

PENGARUH SUDUT DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH JARINGAN KABEL DAN UDARA

Muhammad Rafi Madhadoni Barus¹, Patia Welly Siarit², Yuliarman Saragih³

^{1,2} Universitas Mitra Karya

Jl Mayor Madmuin Hasibuan, Kota Bekasi Jawa Barat 17113

³Universitas Singaperbangsa Karawang

Jl Hs Ronggowaluyo Telukjambe, Karawang 41673

e-mail: yuliarman@staff.unsika.ac.id

Abstrak— Selubung kabel bawah tanah tegangan menengah biasanya diikat dan dibumikan di setiap gardu pada jalur kabel sehingga menghasilkan sudut daya. Ini menghasilkan kerugian daya tambahan di selubung. Penelitian ini menganalisis pengaruh sudut daya pada sistem distribusi tegangan menengah. Gagasan penyambungan silang selubung hanya di gardu induk MV/LV tertentu diberikan sebagai pengganti solusi tipikal, di mana pengikatan silang selubung memerlukan pemasangan sambungan tambahan pada rute kabel agar menghasilkan sudut daya yang efisien. Ini mengarah pada pengurangan kerugian daya yang signifikan sementara biaya investasi tetap rendah. Dua kasus dianalisis dalam penelitian: jaringan tegangan menengah saluran kabel dan udara. Pengurangan kerugian daya yang signifikan diperoleh dalam kedua kasus

Kata kunci : arus beban, transformator, tegangan menengah, distribusi, sudut daya

Abstract—*Medium-voltage underground cable sheaths are tied and grounded at each substation on the cable line to produce a power angle. This results in additional power loss in the casing. This study analyzes the effect of the power angle on the medium voltage distribution system. The notion of casing cross-connection only in certain LV/MV substations is provided instead of a typical solution, where sheath cross-ties require the installation of additional splices in the cable route for efficient power angles. This leads to a significant reduction in power losses while the investment cost remains low. Two cases were analyzed in the study: cable and airline medium voltage networks. A significant reduction in power loss is obtained in both cases*

Keywords : load current, transformer, medium voltage, distribution, power angle

I. PENDAHULUAN

Saluran kabel adalah elemen dasar dari sistem tenaga listrik. Mereka digunakan secara luas kisaran tegangan nominal - dari rumah tangga tegangan rendah instalasi hingga sistem transmisi tegangan ultra-tinggi. Garis biasanya dibangun dari kabel inti tunggal untuk media dan tegangan operasi tinggi. Kabel inti tunggal terdiri dari inti konduktor, lapisan insulasi, dan melakukan selubung dalam pengaturan koaksial. Kehadiran dari selubung melakukan diperlukan untuk memastikan tepat distribusi medan listrik pada kabel dan untuk menyediakan a jalur untuk arus gangguan. Kehadiran sarungnya mengurangi risiko sengatan listrik dengan mengurangi sentuhan tegangan. Selubung dibumikan di ujung kabel ke mencapai tujuan di atas. Namun, hal ini dapat menyebabkan beberapa masalah operasional. Arus yang mengalir pada kabel inti menginduksi tegangan pada selubung. Saat sarungnya dibumikan pada kedua ujung kabel, sirkuit *loop* tertutup adalah dibuat, dan arus induksi akan mengalir di selubung. Itu arus induksi menyebabkan beberapa fenomena negatif. Pertama, arus induksi menyebabkan kerugian

daya tambahan, yang menurunkan efisiensi transmisi daya [1]. Kedua, kerugian daya tambahan dikonversi menjadi panas, yang meningkatkan suhu keseluruhan kabel.

Hal tersebut mengakibatkan penurunan daya hantar arus kabel kapasitas. Berbagai teknik digunakan untuk menangkal ini fenomena, dan untuk mengurangi arus induksi [1-2]. Yang paling teknik yang efektif adalah penggunaan cross-bonding grounding skema. Ikatan silang selubung banyak digunakan untuk HV dan kabel bawah tanah UHV sedangkan untuk MV jarang digunakan jalur distribusi [3]. Keadaan ini disebabkan oleh fakta bahwa panjang dan beban garis kabel HV biasanya jauh lebih tinggi daripada jalur distribusi MV pada umumnya. Oleh karena itu, masalah kerugian daya tambahan dan ekstra pemanasan lebih terlihat di instalasi HV, dan itu menangkal (betapapun mahalannya) membawa keuangan yang lebih besar manfaat. Peningkatan beban jaringan distribusi MV terlihat di seluruh dunia karena meningkatnya jumlah kendaraan listrik stasiun pengisian dan secara paradoks karena peningkatan jumlah sumber energi fotovoltaik terdistribusi. Itu pemanasan iklim,

