

ANALISIS RUGI DAYA DAN ENERGI PADA *FEDDER HAULAGE* JARINGAN DISTRIBUSI DI AREA PRODUKSI TAMBANG BAWAH TANAH *DEEP MILL LEVEL ZONE* PT FREEPORT INDONESIA

Keny Maikel Giyai¹, Dultudes Mangopo², Ekawati Margaretha Ohee³

^{1,2,3} Fakultas Teknik/Universitas Cenderawasih/Indonesia
Email: k3n1dc@gmail.com

Info Artikel

Histori Artikel:
Diterima 10 01, 2025
Direvisi 25 02, 2025
Disetujui 05 03, 2025

ABSTRACT

To improve the quality of the rate of mining production activities, PT Freeport Indonesia requires sustainable and stable supporting infrastructure so that the mining process (production, exploration, etc.) continues to run smoothly. One of the supporting infrastructures is the distribution of electricity because almost all stages of production at PT Freeport Indonesia use electrical equipment. The purpose of writing this final project is to increase insight and understanding of real power losses (W) and energy (kWh) as well as financial losses that occur in the fedder haulage, DMLZ PT Freeport Indonesia, starting from the EBB switchgear channel, ring main unit (RMU) and mobile substation to the load center. The methods used in this study are literature studies, observations, interviews and data processing with Microsoft Excel as well as writing a final project report which is described in narrative form based on the research that has been done. The results of the study obtained a total value of real power loss (W) of 460.45785 kW, then a total value of energy loss (kWh) of 11051 kWh, and a total financial loss due to real power loss (W) and energy (kWh) of Rp. 16829346.88.

Keywords: Real power loss, energy loss, financial loss.

ABSTRAK

Untuk meningkatkan kualitas lajunya aktivitas produksi penambangan, PT Freeport Indonesia membutuhkan infrastruktur pendukung yang berkelanjutan dan stabil agar proses penambangan (produksi, eksplorasi, dll) tetap berjalan lancar. Salah satu infrastruktur pendukungnya adalah penyaluran tenaga listrik karena hampir seluruh tahapan produksi di PT Freeport Indonesia menggunakan peralatan listrik. Tujuan penulisan tugas akhir ini untuk menambah wawasan dan memahami tentang rugi daya nyata (W) dan energi (kWh) serta kerugian finansial yang terjadi di fedder haulage, DMLZ PT Freeport Indonesia, mulai dari saluran switchgear EBB, ring main unit (RMU) dan mobile substation hingga pada beban pusat (load center). Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi literatur, observasi, wawancara dan pengolahan data dengan Microsoft Excel serta penulisan laporan tugas akhir yang diuraikan dalam bentuk narasi berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Hasil penelitian didapatkan total nilai rugi daya nyata (W) sebesar 460,45785 kW, kemudian total nilai rugi energi (kWh) sebesar 11051 kWh, serta total rugi finansial akibat adanya rugi daya nyata (W) dan energi (kWh) tersebut yaitu sebesar Rp 16829346,88.

Kata Kunci: Rugi daya nyata, rugi energi, kerugian finansial.

Penulis Korespondensi:

Keny Maikel Giyai,
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Cenderawasih,
Email: k3n1dc@gmail.com

tersebut bergerak bebas dari satu titik ke titik lain, arus listrik ini akan bergerak ketika adanya bedah potensial (tegangan) dari dua titik pada suatu penghantar. Menurut penelitian dari (Insyowi,2019), untuk menghitung arus dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{FL} = \frac{S_{beban}}{V_{sekunder}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- I_{FL} : Arus Beban Penuh (A)
- S : Daya Semu Sisi Primer (VA)
- V : Tegangan (V)

2.5 Daya Listrik

Sistem tenaga listrik terdapat tiga jenis daya listrik yang saling berhubungan dan dipengaruhi oleh faktor daya ($\cos \theta$). Menurut penelitian yang dilakukan oleh (J.Manalu & J. Sinaga,2023), untuk 3 fasa, Daya dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan :

$$P = V \times I \times \cos \theta \times \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$S = V \times I \times \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$Q = V \times I \times \sin \theta \times \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- P : Daya Nyata (W)
- S : Daya Semu (VA)
- Q : Daya Reaktif (VAr)
- V : Tegangan (V)
- I : Arus (A)

