

Analisis Perbaikan Profile Tegangan pada Jaringan Distribusi 20 KV Sistem Radial

Nazaruddin^{1*}, Mahalla², Maimun³, Aidi Finawan⁴, Anita Fauziah⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

*Koresponden email: nazaruddin@pnl.ac.id

Diterima: 13 Februari 2024

Disetujui: 4 Mei 2024

Abstract

The purpose of this article is to evaluate the voltage value on each 20 KV distribution network when loading the distribution substation under peak load conditions. The distribution system is a component in the electric power system which functions as the distribution of electrical energy from the electricity source (Bulk Power Source) to the load (consumer), so the distribution system is the electric power sub-system closest to the load side (consumer), needs power to consumers is served through a distribution network. Distribution of electric power through radial type distribution is carried out for loads that are spread far from the power source. The location of the load at a distance will result in a voltage drop appearing on the line, so that the voltage at the receiving end will decrease. The voltage of each bus can be determined by computing the power flow. The results of the power flow calculation are useful for evaluating the performance of the electric power system and knowing the generation system and its loading. The power flow simulation was carried out using the ETAP programming language version 12.6 with the research object of the IEEE radial type distribution network 9 bus system. The research results show that the power from the reference bus (swing bus) for load requirements is 12,955 MW and 5,234 MVAR with total losses occurring on the line are 1045.1 KW and 1362.5 KVAR. The voltage on the bus at the end of the line, namely bus 9, is 15.78 KV, after adding a new feeder, the voltage on the bus increases to 19.64 KV.

Keywords: *distribution, power, voltage, load, line.*

Abstrak

Tujuan tulisan adalah mengevaluasi nilai tegangan pada setiap jaringan distribusi 20 KV pada saat pembebanan pada gardu distribusi dalam kondisi beban puncak. Sistem distribusi merupakan komponen dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai penyaluran energi listrik dari sumber daya Listrik (*Bulk Power Source*) sampai ke beban (konsumen), jadi sistem distribusi merupakan sub sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan sisi beban (konsumen), jadi kebutuhan daya untuk konsumen dilayani melalui jaringan distribusi. Penyaluran tenaga listrik melalui distribusi type radial dilakukan untuk beban tersebar jauh dari sumber daya, lokasi beban yang jauh akan mengakibatkan munculnya drop tegangan pada saluran, sehingga tegangan ujung terima akan mengalami penurunan. Tegangan setiap bus dapat diketahui dengan komputasi aliran daya, hasil perhitungan aliran daya berguna untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik dan mengetahui sistem pembangkitan serta pembebanannya. Simulasi aliran daya dilakukan dengan bahasa pemrograman ETAP versi 12.6 dengan objek penelitian jaringan distribusi type radial IEEE sistem 9 bus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya yang dari bus referensi (swing bus) untuk kebutuhan beban yaitu sebesar 12,955 MW dan 5,234 MVAR dengan total losses yang terjadi pada saluran adalah 1045,1 KW dan 1362,5 KVAR. Besarnya tegangan pada bus ujung saluran yaitu bus 9 sebesar 15,78 KV, setelah penambahan penyulang baru, tegangan pada bus meningkat menjadi 19,64 KV.

Kata Kunci: *distribusi, daya, tegangan, beban, saluran.*

1. Pendahuluan

Penyaluran energi listrik ke konsumen melalui jaringan distribusi primer (tegangan menengah 20 KV), yang selanjutnya menuju ke jaringan distribusi sekunder (tegangan rendah 380/220 V) untuk disalurkan ke pelanggan [1]. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen, jadi fungsi *distribusi tenaga listrik* adalah untuk pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke pelanggan dan merupakan sub system tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi [2].

Untuk menyalurkan tenaga listrik dengan beban tersebar jauh yang disalurkan dari satu sisi menggunakan jaringan distribusi sistem radial. Sistem radial adalah bentuk jaringan yang paling sederhana yang menghubungkan beban-beban ke titik sumber, biayanya relatif murah akan tetapi memiliki keandalan yang relatif rendah dan mengalami susut tegangan lebih besar untuk beban yang terletak paling jauh [3]. Disamping itu akibat penambahan beban, akan menimbulkan penambahan suplai daya yang akan meningkatkan susut tegangan dan rugi - rugi daya pada saat didistribusikan.

