



ANALISA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH DENGAN SISTEM SINGLE WIRE EARTH RETURN UNTUK WILAYAH TERTINGGAL, TERDEPAN DAN TERLUAR

Rakesh ¹, Ridho Alpha Kusuma, S.T., M.EngSt ²

¹ Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta, 14350, Indonesia

² Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta, 14350, Indonesia

<p>INFORMASI ARTIKEL</p>	<p>A B S T R A K</p>
<p>Received: March 22, 2022 Revised: July 22, 2022 Available online: August 15, 2022</p>	<p>Tingkat Elektrifikasi Pedesaan (RER) di Indonesia masih rendah. Ini karena biaya yang besar untuk memasang catu daya tiga fase atau satu fase konvensional ke beban pedesaan yang tersebar. Namun, ada upaya besar yang dilakukan untuk mengatasi hal ini oleh Badan Energi Pedesaan dan utilitas Nasional. Untuk itu, makalah ini mengusulkan skema elektrifikasi Single Wire Earth Return (SWER) untuk kelistrikan salah satu desa terpilih yaitu Serang, Banten. Data lapangan dikumpulkan dan digunakan untuk merancang kemungkinan jaringan distribusi SWER. Model matematika dikembangkan, mewakili SWER untuk Serang, Banten, dan simulasi dilakukan untuk menetapkan potensi bumi dan resistensi bumi. Kedua hal ini penting setiap kali saluran SWER akan dipasang. Selanjutnya, perbandingan tekno-ekonomi dilakukan untuk menetapkan biaya rendah dari SWER yang diusulkan dibandingkan dengan sistem Single Phase Two-Wire (SPTW) yang ada. Simulasi dilakukan dengan menggunakan OpenDSS. Analisis tekno-ekonomi menunjukkan bahwa sistem SWER yang diusulkan dapat mewujudkan penghematan biaya sebesar 50% dibandingkan dengan pemasangan sistem SPTW untuk elektrifikasi Serang Banten.</p> <p>Kata kunci— SWER, Single Phase Two Wire (SPTW), OpenDSS, Elektrifikasi</p>
<p>CORRESPONDENCE</p>	<p>A B S T R A C T</p>
<p>E-mail: ¹rakeshvaswani@gmail.com ²ridho.kusuma@uta45jakarta.ac.id</p>	<p>Indonesia's rural electrification rate (RER) is still low. This is due to the high cost of installing a conventional three-phase or single-phase power supply in distributed rural loads. However, the Rural Energy Agency and the National Utility have made many efforts to address this issue. To this end, this document proposes a Single Wire Earth Return (SWER) electrification scheme for the electrification of a selected village, namely Serang, Banten. Field data were collected and used to design a potential SWER distribution network. A mathematical model representing SWER for Serang, Banten was developed and simulations were performed to determine soil potential and soil resistance. These two are important every time you install a HEAVY line. In addition, a technical and economic comparison was made in order to determine the short-term costs of the proposed SWER with the existing single-phase two-wire (SPTW) system. The technical and economic analysis shows that the proposed SWER system will achieve a cost saving of 50% compared to the installation of the SPTW system for Serang Banten electrification.</p> <p>Keywords— SWER, Single Phase Two Wire (SPTW), OpenDSS, Electrification</p>

I. PENDAHULUAN

Jaringan distribusi adalah jaringan yang mendistribusikan atau membagi energi listrik ke pelanggan. Di Indonesia, yang mengelola jaringan distribusi adalah PLN UID, UP3 dan ULP, dan menggunakan tegangan menengah 20kV dan tegangan rendah 400V. Di beberapa daerah, di Palembang masih ada tegangan menengah 11,8kV. Sistem tegangan menengah (TM) yang digunakan sebagian besar 3-phase 3-wire sedangkan untuk tegangan rendah (TR) 3-phase 4-wire [1].