Kemudian untuk menghitung $\cos \theta$ dan $\sin \theta$ dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan :

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\sin \theta = \cos \theta^{-1} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.6 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan pada jaring distribusi adalah selisih antara tegangan pangkal pengirim (*sending end*) dengan tegangan pada ujung penerima (*receiving end*). Menurut penelitian dari (insyowi,2019), untuk perhitungan jatuh tegangan dalam ΔV pada jaringan distribusi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\Delta V = I \times ((R \times \cos \theta) + (X \times \sin \theta)) \times L \dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- ΔV : Jatuh Tegangan Dalam Volt (V)
- I : Arus Pada Saluran (A)
- R : Tahanan Jenis Penghantar (Ω/m)
- X : Reaktansi Penghantar (Ω/m)
- L : Panjang Penghantar (km)

2.7 Rugi Daya Nyata

Rugi daya merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban seperti kerumah - rumah, ke gedung - gedung dll (Insyowi,2019). Jika saat pengukuran di gardu/tranformator secara 3 fasa, maka besarnya rugi daya nyata (ΔP) dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\Delta P = \Delta V \times I \times \cos \theta \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- ΔP : Rugi Daya Nyata (W)
- I : Arus Pembebanan (A)
- ΔV : Jatuh Tegangan (V)

2.8 Energi Listrik

Energi listrik merupakan suatu bentuk energi yang dihasilkan dari aliran muatan listrik. Kehilangan energi listrik pada umumnya disebabkan akibat dari rugi daya. Menurut penelitian dari (J.Manalu & J. Sinaga,2023), untuk menghitung energi listrik sendiri dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini:

$$\Delta E = \Delta P \times t \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- ΔE : Energi Listrik (kWh)
- ΔP : Rugi Daya Nyata (W)
- t : Waktu (Hours)

Dalam proses pentransmision tentu ada beberapa faktor yang mempengaruhi aliran listrik sehingga menyebabkan kerugian finansial juga, menurut penelitian dari (Siti Khoiriyah,2018), Persamaan untuk menghitung perkiraan kerugian finansial akibat rugi daya, sebagai berikut :

$$\text{Biaya Listrik} = \frac{\Delta E}{1000} \times \text{TDL} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

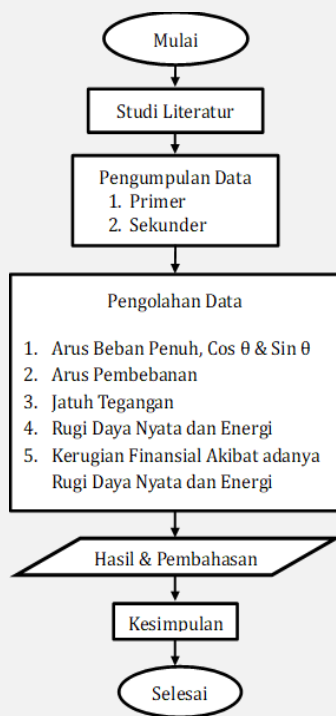
- ΔE : Energi Listrik (kWh)
- TDL : Tarif Dasar Listrik (Rp 1522,88)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT Freeport Indonesia, khususnya pada fedder haulage, area produksi deep mill level zone (DMLZ). Data-data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah :

1. Single line diagram pada Fedder Haulage
2. Data pembebanan mobile substation pada Fedder Haulage
3. Data daya terpasang pada mobile substation

4. Data spesifikasi mobile substation pada Fedder Haulage
5. Data hasil pengukuran pada mobile substation



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

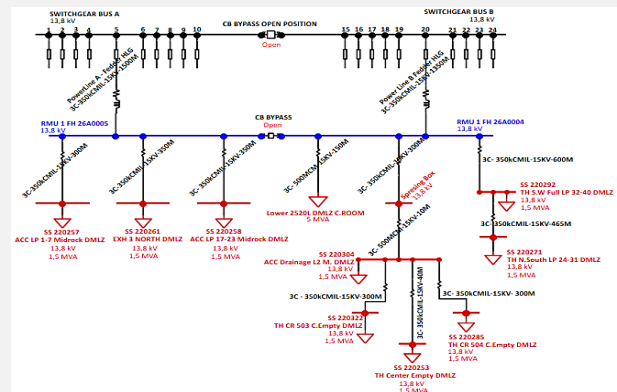
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Data Konduktor