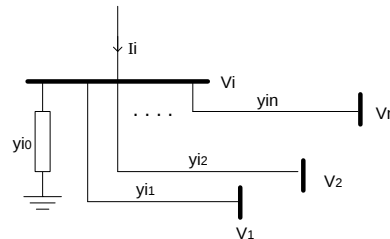
Susut tegangan dan rugi - rugi daya merupakan mutu dalam sistem tenaga listrik. Kedua persoalan tersebut dapat diminimalkan dengan melakukan perubahan konfigurasi jaringan pada system distribusi yaitu konfigurasi radial menjadi konfigurasi loop [4].

Fokus penelitian ini adalah memperbaiki profil tegangan pada masing-masing dengan melakukan perubahan struktur jaringan distribusi sistem radial yaitu dengan menambahkan suplai daya ke ujung jaringan yang terjauh, sehingga dapat disuplai dari dua arah. Penelitian dikerjakan dengan melakukan komputasi aliran daya menggunakan software *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) Power Station versi 12.6. Pengujian dilakukan pada objek system distribusi primer 20 KV yang terdiri dari 9 bus (standard IEEE).

2. Metode Penelitian

Aliran Daya

Suatu model sistem tenaga merupakan sistem konfigurasi dalam bentuk π dengan asumsi bahwa nilai impedansi diubah menjadi nilai admitansi dasar perhitungan pada base 100 MVA, model sistem tenaga ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Model sistem tenaga listrik

Berdasarkan KCL, maka arus yang pada bus i adalah:

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j, j \neq i \quad (1)$$

Daya kompleks pada bus adalah:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (3)$$

Dengan memasukkan I_i ke persamaan (1) menjadi

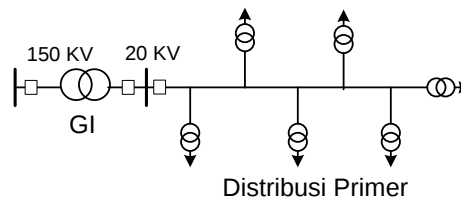
$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j, j \neq i \quad (4)$$

Formulasi perhitungan dari persamaan (4) merupakan suatu komputasi numerik yang dihitung secara iterasi sampai mencapai kondisi konvergen.

Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer (tegangan menengah) merupakan komponen sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari Gardu Induk ke sistem distribusi sekunder (tegangan rendah) [5].

Konfigurasi sistem distribusi type radial merupakan suatu konfigurasi jaringan bentuknya sangat sederhana dengan biaya investasi yang relatif murah dibandingkan dengan konfigurasi jaringan type loop (ring). Suplay daya pada saluran hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah [6] dan [7]. **Gambar 2** menunjukkan jaringan distribusi primer dengan konfigurasi type radial. Model jaringan ini sering digunakan untuk melayani beban tersebar sepanjang saluran sampai ke ujung terakhir, dengan tingkat kepadatan beban yang relative sedikit. Keuntungan konfigurasi type radial mempunyai bentuk saluran yang sederhana biaya investasi yang relative rendah. Sistem ini juga mempunyai kerugiannya apabila muncul gangguan pada suatu daerah tertentu, maka semua beban setelah titik gangguan tersebut akan mengalami putus aliran listrik (terjadi pemadaman) sampai gangguan tersebut dilakukan pemulihan.



