi 150 kV



(a)



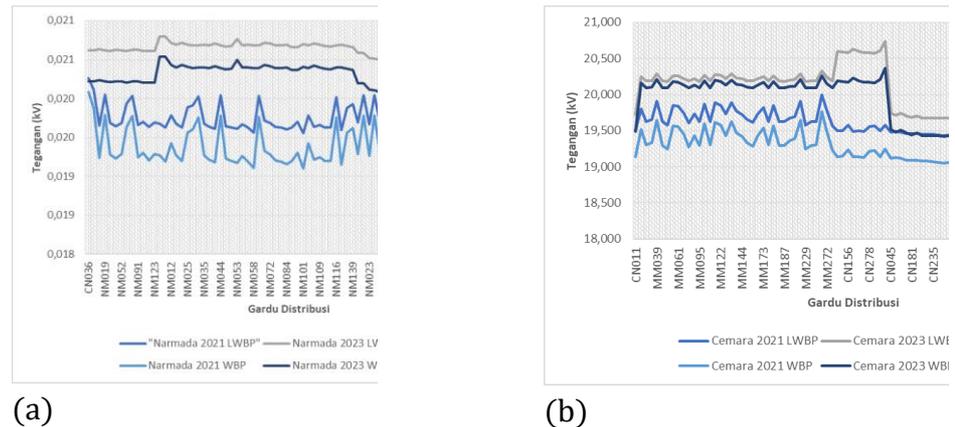
(b)

Gambar 1 Perbandingan profil tegangan transmisi 150 kV

(a) Pukul 07:30; dan (b) Pukul 19:00

Nilai profil rata-rata tegangan pada tahun 2021 diseluruh bus bar pada kondisi pembebanan LWBP dan WBP senilai 154,35 kV dan 151,94 kV. Nilai profil rata-rata tegangan pada tahun 2023 pada seluruh bus bar pada kondisi pembebanan LWBP dan WBP senilai 154,94 kV dan 153,61 kV.

b) Profil Tegangan Distribusi 20 kV

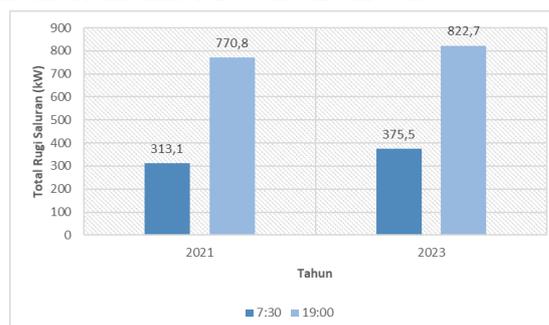


(a) (b)
Gambar 2 Perbandingan profil tegangan sebelum dan sesudah pengalihan beban kondisi LWBP dan WBP
(a) Penyulang Narmada; dan (b) Penyulang Cemara

Hasil simulasi DigSILENT 15.1 diperoleh tegangan ujung pada penyulang Narmada dan Cemara sebelum sisipan Gardu Induk Mataram pada pukul 07:30 sebesar 19,554 kV dan 19,431 kV dengan tegangan kirim sebesar 20,6 kV. Tegangan ujung pada penyulang Narmada dan Cemara pada pukul 19:00 yaitu 19,096 kV dan 19,045 kV dengan tegangan kirim sebesar 20,5 kV. Panjang penyulang Narmada dan Cemara yaitu 121,228 km dan 78,173 km jika mengalami penambahan beban yang cukup tinggi setiap tahunnya dapat membuat jatuh tegangan pada ujung penyulang, hal ini dapat merugikan pelanggan karena kualitas tegangan listrik yang diterima pelanggan menjadi buruk. Upaya persiapan penambahan beban pada penyulang Narmada dan Cemara maka dilakukan pengalihan beban dengan membangun penyulang baru. Pembebanan di Penyulang Narmada yang disupply oleh Gardu Induk Ampenan akan dialihkan ke penyulang baru yaitu penyulang Lingsar, penyulang Suranadi dan penyulang Gerimax yang disupply dari Gardu Induk Mataram, hal ini dikarenakan Gardu Induk Mataram berada pada dekat pusat beban tersebut sehingga dapat meningkatkan kualitas tegangan listrik yang di terima pelanggan dan juga dapat memperkecil rugi daya pada penyulang tersebut. Sebagian beban pada penyulang Cemara dialihkan menuju penyulang Narmada. Upaya ini dilakukan untuk memperpendek panjang saluran kedua penyulang karena Gardu Induk Ampenan masih berada dekat dengan pusat beban tersebut. Penyulang Narmada pada kondisi sekarang melayani beban yang dulunya penyulang Cemara yang disupply dari Gardu Induk Ampenan dan penyulang Mataram yang disupply dari PLTD Ampenan.