Fedder Haulage adalah salah satu *fedder* yang bersumber dari *Switcgear ELEV 2525 BACKBONE 26A0500A* dan *Switcgear ELEV 2525 BACKBONE 26A0500B* - DMLZ. Panjang saluran *fedder haulage* di area produksi DMLZ adalah 6,015 km, dengan jumlah gardu distribusi 10 buah. Konduktor/Penghantar yang digunakan pada saluran distribusi *Fedder Haulage*, DMLZ adalah kabel bawah tanah type CU/EPR/CTS/MC/PVC dengan ukuran penampang penghantar 177 mm² dan 253 mm².

Single Line Diagram



Gambar 4. Single Line Diagram Fedder Haulage, DMLZ PT Freeport Indonesia

4.2 Pembahasan

Perhitungan Arus beban penuh, Cos θ dan Sin θ

Berdasarkan data hasil pengukuran dari PT Freeport Indonesia, khususnya di *fedder haulage* area produksi *Deep Mill Level Zone (DMLZ)*, maka dapat dihitung Arus Beban Penuh (A), Cos θ dan Sin θ pada 3 posisi listrik 3 fasa sebagai berikut :

$$I_{FL} = \frac{VA_{Beban}}{V_{Sekunder}} \quad | \quad \cos \theta = \frac{P}{S} \quad | \quad \sin \theta = \cos \theta^{-1}$$

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh pada gardu distribusi sesuai data dan sebagai contoh, untuk perhitungannya digunakan data dari power line B, yaitu sebagai berikut:

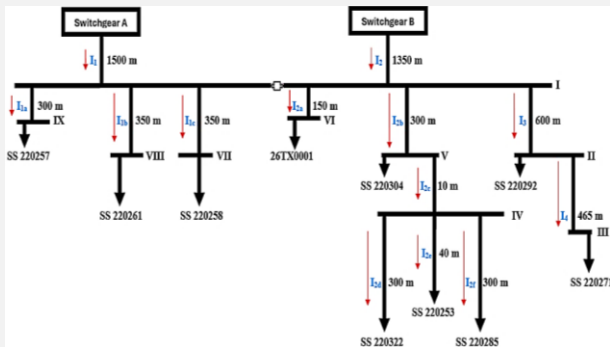
Untuk gardu distribusi dengan nomor SS220271 memiliki Daya terkirim (S) 1033000 VA dengan Tegangan Sekunder 13898 V maka arus beban penuhnya menjadi:

$$I_{FL} = \frac{1033000}{13896} \quad | \quad \cos \theta = \frac{936000}{1033000} \quad | \quad \sin \theta = \cos \theta^{-1} (0,91)$$

$$I_{FL} = 74,34 \quad | \quad \cos \theta = 0,91^\circ \quad | \quad \sin \theta = 0,41$$

Perhitungan Arus Pembebanan

Dalam perhitungan arus pada rangkaian listrik *loop* / interkoneksi, perhitungan diawali dari ujung saluran (I_4) dan seterusnya sampai ke saluran awal (I_1).



Gambar 5. Penyederhanaan Momen SLD Fedder Haulage, DMLZ

Berdasarkan hasil perhitungan arus beban penuh (A), Cos θ dan Sin θ yang tertera pada tabel 4.4 dan tabel 4.5, maka dapat dihitung Arus Pembebanan (A), Cos θ dan Sin θ sebagai berikut :

- $I_4 = I_{SS\ 220271}$
 $I_4 = 74,34$ Ampere
- $I_3 = I_{SS\ 220292} + I_4$
 $= I_{SS\ 220292} (\cos \theta_{SS\ 220292} + \sin \theta_{SS\ 220292}) + I_4 (\cos \theta_4 + \sin \theta_4)$
 $= 78,15 (0,88 + 0,48) + 74,34 (0,91 + 0,41)$
 $= (68,772 + 37,512) + (67,649 + 30,4794)$
 $= \sqrt{ (136,4214^2 + 67,9914^2)}$
 $= 152,43$ Ampere