Listrik pedesaan merupakan listrik yang diproduksi dan didistribusikan untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat pedesaan. [2]. Karakteristik kelistrikan di pedesaan sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat pedesaan, terutama untuk keperluan penerangan. Faktor yang paling penting untuk dipertimbangkan ketika merencanakan dan mengembangkan listrik di daerah pedesaan adalah jarak dari jaringan publik / jaringan listrik PLN dan optimalisasi sumber daya alam setempat [3]. Jarak pedesaan dari pusat pembangkit, seperti gardu tegangan tinggi dan tegangan

sangat tinggi, memerlukan investasi besar dan rugi daya harus diperhitungkan saat mendistribusikan listrik. Oleh karena itu perlu dilakukan optimalisasi potensi energi dari sumber daya alam yang ada [2].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, listrik pedesaan dapat ditingkatkan dengan mengutamakan penggunaan sumber daya alam yang berada di pedesaan. Sumber daya alam yang terdapat di pedesaan biasanya bersifat optional atau opsional, sehingga di pedesaan perencanaan kelistrikan merupakan rencana untuk menjamin ketersediaan listrik yang cukup, kualitas yang baik dan harga yang murah. Listrik pedesaan wilayah terluar, terdepan, dan tertinggal (3T/ rural area) saat ini hanya untuk sebatas penerangan untuk meningkatkan tingkat ekonomi, belum beralih ke masalah dari power quality (SLA -10% - +10%) [4].

Untuk listrik pedesaan, pemerintah membuat Program Listrik Pedesaan (Lisdes) dibawah Ditjen kelistrikan. Program ketenagalistrikan pedesaan merupakan motor penggerak perekonomian pedesaan, sektor ESDM memfasilitasi pengembangan kelistrikan pedesaan (list) melalui pembangunan pembangkit listrik tenaga mikro (PLTMH), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), gardu distribusi (GD), high jaringan tegangan (JTM) dan jaringan tegangan. Bawah (JTR). Kementerian ESDM telah menyiapkan anggaran sebesar Rp2,3 triliun dari APBN. Program lisdes ini dilakukan untuk menghemat biaya menggunakan tegangan menengah 1 phase 2 wire. Tetapi hal ini juga biayanya masih terlalu besar, karena beban yang dilayani cenderung kecil dan tersebar [2].

Secara historis, elektrifikasi pedesaan telah menjadi tantangan besar dan terus menjadi masalah di banyak bagian dunia. Penggunaan teknologi elektrifikasi standar menjadi tidak mungkin di daerah pedesaan karena biaya investasi yang tinggi dan kepadatan beban yang rendah. Oleh karena itu, teknologi distribusi Single Wire Earth Return (SWER) digunakan untuk menyediakan tegangan yang dapat menghemat biaya di daerah pedesaan di mana kargo tersebar dan langka. Sistem SWER menggunakan konduktor tegangan tinggi yang ringan untuk memberi daya pada daerah pedesaan dari jaringan darat utama sebagai rute kembali [5].

SWER memungkinkan penggunaan kabel yang lebih panjang, tiang yang lebih ringan, dan peralatan tiang tinggi yang lebih kecil, yang menghasilkan penghematan biaya awal yang lebih besar dibandingkan dengan sistem distribusi 1-phase 2 wire. Teknologi yang pertama kali diusulkan oleh Mandeno [6], telah terbukti menghemat biaya dalam mendistribusikan listrik ke daerah pedesaan kecil dan tersebar di negara-negara seperti Australia, Namibia, Mozambik dan Afrika Selatan.

II. LANDASAN TEORI

A. Konsep Distribusi Tenaga Listrik di Indonesia

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem kelistrikan. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan energi listrik dari sumber tenaga besar (bulk power source) ke konsumen. Maka fungsi distribusi energi listrik adalah; 1) pendistribusian atau pendistribusian tenaga listrik ke berbagai lokasi (pelanggan) dan 2) subsistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan, karena pasokan tenaga listrik di pusat-pusat beban (pelanggan)

dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV menjadi 24 kV dinaikkan melalui gardu trafo 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV dan kemudian disalurkan melalui saluran transmisi [7].