Gambar 2. Model jaringan konfigurasi type radial

Susut tegangan dan kehilangan daya (rugi-rugi)

Susut tegangan atau tegangan jatuh muncul pada konduktor akibat dialiri arus listrik menuju ke beban. Susut tegangan merupakan turunnya nilai tegangan pada ujung (bus) sisi terima, dapat juga dinyatakan sebagai hasil pengurangan antara tegangan pada sisi pengirim (*sending end*) dengan tegangan sisi penerima (*receiving end*) [8][9]. Dalam bentuk persamaan dapat ditulis:

$$\Delta V = |V_k| - |V_t| \quad (5)$$

Parameter yang menentukan besar kecilnya susut tegangan terjadi pada saluran karena dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada saluran tersebut, dan pengaruh parameter saluran juga menentukan munculnya susut tegangan yaitu R_{saluran} dan X_{saluran} . Faktor lain adalah sudut fasa antara arus dan tegangan serta arus yang mengalir ke beban, susut tegangan pada sistem bolak-balik juga tergantung pada impedansi, beban, dan jarak penghantar[4]. Persamaan susut tegangan pada saluran dapat ditulis:

$$\Delta V = IZ \quad (6)$$

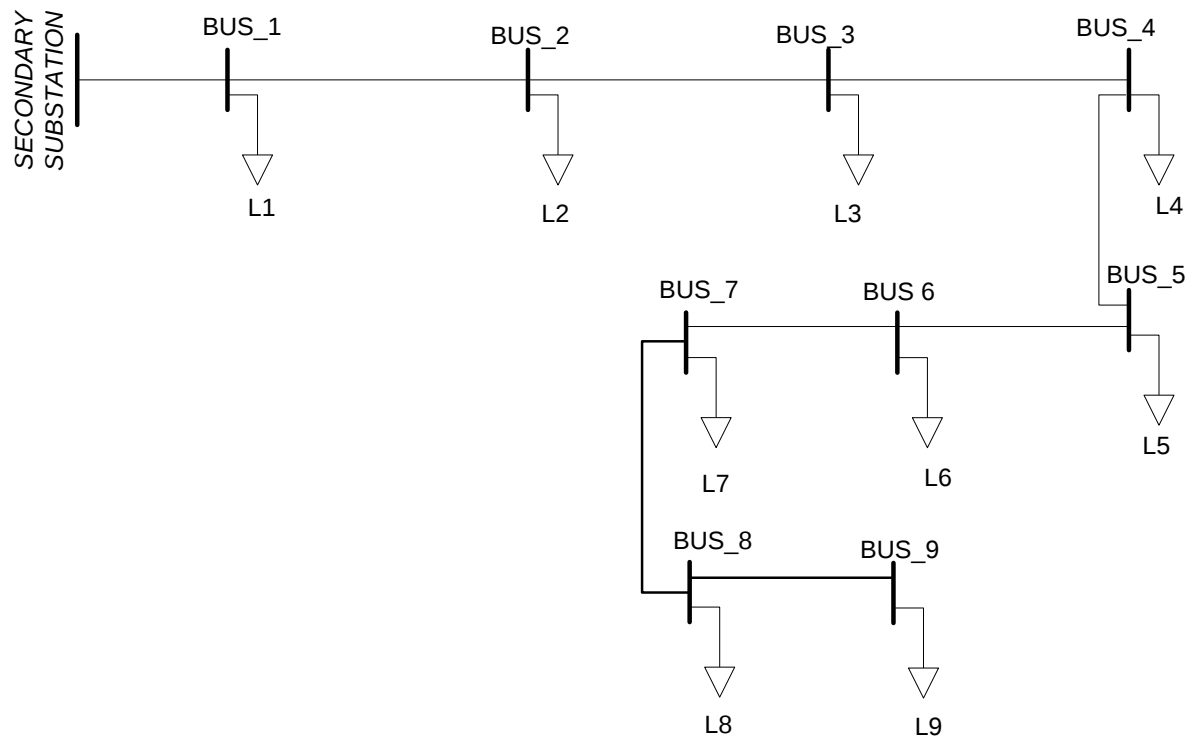
$$\Delta V = I(R \cos\phi + X \sin\phi) \quad (7)$$