Selanjutnya dapat menggunakan persamaan yang sama untuk mencari nilai arus pembebanan (A), Cos θ , dan Sin θ setiap gardu lainnya yang ada pada *fedder haulage* baik pada *Power line A* maupun *Power Line B* diurutkan sesuai section karena sudah dilakukan penyederhanaan moment dari *single line diagram* (SLD).

A. Perhitungan Jatuh Tegangan

Berdasarkan data hasil pengukuran dan perhitungan sebelumnya, untuk menghitung jatuh tegangan, maka dapat dihitung sebagai berikut :

- *Power Line B, Section II - III* (SS220258)
 $\Delta V = I \times ((R \times \cos \theta) + (X \times \sin \theta)) \times L$
 $= 74,34 \times ((0,128 \times 0,91) + (0,113 \times 0,41)) \times 0,465$
 $= 74,34 \times 0,1628 \times 0,465$
 $= 5,63$ Volt

Maka nilai Jatuh Tegangan (V) di *Power Line B, Section II - III* sebesar 5,63 Volt.

Perhitungan Rugi Daya Nyata

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya yaitu Arus Pembebanan, Cos θ data Jatuh Tegangan (V), maka dapat dihitung rugi daya nyata (W) sebagai berikut :

- *Power Line B, Section II - III* (SS220258)
 $\Delta P = \Delta V \times I \times \cos \theta$
 $= 5,63 \times 74,34 \times 0,91$
 $= 380,87$ W

Maka nilai rugi daya nyata (W) di *Power Line B, Section II - III* sebesar 380,87 W

Perhitungan Rugi Energi dan Kerugian Finansial

Setelah mendapatkan hasil perhitungan dari rugi daya nyata, selanjutnya mencari rugi energi, maka dapat di hitung sebagai berikut :

- *Rugi Energi Power Line B, Section II - III*
 $\Delta E = \frac{\Delta P \times t}{1000}$

$$= \frac{380,87 \times 24}{1000}$$

$$= 9,14$$
 kWh

- *Rugi Finansial pada Power Line B, Section Switchgear II - III*

$$TDL = \text{Rp } 1522,88 \text{ (Untuk penggunaan Daya diatas 200 KVA)}$$

$$\text{Biaya Listrik} = \Delta E \times TDL$$

$$= 9,14 \times \text{Rp } 1522,88$$

$$= \text{Rp } 13919,12$$

Dengan demikian, dikarenakan biaya listrik yang dihitung adalah berdasarkan setiap gardu, lalu total dari setiap gardu tersebut \pm hasil dari sumber listrik utama yaitu *Switcgear A* untuk power line A dan *switchgear B* untuk power line B, maka di tabel 4.1 berikut menunjukkan biaya listrik dari saluran/sumber listrik utama saja.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kerugian Finansial (Rp) pada *Fedder Haulage* Area Produksi DMLZ, PT Freeport Indonesia, dalam Periode Bulan April 2024