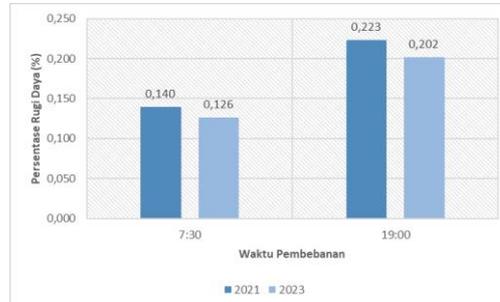
3. Rugi Daya

a) Rugi-rugi Daya Saluran Transmisi 150 kV Lombok



Gambar 3 Perbandingan rugi daya aktif pada Saluran Sistem Transmisi 150 kV

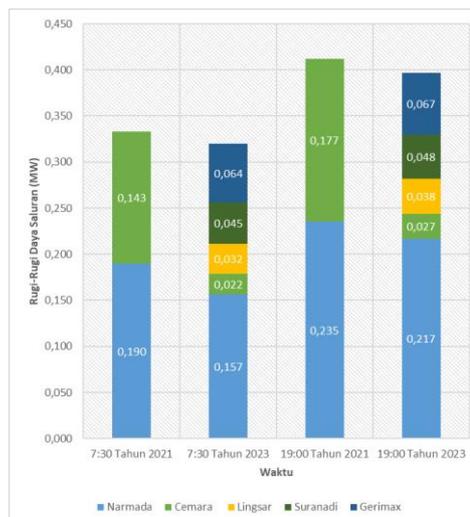
Perbandingan rugi-rugi saluran transmisi pada kondisi pembebanan LWBP pada tahun 2021 dan 2023 adalah 313,1 kW dan 375,5 kW. Rugi-rugi saluran transmisi pada kondisi pembebanan WBP adalah 770,76 kW dan 822 kW.



Gambar 4 Perbandingan persentase rugi daya pada Saluran Sistem Transmisi 150 kV

Persentase rugi daya saluran transmisi pada kondisi pembebanan LWBP pada tahun 2021 dan 2023 yaitu 0,14% dan 0,126%. Persentase rugi daya pada kondisi pembebanan WBP yaitu 0,223% dan 0,202%.

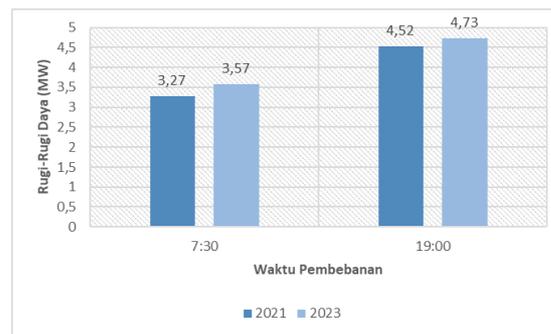
b) Rugi-rugi Daya Distribusi 20 kV



Gambar 5 Perbandingan rugi daya aktif penyulang

Gambar 5 dapat dianalisa bahwa setelah sisipan Gardu Induk Mataram nilai rugi-rugi daya aktif pada penyulang Narmada dan Cemara mengalami penurunan rugi daya. Menurunnya susut daya ini dipengaruhi oleh tambahan 3 penyulang baru yang terhubung ke Gardu Induk Mataram. yang menanggung beban yang sebelumnya berasal dari penyulang Narmada dan Cemara.

c) Rugi Daya Total Sistem Kelistrikan Lombok



Gambar 6 Perbandingan rugi daya aktif

Rugi daya aktif pada pembebanan pukul 19:00 nilainya lebih besar karena penggunaan beban pada malam hari lebih besar dibandingkan saat pagi hari. Seiring dengan peningkatan pertumbuhan beban dan pengoperasian pembangkit pada Sistem Kelistrikan Lombok menyebabkan rugi-rugi daya aktif dan reaktif semakin meningkat.



Gambar 7 Perbandingan persentase rugi daya

Persentase rugi daya Sistem Kelistrikan Lombok pada kondisi pembebanan LWBP tahun 2021 dan 2023 adalah 2,041% dan 1,935%. Persentase rugi daya pada kondisi pembebanan WBP adalah 2,003% dan 1,848%. Penyisipan Gardu Induk Mataram sangat berpengaruh untuk mengurangi persentase rugi daya yang walaupun seiring dengan peningkatan pertumbuhan beban pada Sistem Kelistrikan Lombok dan merupakan langkah yang tepat sehingga dapat melayani beban secara terus-menerus.