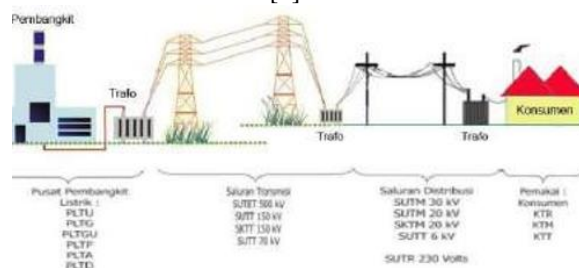
peningkatan rata-rata global suhu, adalah faktor lain yang meningkatkan beban jaringan distribusi karena di banyak wilayah di dunia AC tambahan harus dipasang.

Pada saat yang sama waktu, peningkatan jumlah badai dan angin topan adalah diamati. Saat ini, fenomena cuaca ini sering terjadi sangat cepat dan mereka menimbulkan ancaman serius bagi listrik grid, terutama untuk saluran distribusi overhead. Itulah mengapa banyak operator sistem distribusi berencana untuk memodernisasi jaringan distribusi dengan mengganti saluran distribusi udara dengan kabel bawah tanah. Jika tren di atas dikombinasikan dengan kebutuhan meningkatkan efisiensi transmisi energi yang berkontribusi untuk mengurangi konsumsi dan batasan bahan bakar fosil pemanasan global, kesimpulannya adalah mengurangi rugi-rugi daya dalam selubung kabel MV menjadi penting dan topikal masalah serta melakukan perhitungan sudut daya dari sistem distribusi yang ada selama periode tertentu atau dapat dilakukan persemester.

II. STUDI LITERATURE

A. Sistem Tenaga Listrik(STL)

Biasanya STL (sistem tenaga listrik) terdiri dari komponen tenaga listrik yaitu pembangkit sistem distribusi, sistem pembangkit tenaga listrik dan sistem transmisi. Ketiga komponen ini menjadi bagian utama pada suatu rangkaian sistem tenaga listrik yang bekerja untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Rangkaian sistem tenaga listrik dapat diamati pada gambar 1 dibawah berikut [4] :



Gambar 1. Rangkaian Sistem Tenaga Listrik

Energi listrik yang diproduksi di pusat pembangkit disalurkan ke konsumen (pengguna) melalui saluran listrik kemudian melalui saluran distribusi (sistem distribusi).

B. Karakteristik Pembangkit Listrik

Pada proses pendistribusian tenaga listrik, rugi-rugi (*loss*) daya terjadi pada saat distribusi tenaga listrik, pembangkitan dan transmisi tenaga listrik. Secara umum, kehilangan daya (*loss* daya) rata-rata di jaringan distribusi dalam kondisi normal harus 13% dari daya brutonya. Namun, beberapa pusat manajemen beban menerima nilai di bawah 13%, meskipun tindakan perbaikan telah dilakukan. Perhitungan ini sangat diperlukan untuk data input terdistribusi [2].

Mengoptimalkan kedua daya generator sangat diperlukan agar dapat memenuhi kebutuhan beban secara *low cost* (biaya terendah). Hanya saja, di antara kedua karakteristik generator tersebut, generator termal memiliki peranan yang penting karena seringnya pergantian dan biaya bahan bakar. Oleh karena itu, pembangkit panas ini akan dibahas lebih detail. Penggunaan jaringan listrik yang tri dari beberapa pembangkit membutuhkan koordinasi yang baik dalam perencanaan beban besaran listrik yang dihasilkan masing-masing pembangkit agar mencapai minimum dalam efektivitas biaya produksi [5].