Tujuan kenaikan tegangan adalah untuk mengurangi disipasi daya pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini disipasi daya sebanding dengan kuadrat arus (I^2R). Pada daya yang sama, dengan meningkatnya jumlah tegangan, aliran arus lebih kecil, sehingga rugi daya juga kecil. Tegangan dari saluran transmisi dikurangi lagi menjadi 20 kV oleh transformator, yang mengurangi tegangan stasiun distribusi, dalam sistem tegangan ini distribusi listrik diwujudkan oleh saluran distribusi utama. Gardu distribusi mengambil tegangan dari saluran distribusi utama ini untuk menurunkan tegangan melalui trafo distribusi ke sistem tegangan rendah. itu adalah 220/380V. Selain itu, didistribusikan melalui saluran distribusi sekunder ke konsumen. Jelas dari sini bahwa sistem distribusi merupakan bagian integral dari sistem energi secara keseluruhan. Selalu gunakan tegangan setinggi mungkin dengan trafo bertahap dalam sistem distribusi daya jarak jauh [7].

Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV dan EHV) tidak hanya tidak sesuai dengan nilai tegangan yang diperlukan di sisi beban, tetapi juga berbahaya bagi lingkungan dan memiliki banyak konsekuensi, termasuk biaya peralatan yang tinggi. Oleh karena itu, di tengah zona beban, tegangan saluran tinggi ini diturunkan lagi dengan menggunakan trafo step-down. Karena itu, ada bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda, mulai dari nilai tegangan dari titik sumber hingga titik beban. Sistem distribusi terdiri dari sistem distribusi primer dan sekunder [7].

B. Single Wire Earth Return (SWER)

Single Wire Earth Return System (SWER) pertama kali ditemukan di Selandia Baru pada tahun 1925, dan pada tahun 1940-an dianggap sebagai solusi pilihan untuk perluasan ekonomi jaringan distribusi daya di daerah pedesaan terpencil di Selandia Baru dan Australia. Saat ini, terdapat lebih dari 200.000 km saluran listrik SWER yang tersebar di seluruh daerah pedesaan di kedua negara [8].

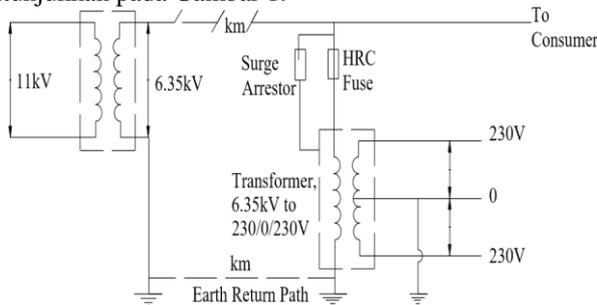
Single Earth Wire Return (SWER) adalah sistem distribusi listrik berbiaya rendah. Ini dikembangkan oleh insinyur Selandia Baru Lloyd Mandeno pada awal 1920-an untuk elektrifikasi pedesaan. Sistem ini masih digunakan di beberapa daerah di Selandia Baru, seperti Negara Raja yang dijuluki 'Jemuran Mandeno'. Itu juga hadir di daerah terpencil Australia di mana lebih dari 150.000 kilometer jalur SWER beroperasi. SWER juga telah digunakan di beberapa bagian Afrika, Brasil, Kanada, dan Amerika Serikat [8].