Besarnya rugi-rugi daya pada penghantar merupakan perkalian kuadrat arus yang mengalir dengan resistansi penghantar [10], secara matematika dapat di tulis :

$$\text{rugi} - \text{rugi} = I^2 R \quad (8)$$

Objek Penelitian

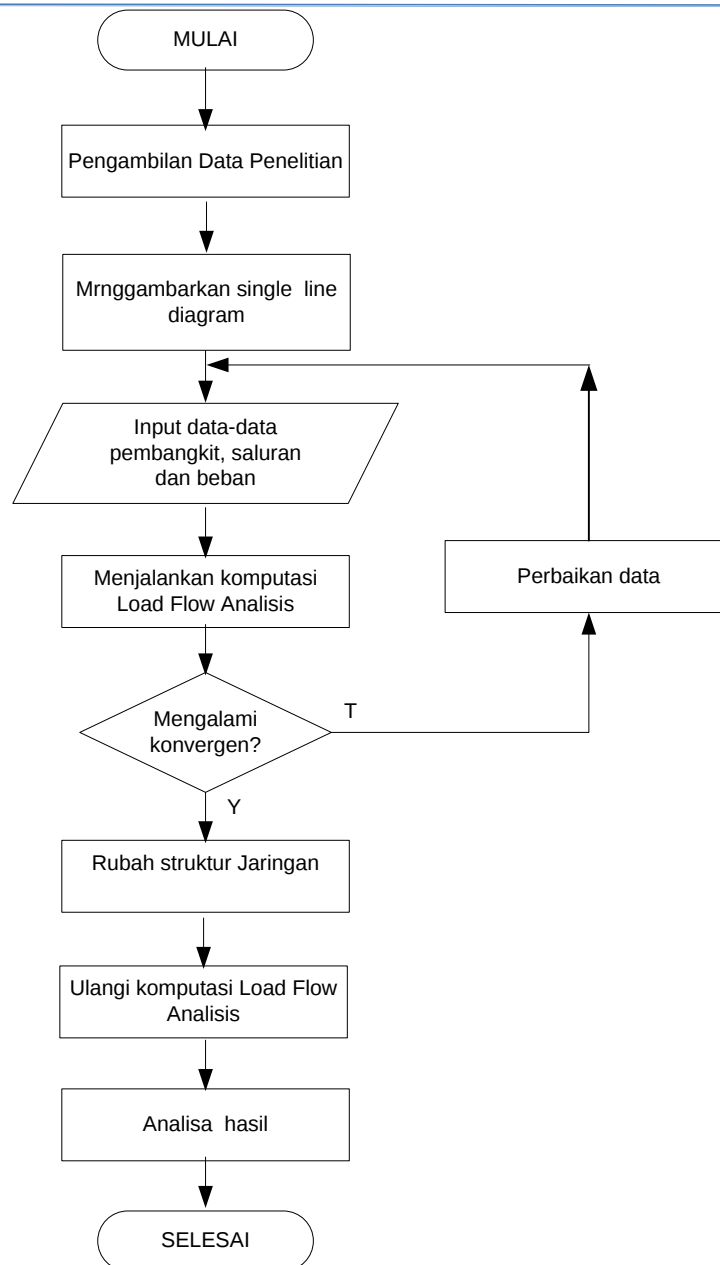
Penelitian ini mengambil yang objek yang akan dianalisis adalah sistem distribusi konfigurasi radial dengan jumlah bus 9 buah (konfigurasi standard IEEE) seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Konfigurasi sistem distribusi radial 9 bus standard IEEE

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan hasil penelitian yaitu dengan melakukan simulasi aliran daya berbasis perangkat lunak untuk mendapatkan informasi kinerja dari sistem distribusi primer, adapun flowchart penelitian seperti pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Flowchart penelitian penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk mendapatkan hasil dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan pengujian sistem dengan mengambil objek system distribusi primer yang terdiri dari 9 bus beban (standard IEEE). Dasar perhitungan dengan base sebesar 3000 MVA dan 2000 V, kemudian dilakukan simulasi (*power flow analysis*). Konfigurasi sistem distribusi standar IEEE 9 bus merupakan sistem distribusi primer konfigurasi radial murni yang menyuplai daya dari sumber daya (sisi skunder trafo daya) untuk disalurkan ke beban sampai ke ujung yang terjauh