C. Sistem Penyaluran (Distribusi) Tegangan

Jaringan distribusi digunakan untuk menyalurkan tegangan dari gardu sekunder, di mana trafo MV/LV dipasang. Itu dapat beroperasi dalam pengaturan yang berbeda. Yang paling umum diadopsi adalah jaringan radial dan sistem loop. Sistem loop digunakan untuk jaringan luas dengan ekstensi masa depan yang besar. Mereka dapat beroperasi sebagai terbuka atau tertutup. Sistem loop terbuka adalah lebih sering digunakan daripada ditutup karena lebih sedikit mahal. Namun, keandalannya lebih rendah dan gangguan indeks lebih tinggi [6]. Cara khas pembumian selubung kabel MV tidak tergantung pada pengaturan jaringan. Seperti yang dijelaskan di pengantar, biasanya selubung dari tiga kabel inti tunggal terikat pada kedua ujung kabel. Sarung yang terikat kemudian dihubungkan ke sistem pembumian suplai gardu di salah satu ujung jalur kabel. Demikian pula di ujung lain dari jalur kabel, lembaran berikat adalah terhubung ke sistem pembumian sekunder LV/MV cabang. Jika ada lebih banyak gardu induk di jaringan itu selubung jalur kabel lain terhubung ke gardu pembumian dan dengan demikian ke selubung sebelumnya jalur kabel [6].

D. Pengelompokan Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Sistem penyaluran (distribusi) tenaga listrik diartikan sebagai bagian dari jaringan tenaga listrik yang menghubungkan gardu/fasilitas dengan konsumen. Jaringan distribusi merupakan alat sistem distribusi listrik dalam mendistribusikan energi ke konsumen. Saat mendistribusikan daya ke pusat beban, jaringan distribusi harus disesuaikan dengan kondisi setempat, dengan mempertimbangkan faktor beban, lokasi beban, pengembangan di masa mendatang, keandalan, dan nilai ekonomi.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka luas jaringan distribusi adalah sebagai berikut [7]:

1. SUTM (Saluran Induk Tegangan Menengah) yang terdiri dari tiang dan perlengkapannya, tangga dan perlengkapannya, alat pegas dan pemotong.

2. SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah), terdiri dari:

Kabel bawah tanah, plester internal dan eksternal, batu bata, pasir, dll.

3. Trafo terdiri dari trafo, tumpukan, pondasi tumpukan, badan kotak trafo, panel tegangan rendah, tabung pelindung, pembatas, kabel, pita trafo, perangkat pentanahan, dll.

4. SUTR (Low Voltage Airline) dan SKTR (Low Voltage Cable Channel) terdiri dari alat/bahan SUTM dan SKTM, yang membedakan hanya dimensi (ukuran).

III. METODE

A. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

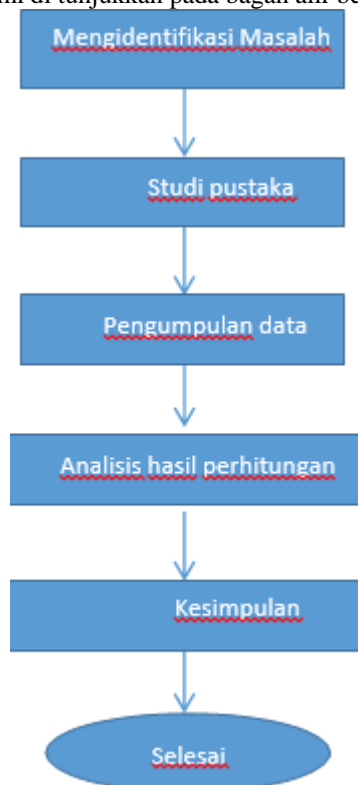
Tempat Pelaksanaan dilakukan di PT PLN (Persero) ULTG Bekasi, Kaliabang, Kabupaten Bekasi.

2. Waktu

Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan (Oktober-Desember) Tahun 2022 dan jenis kegiatan yang dilakukan yaitu, pengambilan serta pengumpulan data dan survey lokasi.

B. Metode Penelitian

Secara garis besar tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini di tunjukkan pada bagan alir berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Untuk gambaran yang lebih jelas, berikut adalah penjelasan lebih rinci dari setiap langkah studi desain akhir ini:

1. Perkenalan

Pendahuluan merupakan tahapan pertama dari metodologi penulisan. Pada tahap ini dilakukan observasi lapangan untuk mengumpulkan data di PT. PLN (Persero) ULTG Bekasi.