4. KESIMPULAN

Rata-rata tegangan dengan rugi-rugi daya transmisi pada kondisi LWBP tahun 2021, dan 2023 adalah 154,35 kV dengan 313,1 kW dan 154,94 kV dengan 375,5 kW. Pada kondisi WBP rata-rata tegangan dengan rugi-rugi daya transmisi adalah 151,94 kV dengan 770,6 kW, dan 153,61 kV dengan 822 kW. Jatuh tegangan dengan rugi-rugi daya pada penyulang Narmada dan Cemara kondisi LWBP tahun 2021, dan 2023 adalah 1,046 kV dengan 190 kW dan 1,17 kV dengan 143 kW, dan 0,82 kV dengan 157 kW dan 0,405 kV dengan 22 kW. Pada kondisi WBP jatuh tegangan dengan rugi-rugi daya pada penyulang Narmada dan Cemara adalah 1,404 kV dengan 235 kW dan 1,455 kV dengan 177 kW, dan 0,952 kV dengan 166 kW dan 0,497 kV dengan 27 kW. Sehingga dapat dibuktikan bahwa sisipan Gardu Induk Mataram mampu meningkatkan kapasitas penyaluran, menurunkan rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi dan transmisi sistem kelistrikan Lombok.

5. DAFTAR REFERENSI

1. Ambabunga, Y. R. (2023). ANALISIS JATUH TEGANGAN DAN RUGI DAYA PADA FEEDER (T2) PT PLN (PERSERO) ULP RANTEPAO MENGGUNAKAN ETAP 19.0.1. 1 (8) 100-104.
2. Amu, I., Mohamad, Y., Tolago, A.I. (2019). Kajian Kelayakan Operasi Pecah Beban Penyulang Beta (SJ-2) Untuk Keandalan Sistem Kelistrikan. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 1(1).
3. Aprilliadi, Asmar, Sunanda, W. (2018). Analisis Masuknya Gardu Induk Pangkalpinang. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian pada Masyarakat*, 1(2), 55-59.
4. Arizal, R. (2022). ANALISIS PROFIL TEGANGAN PADA PENYULANG KARPAN 1 AKIBAT PENAMBAHAN GARDU INDUK SIRIMAU. 3(1), 194-205.
5. Cekdin, C. (2021). *Distribusi Daya Listrik Teori dan Praktik*. Yogyakarta: Andi.
6. Dali, S.W., Ridzki, I., Duanaputri, R., Maulana, E.R. (2022). Analisis Pengaruh Penambahan Gardu Induk Terhadap Aliran Daya dan Profil Tegangan. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 9(2), 58-63.
7. Hakim, M. F., Saputra, M., Ananto, R.A., Harijanto, P.S., Santoso, A.H. (2023). Voltage Improvement on the Feeder Using the Load Breaking Method. *International Journal of Electrical Engineering and Applied Sciences (IJEEAS)*, 6(1).
8. Mangapul Tambunan, J., Pasra, N., Sumander, R. STUDI PEMISAHAN BEBAN PENYULANG BARU SKTM GIS PANTAI INDAH KAPUK 1 (9), 16-25.
9. Marwan. (2019). *Simulasi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan DigSILENT*. Yogyakarta: Andi.
10. Muhammad N. Y., D. I. (2023). PERBAIKAN TEGANGAN PENYULANG KARUMBU DENGAN METODE PECAH BEBAN PADA PT. PLN (PERSERO) ULP WOHA. 2 (2) 155-164.
11. Nurzaman, Y. W. (2021). Analisis Perbandingan Susut Daya dan Jatuh Tegangan pada Saluran Distribusi Udara dan Kabel Tegangan Menengah 20 kV. 1.
12. Priyadi, I. H. (2021). Analisis Pengaruh Penambahan Penyulang Dan Pemisahan Beban Terhadap Susut Daya Menggunakan Metode Simple Branch Exchange (Studi Kasus PT PLN ULP Lima Puluh, Sumatera Utara) . 2 (11)13-21 .
13. Qalbi, K. H. (2020). ANALISIS PECAH BEBAN SEGMENT PADA PENYULANG RAPPOCINI GI PANAKKUKANG. 2 (6) 80-88.
14. Yusmartato, P. L. (2017). Pembangunan Gardu Induk 150 KV di Desa Parbaba Dolok Kecamatan Pangururan Kabupaten Samosir. 3 (2) 13-17.
15. Zainuddin, M., & Wiraputra, L. (2017). Analisa Masuknya Gardu Induk Anggrek dan Rekonfigurasi Jaringan Terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya (Studi Kasus PLN Rayon Kwandang Area Gorontalo). *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 12(3), 83.