Hasil perhitungan aliran daya yaitu berupa nilai tegangan setiap bus, daya yang dikirim dan daya yang diterima, dan rugi-rugi daya pada penghantar. Proses komputasi aliran daya menggunakan metode newton raphson yang mempunyai tingkat konvergensi pada iterasi ke-2 dengan nilai error= 0.0001, untuk system distribusi primer yang berjumlah 9 bus. Hasil perhitungan, menunjukkan bahwa besar daya yang disuplai dari bus referensi (*swing bus*) yaitu 12.955 kW dan 5.234 kVAR dengan total rugi-rugi daya sebesar 1045,09 KW dan 1362,45 KVAR. Besarnya tegangan setiap bus, aliran daya dan rugi-rugi daya pada saluran dapat ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

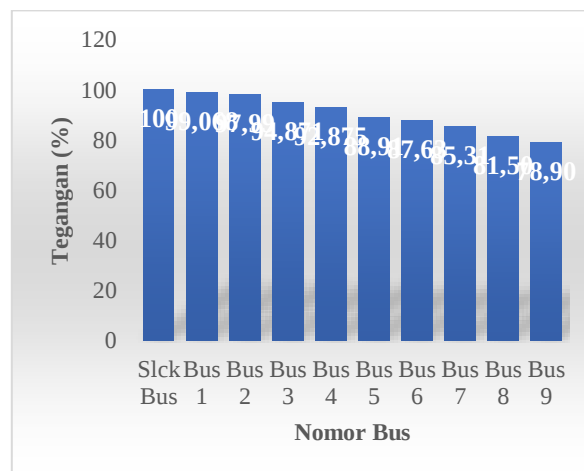
Tabel 1. Aliran daya sistem distribusi primer

Bus		Line Flow	
dari	ke	MW	MVAR
Sec Subst	1	12,955	5,234
1	2	11,020	5,574
2	3	10,046	4,016
3	4	8,065	3,211
4	5	6,364	1,294
5	6	4,579	0,508
6	7	364,000	273,000
7	8	319,000	240,000
8	9	284,000	214,000

Tabel 2. Profile tegangan pada system distribusi primer

BUS	Tegangan Nominal (KV)	Tegangan (%)	Tegangan V (KV)
Slck Bus	20	100	20,00
Bus 1	20	99,068	19,80
Bus 2	20	97,99	19,58
Bus 3	20	94,871	18,97
Bus 4	20	92,875	18,57
Bus 5	20	88,91	17,78
Bus 6	20	87,63	17,53
Bus 7	20	85,31	17,06
Bus 8	20	81,50	16,30
Bus 9	20	78,90	15,78

Besar tegangan pada setiap bus dapat dibuat berupa kurva profile tegangan, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**.



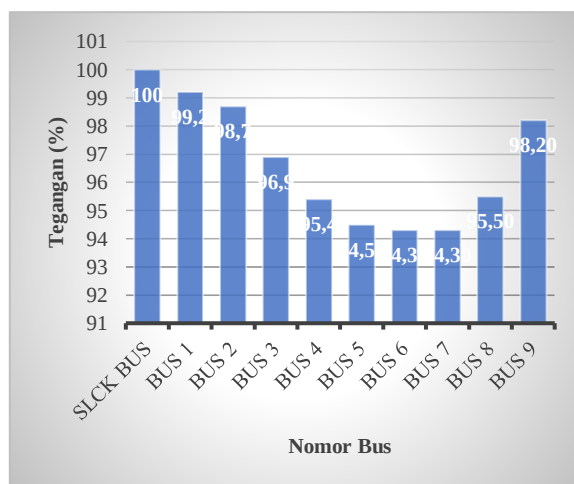
Gambar 5. Nilai tegangan pada sistem distribusi primer

Hasil simulasi menunjukkan bahwa bus yang paling jauh dari sumber daya (bus 9) mengalami penurunan tegangan (drop tegangan) terbesar yaitu sebesar 21, 09 % atau sebesar 4,22 KV, ini diakibatkan karena bus nomor 9 merupakan bus yang berada paling ujung terminal sehingga mengalami drop tegangan terbesar.