2. mengenali masalah

Setelah pemaparan, dapat diamati permasalahan pada sistem distribusi (penyaluran) listrik gardu induk ULTG Bekasi. Kemudian penyebab masalah dapat ditelusuri kembali. Untuk melacak penyebab masalah, data dikumpulkan dari sistem distribusi daya.

Dalam karya ini, pokok bahasan tentang rugi daya pada trafo distribusi dan rugi saluran pada sistem distribusi tegangan menengah serta total rugi daya pada saluran suplai PT ULTG Bekasi disorot. PLN (Persero) ULTG Bekasi. 3. Studi sastra

Referensi analisis disipasi listrik saluran kabel dan udara pada sistem distribusi tegangan menengah diperoleh melalui penelitian literatur untuk mencari informasi tentang teori sistem distribusi daya, konsep permasalahan, rugi-rugi(*loss*) daya dan efisiensi sistem. Sehingga informasi ini bisa dijadikan acuan saat penanganan masalah (*troubleshooting*).

4. Pengumpulan data

Informasi diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap objek penelitian. Salah satu cara untuk memperoleh data primer adalah dengan wawancara langsung. Sedangkan untuk metode pengambilan data sekunder,

C. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua metode yaitu pengumpulan data primer dan sekunder. Untuk pengumpulan data primer, penulis menerapkan teknik wawancara. dalam hal data sekunder, data dikumpulkan langsung di PT. PLN (Persero) ULTG Bekasi. Pengumpulan data ini bertujuan untuk mendapatkan informasi terkait studi tugas akhir menganalisis rugi-rugi listrik pada jaringan distribusi tegangan menengah saluran kabel dan udara pada saluran suplai PT ULTG Bekasi. PLN (Persero) ULTG Bekasi. Informasi berikut diperlukan sebagai dokumen:

1. Spesifikasi Kabel Listrik ULTG Bekasi.

2. Informasi trafo distribusi terdiri atas kapasitas trafo, tegangan, impedansi dan tap trafo di penyulang ULTG Bekasi.

3. Jumlah trafo distribusi di jalur suplai ULTG Bekasi

4. Panjang kawat penghantar antar bus trafo distribusi ULTG Bekasi.

5. Informasi Download Perangkat Input Semester I Januari 2022 s/d Juli 2022 dan Semester II Oktober s/d Desember 2022 PT. PLN (Persero) ULTG Bekasi.

6. Analisis hasil perhitungan

Berdasarkan data yang diperoleh dalam penelitian ini, data tersebut selanjutnya diolah dengan menggunakan perhitungan manual dan rumus yang telah ditentukan. Berikut adalah metode perhitungannya:

1. metode kalkulasi

Pada sistem jaringan distribusi, rugi daya (*loss* daya) terjadi pada saluran udara atau kabel dan trafo. Rugi-rugi (*loss*) konduksi disebabkan oleh resistansi kawat itu sendiri, sedangkan rugi-rugi transformator disebabkan oleh resistansi belitan trafo dan rugi-rugi inti. Rugi-rugi pada jaringan ini bergantung pada kondisi beban yang selalu berubah, sehingga perhitungan harus dilakukan untuk setiap kondisi beban. Artikel ini khusus membahas rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tegangan menengah dan trafo distribusi, oleh karena itu dituliskan sebagai berikut [8].

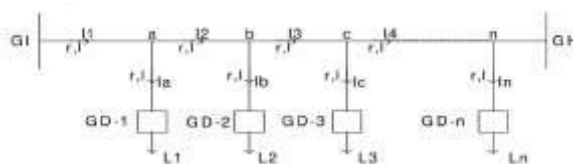
$$P_{dis} = P_{sal} + P_{tran} \quad (1)$$

Dimana, P_{dis} : sudut daya total pada jaringan distribusi, P_{sal} : sudut daya pada saluran tegangan menengah dan P_{tran} : sudut daya pada transformator distribusi.

2. metode sudut daya pada saluran distribusi primer

No	STrans (kVA)		% S (%)
	STM ^o (A)		
1	2,403	65,243	0,028
2	2,941	1114,210	0,025
3	2,508	69,940	0,034
4	2,508	76,744	0,036
5	2,508	70,988	0,034
6	3,702	102,716	0,033
7	2,502	96,615	0,025
8	1,802	0,943	1,987
9	2,502	64,679	0,038
10	2,502	83,074	0,026

Saluran distribusi primer merupakan penyulang untuk menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi (GD) ke gardu induk (GI). Secara sederhana saluran distribusi primer diilustrasikan pada gambar 3 [9].