Date	ΔE (kWh)		Biaya Listrik (Rp)	
	P.Line A	P.Line B	P.Line A	P.Line B
01 April 2024	199,91	159,15	Rp304.438,94	Rp242.366,35
02 April 2024	198,02	174,29	Rp301.560,70	Rp265.422,76
03 April 2024	205,01	159,38	Rp312.205,63	Rp242.716,61
04 April 2024	205,32	160,14	Rp312.677,72	Rp243.874,00
05 April 2024	206,05	165,75	Rp313.789,42	Rp252.417,36
06 April 2024	225,4	166,87	Rp343.257,15	Rp254.122,99
07 April 2024	179,24	163,48	Rp272.961,01	Rp248.960,42
08 April 2024	174,02	175,21	Rp265.011,58	Rp266.823,80
09 April 2024	210,15	158,72	Rp320.033,23	Rp241.711,51
10 April 2024	201,07	155,42	Rp306.205,48	Rp236.686,01
11 April 2024	190,52	154,91	Rp290.139,10	Rp235.909,34
12 April 2024	201,55	151,47	Rp306.936,46	Rp230.670,63
13 April 2024	206,48	162,43	Rp314.444,26	Rp247.361,40
14 April 2024	197,03	170,29	Rp300.053,05	Rp259.331,24
15 April 2024	205,16	166,5	Rp312.434,06	Rp253.559,52
16 April 2024	200,5	180,03	Rp305.337,44	Rp274.164,09
17 April 2024	195,94	179,69	Rp298.393,11	Rp273.646,31
18 April 2024	191,47	176,41	Rp291.585,83	Rp268.651,26
19 April 2024	211,76	147,1	Rp322.485,07	Rp224.015,65
20 April 2024	183,86	172,06	Rp279.996,72	Rp262.026,73
21 April 2024	188,34	160,81	Rp286.819,22	Rp244.894,33
22 April 2024	216,37	156,51	Rp329.505,55	Rp238.345,95
23 April 2024	212,02	173,81	Rp322.881,02	Rp264.691,77
24 April 2024	185,38	170,3	Rp282.311,49	Rp259.346,46
25 April 2024	213,51	160,24	Rp325.150,11	Rp244.026,29
26 April 2024	216,91	163,8	Rp330.327,90	Rp249.447,74
27 April 2024	202,44	170,94	Rp308.291,83	Rp260.321,11
28 April 2024	210,06	156,52	Rp319.896,17	Rp238.361,18
29 April 2024	241,04	173,83	Rp367.075,00	Rp264.722,23
30 April 2024	223,43	166,98	Rp340.257,08	Rp254.290,50
Total	6097,96 kWh	4953,04 kWh	Rp9286461,32	Rp 7542885,56

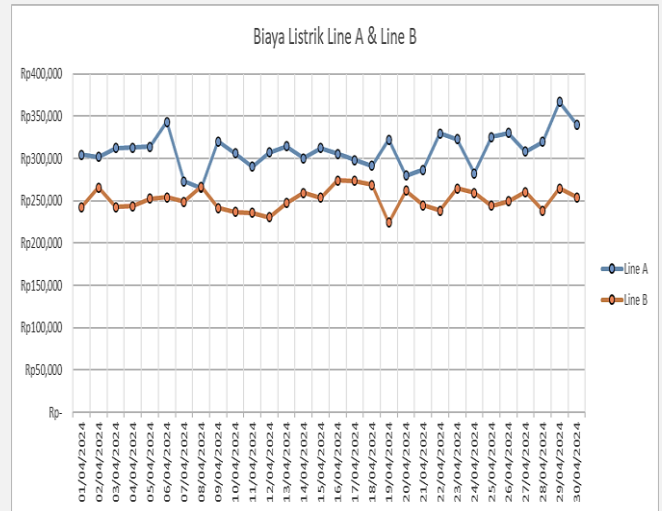
Dengan demikian, maka di perolehlah total Rugi Energi (kWh) pada *Fedder Haulage*, DMLZ sebagai berikut untuk periode bulan April 2024:

$$\begin{aligned} \text{Total } \Delta \text{kWh} &= \text{Total } \Delta \text{kWh P.Line A} + \text{Total } \\ &\quad \Delta \text{kWh P. Line B} \\ &= 6097,96 \text{ kWh} + 4953,04 \text{ kWh} \\ &= 11051 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

Dan untuk Total Kerugian Finansial (Rp) dalam periode bulan April 2024 pada *Fedder Haulage*, DMLZ PT Freeport Indonesia, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Total } \Delta \text{Rp} &= \text{Total } \Delta \text{Rp Power Line A} + \text{Total } \\ &\quad \Delta \text{Rp Power Line B} \\ &= \text{Rp } 9286461,32 + \text{Rp } 7542885,56 \\ &= \text{Rp } 16829346,88 \end{aligned}$$

Untuk detail total rugi energi dan kerugian finansial akibat adanya rugi daya dan rugi energi tersebut. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut :



Gambar 6. Biaya Listrik *Power Line A* dan *Power Line B*

Berdasarkan grafik diatas dapat di analisa bahwa, pada *power line A* membutuhkan biaya listrik yang lebih besar dibandingkan *power line B*, hal ini tentu tidak terlepas dari jangkauan pemakaian daya, dimana dari kebutuhan biaya listrik ini bisa di spesikulasikan bahwa pemakaian pada *power line A* membutuhkan daya yang lebih besar dari pada *power line B*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa rugi daya dan energi, ditemukan beberapa masalah yang saling berkaitan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rugi daya nyata (W) dan energi kWh) di pengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, panjang saluran, sistem pembebanan pada gardu/substation, dll.
2. Total Panjang saluran berdasarkan SLD yaitu sepanjang 6,015 km, Total rugi energi sebesar 11051 kWh, dan total kerugian finansial akibat adanya rugi nyata dan rugi energi sebesar Rp 16.829346,88.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wa Ode Sitti Hajriani F.A., et al. (2018). Evaluasi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 kV Penyulang Toddopuli. Prosiding SNTEI, 1-10. Makassar.
- [2] Ardi Syaputra & Edy Ervianto, 09 februari 2017. "Perhitungan Rugi Daya Saluran Distribusi Primer 20 kV Feeder Adi Sucipto di GI Garuda Sakti Dengan Metode

- Ladder Iterative Technique, Volume 4 No. 1 Februari 2017 Jom F.Teknik, Universitas Riau.
- [3] Awaludin Muhammad, 2015. "Analisis Susut Energi Pada Tegangan Rendah Di Wilayah Pt. Pln (Persero) Area Bulungan". Jurnal Sutet Vol. 5 No.2 Juni - Desember 2015.
- [4] Bryan J. A., "Analisi rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi" Jurnal Teknik Elektro dan Komputer vol 6 no, 2020. Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi.
- [5] Insyowi Romsumbre, 2019 "Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Pala Kota PT. PLN (Persero) Rayon Sentani. Jurnal Teknik Elektro Universitas Cenderwasih, 2019.
- [6] Jodi.Trinaldi Manalu & Joslen Sinaga, 30 Maret 2023, "analisis rugi daya pada jaringan distribusi" Jurnal Teknologi Energi Uda, Vol. 12, No. 1 (2023) Maret.
- [7] Mhd. Arifin Siregar, 09 september 2013. "Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru". Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Riau, 2013.
- [8] PTFI, 2021, 13.8 kv / 0.48 kv 1.5 MVA., "Mobile Underground Substation" No. 57. Job 112232. Operation & Maintenance Manual, 2021.
- [9] PTFI, 2021, 13.8 kv / 0.48 kv 1.5 MVA., "Critical Load" No.60 . Job 113325. Operation & Maintenance Manual, 2021.
- [10] PTFI, 2021, 13.8 kv / 0.48 kv 1.5 MVA., "Ring Main Unit (RMU)" No. 514 xc 5. Job 112232. Operation & Maintenance Manual, 2021.
- [11] PT. JEMBO CABLE COMPANY, 2019, (MV-105 MC-HL 15 kv or CU/EPR/CTS/MC/PVC)" dan karakteristik cable metal Desain Untuk tambang bawah tanah.", Update PT JEMBO CABLE COMPANY, 2019
- [12] Siti Khoiriyah, 2018, "analisis susut daya dan energy pada jaringan distribusi di gardu induk bringin penyulang BRG-4 menggunakan software etap 12.6". jurnal elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [13] Tri Joko Pramono, Erlina, Soetjipto Soewono & Fatimah, Juni 2018. "Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah Dengan Menggunakan Simulasi Program Etap". Jurnal Energi & Kelistrikan Vol. 10 No. 1, Januari - Juni 2018.
- [14] Yasmin Y. S dan Permata E. Sistem Switchgear 5P1_1S1_U5 untuk Motor Cement Mill di PT. Cemindo Gemilang Plant Bayah. Vol. 1, No. 1 April 2022. p-ISSN: 2962-6900, e-ISSN: 2962-6897, Hal 118-127. Update, PT. Cemindo Gemilang Plant Bayah, 2022.