Selanjutnya dilakukan perubahan struktur jaringan yaitu dengan menempatkan sebuah penyulang baru yang menghubungkan bus sumber daya (*slack bus*) dengan bus yang paling yaitu bus 9. Dampak dari penambahan penyulang baru tersebut mengalami perubahan nilai tegangan pada setiap bus seperti terlihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Profile tegangan setelah penambahan penyulang baru

Bus Nomor	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	Nominal (KV)	(%)	V (KV)
Slack Bus	20	100	20,00
Bus_1	20	99,2	19,84
Bus_2	20	98,7	19,74
Bus_3	20	96,9	19,38
Bus_4	20	95,4	19,08
Bus_5	20	94,50	18,90
Bus_6	20	94,30	18,86
Bus_7	20	94,30	18,86
Bus_8	20	95,50	19,10
Bus_9	20	98,20	19,64



Gambar 6. Kurva Profile Tegangan setelah Perbaikan

Gambar 6 menunjukkan kurva profile tegangan setelah penambahan penyulang baru yang menghubungkan sumber tegangan dengan bus yang paling jauh yaitu bus 9. Besarnya tegangan pada bus mengalami peningkatan sebesar 19,3%, sehingga besarnya tegangan pada bus 9 menjadi 98,2% dengan drop tegangan sebesar 0,36 KV.

Total rugi-rugi daya pada saluran setelah dilakukan penambahan penyulang baru menjadi 256 KW dan 599,6 KVAR

4. Kesimpulan

Hasil komputasi bahwa besarnya daya yang disuplay dari *slack bus* untuk memenuhi kebutuhan beban pada jaringan distribusi radial 9 bus sebesar 12,955 MW dan 5,234 MVAR dengan total losses yang terjadi pada saluran adalah 1045,1 KW dan 1362,5 KVAR.

Besarnya tegangan pada bus ujung saluran yaitu bus 9 sebesar 79,8 % atau 15,78 KV. Setelah penambahan saluran baru dari bus referensi dengan bus terjauh yaitu bus nomor 9 mengalami perbaikan tegangan menjadi 98,2% atau 19,64 KV

5. Referensi

- [1] Nazaruddin,. Dkk., 2022, “Analisa Kebutuhan Daya pada Jaringan Distribusi 20 KV Sistem Radial”, Prosiding Semnas PNL, PNL, Lhokseumawe
- [2] Nelwan,M.N., dkk., 2015, “Penyusutan Energi Listrik pada Penyulang SU2 Jaringan Distribusi Minahasa Utara”, e-Jurnal Teknik Elektro dan Komputer,
- [3] Nazaruddin, 2013, “Simulasi Load Flow Untuk Perhitungan Drop Tegangan pada Jaringan Distribusi 20 KV Sistem Banda Aceh”, Penelitian P2M, PNL, Lhokseumawe
- [4] Erhanelli dan Riski, A., 2013, “Pengaruh Penambahan Jaringan Terhadap Drop Tegangan pada SUTM 20 KV Feeder Kersik Tuo Rayon Kersik Tuo Kabupaten Kerinci”,
- [5] Nazaruddin., Fauzi., Mahalla., Maimun and Subhan., 2023, “ Electrical power Supply on 20 KV Distribution Network Based on Quality and The Reliability ”, AIP Conference Proceeding, pp. 1-8

- [6] Nazaruddin., Mahalla., Fauzi., Maimun., Subhan., Abubakar. S., and Aiyub. S., 2020, “*Reliability Analysis of 20 KV Electric Power Distribution*”, IOP Conference Serie: Material and Science, pp. 1-8
- [7] R. Neverdi, D., 2012, “*Analisis Aliran pada Sistem Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) Ranting Rasau Jaya*”, Jurnal Elkha, Vol. 4 No.2, pp. 53-59.
- [8] Sudiro. R.A., Patras, L. S., dan Mangindaan, G. M. Ch., 2017, “ *Analisa Rugi-rugi Daya pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Kotamobagu dan Perbaikan*”, E- Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol. 6, No. 2, pp. 1-8
- [9] Suprianto, 2018, “ *Analisa Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 KV PT. PLN Are Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu*”, Journal of Electrical Technology, Vol. 3, No. 2, pp. 64-72
- [10] Nazaruddin, 2013, *Analysis of Power Losses in 20 KV Distribution Line*, JERE-UMAP, Vol. 7, pp. 13-24