Gambar 3. Saluran Distribusi Primer

Dari gambar 3 kita dapat mengetahui bahwa I_1 : arus Antara titik a dengan GI, ($I_a + I_2$), serta $I_2 =$ arus antara titik b dengan titik a, ($I_b + I_3$), $I_3 =$ arus antara titik b dengan titik c, ($I_c + I_4$), I_a : arus antara GD-1 dengan titik a, $I_b =$ arus antara titik b dengan GD-2, I_c : arus antara titik c dengan GD-3, I_n : arus antara titik n dengan GD-n, r: resistansi penghantar (W/km), l: panjang penghantar (km), GD-1, GD-2,

GD-3, ..., GD-n: gardu distribusi, dan $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$: beban. Arus mengalir pada penghantar dengan resistansi yang menyebabkan terjadinya sudut pada penghantar tersebut, sehingga daya yang dikirim dari gardu induk ke konsumen akan menurun seiring berjalannya waktu. Besarnya sudut akibat resistansi penghantar untuk setiap fasanya diformulasikan sebagai [6, 10].

$$P_{SALURAN} = I^2.R.L \quad (2)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Penyulang

Dapat diamati pada gambar 4 dibawah dimana pada sudut besi perfasa yang paling besar yaitu, terjadi pada gardu PS/005 karena mempunyai kapasitas transformator yang besar, sedangkan pada sudut tembaga perfasa yang paling besar yaitu terjadi gardu PS/005. Jadi semakin besar kapasitas transformator yang di pakai maka nilai sudut tembaga dan sudut besi juga semakin besar.



Gambar 4. Data sudut besi dan sudut tembaga sesuai dengan standar SPLN50 1997

Tabel 1. Hasil perhitungan persentase sudut transformator semester I tahun 2022

Tabel 1 diatas menunjukkan nilai persentase sudut transformator distribusi untuk semester I berkisar antara 0.025 % sampai dengan 1,987 %. Hal ini menunjukkan bahwa nilai persentase sudut daya pada transformator tersebut masih dalam keadaan normal yaitu 13%.

B. Data Transformator Distribusi

Data transformator distribusi (penyaluran) dibutuhkan agar dapat menghitung sudut daya pada transformator pada setiap kondisi beban. Data transformator distribusi terlihat pada tabel 2. Data transformator distribusi diperlukan untuk menghitung sudut daya pada transformator pada setiap kondisi beban. Data transformator distribusi terlihat pada tabel 2.

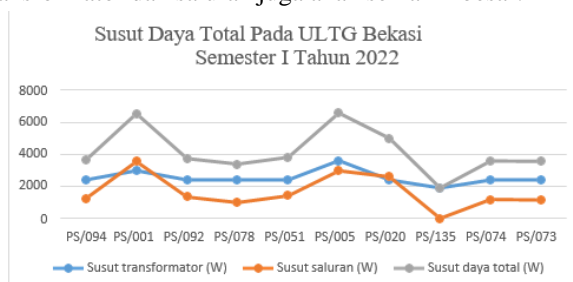
Tabel 2. Data Transformator Distribusi Penyulang ULTG Bekasi

No Gardu	Kapasitas Transformator (KVA)	Jenis Transformator	Sudut Besi (Watt)	Sudut Tembaga (Watt)

1	PS/094	160	Unindo	400	2000
2	PS/001	200	Unindo	480	2500
3	PS/092	160	Unindo	400	2000
4	PS/072	160	Starlite	400	2000
5	PS/051	160	Unindo	400	2000
6	PS/005	250	Starlite	600	3000
7	PS/020	160	Starlite	400	2000
8	PS/135	100	Unindo	300	1600
9	PS/074	160	Unindo	400	2000
10	PS/073	160	Unindo	400	2000

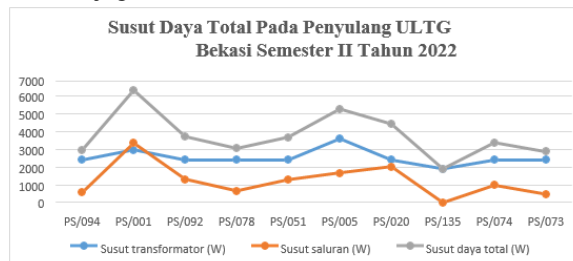
C. Analisa Pengaruh Sudut Daya

Konduktor yang dimanfaatkan pada perhitungan sudut daya ini merupakan penghantar yang memiliki luas penampang sebesar 240 mm² untuk saluran kabel dan saluran udara. Pada gambar 5 terlihat bahwa saluran dan besarnya nilai sudut daya pada transformator mengikuti bentuk kurva beban. Jadi semakin besar beban maka sudut daya pada transformator dan saluran juga akan semakin besar.



Gambar 5. Kurva sudut daya total pada ULTG Bekasi semester I Tahun 2022

Gambar 6 dibawah terlihat bahwa hasil nilai sudut daya total pada penyulang ULTG Bekasi semester II tahun 2022 dipengaruhi dari saluran dan besaran sudut trafo ,jadi semakin besar beban yang digunakan pada transformator dan saluran. Maka sudut daya total yang dihasilkan juga besar.



Gambar 6. Kurva sudut daya total pada ULTG Bekasi semester II Tahun 2022

V. KESIMPULAN

Pengaruh sudut daya dalam sistem distribusi (penyaluran) tegangan menengah saluran kabel dan udara adalah hal yang menarik solusi untuk jaringan yang ada. Hal ini memungkinkan untuk

mengurangi kerugian daya keseluruhan dalam jaringan. Solusinya hemat biaya karena ikatan silang selubung dapat dilakukan langsung di terminasi kabel di gedung gardu induk. Tidak perlu menggali kabel dan tidak perlu menginstal sambungan tambahan dan kotak penghubung. Efektivitas pengurangan rugi-rugi daya tergantung pada pengaturan jaringan dan bebannya. Semakin berat dimuat saluran kabel, semakin besar penurunan kerugian yang bisa terjadi diharapkan. Kasus yang paling rumit untuk dioptimalkan adalah jaringan loop terbuka dengan cabang pendek.

Sedangkan untuk sudut daya (P) pada transformator pada kedua semester mengalami penurunan sehingga presentase yang didapatkan kecil. Nilai sudut daya pada transformator paling besar untuk semester I terjadi pada gardu PS/020 yaitu 0,025% dan yang paling rendah terjadi pada gardu PS/135 yaitu 1,987%. Sedangkan untuk semester II nilai sudut daya yang paling besar terjadi pada gardu PS/020 yaitu 0,029% dan yang paling rendah terjadi pada gardu PS/135 yaitu 2,767% dan untuk sudut daya total pada kedua semester dalam kurung waktu 6 bulan sebesar 7.705,967 kWh untuk semester I, dan pada semester II nilai sudut daya totalnya mempunyai nilai sebesar 6.771,968 kWh. Jadi selisih antara sudut daya pada semester I dan semester II dalam jangka 6 bulan sebesar 735,9849 kWh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asosiasi Profesionalis Elektrikal Indonesia (APEI) Daerah Jawa Barat (2017), Materi Kursus Pengembangan Ahli Madya dan Utama.
- [2] Bambang, D.S., Ir. (2015), Catatan Kuliah Distribusi Daya Elektrik, Teknik Elektro, Itenas, Bandung.
- [3] Gonen, T. (2019), Electric Power Distribution System Engineering, Mc Graw-Hill. Kurtz, S., (1990), The Lineman's and Cableman's Handbook, Mc Graw-Hill.
- [4] Putranto, D., H.T. (2020), Analisis Rugi-rugi Daya di Jaringan pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah 20 kV, Universitas Jenderal Ahmad Yani, Bandung.
- [5] Soenarjo, (1999), Catatan Kuliah Mesin-mesin Elektrik I, Teknik Elektro, Itenas Bandung.
- [6] Standard PLN 50 (1997), Spesifikasi Transformator Distribusi.
- [7] Hardine, L., Hidayat, R., & S. Hadikusuma, R. (2022). Analysis of The Influence of Star Delta System in Reduce Electric Starting Surge in 3 Phase Motors. *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 16(2), 208-214.
- [8] Sulasno (2000), Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.
- [9] Unindo (---), Three Phase Transformer Data.
- [10] Zuhul (2018), Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Gramedia, Jakarta.