Sistem ini pada dasarnya adalah suplai satu fasa, yang menggunakan konduktor hidup tunggal dengan ujung lain dari belitan transformator distribusi tegangan tinggi terhubung ke bumi. Hal ini agar arus kembali ke titik netral tegangan tinggi trafo di gardu induk yang menggunakan bumi sebagai konduktor. Ini pertama kali digunakan oleh Dewan Tenaga Listrik Tauranga (EPB) pada tahun 1925 pada jalur pacu 11 kilovolt, dan oleh EPB Teluk Kepulauan

yang baru dibentuk pada tahun 1937 dengan transformator yang dimodifikasi oleh Mandeno untuk menghindari tegangan induksi pada saluran telepon tetangga. Pada 1950-an itu juga digunakan di King Country, Banks Peninsula dan sebagian Otago [8].

C. Konfigurasi Sistem Distribusi SWER

Sistem distribusi SWER memiliki beberapa komponen antara lain trafo isolasi, trafo distribusi, dan jalur pembumian kembali. Konfigurasi sistem distribusi SWER ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi sistem distribusi SWER (Sumber: Peter Armstrong, 2020)

Trafo isolasi membawa saluran dan arus beban dari grid ke pelanggan. Trafo distribusi memiliki sambungan utama dari saluran udara SWER ke bumi. Tegangan terminal sekundernya adalah tegangan konsumen yang beroperasi. Beberapa tiang membawa kabel di atas tiang, yang juga menahan transformator SWER dan peralatan peningkatan kualitas tegangan/daya. Konduktor overhead SWER dan rakitan pole-top adalah penahan untuk perlindungan terhadap lonjakan dan petir.

SWER memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan jaringan distribusi tenaga listrik lainnya. Pertama, desain dan konstruksi SWER sederhana karena merupakan sistem kabel tunggal dengan skema proteksi listrik nonkompleks dan menggunakan jumlah kutub yang sedikit [9]. Konfigurasi kabel tunggal memungkinkan SWER untuk tidak mengalami gangguan line-to-line, sehingga kurang rentan terhadap gangguan dibandingkan dengan sistem SPTW dan TPTW [10]. Indeks keandalan SWER lebih tinggi dibandingkan dengan SPTW dan TPTW. Terlepas dari kelebihan ini, sistem SWER menemui beberapa kemunduran termasuk ketidakmampuan untuk memasok beban tiga fase [11]. Selain itu, sistem SWER hanya dapat memasok area dengan kepadatan beban rendah, dan paling baik digunakan untuk area dengan pertumbuhan lambat. Selanjutnya, sistem SWER dapat ditingkatkan secara bertahap ke tiga fase untuk mengakomodasi pertumbuhan beban di masa depan dengan metode yang sederhana dan murah [12]–[13]. Kasus profil tegangan rendah yang ditemui dalam aplikasi SWER mudah diperbaiki dengan menggunakan kapasitor [11] atau kompensator statis distribusi [14] yang dipasang di lokasi yang telah ditentukan di sepanjang jaringan distribusi.

D. Jatuh Tegangan

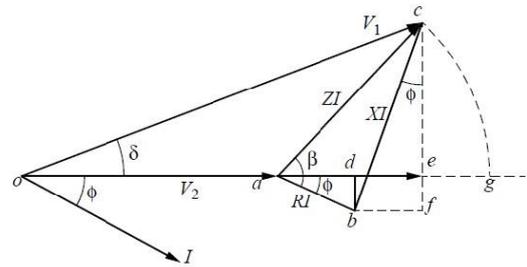
Jatuh tegangan adalah jumlah tegangan yang hilang oleh kawat. Jatuh tegangan pada saluran listrik umumnya berbanding lurus dengan panjang saluran dan muatannya dan berbanding lurus dengan luas penampang konduktor.

Jatuh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada sisi pengirim dan tegangan pada sisi penerima. Jika perbedaan tegangan lebih besar dari standar yang ditetapkan, maka kualitas distribusi rendah [15]. Menurut standar SPLN ditentukan jatuh tegangan pada beban maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominal. Dengan memisalkan saluran distribusi adalah saluran transmisi pendek seperti pada Gambar 2 maka diperoleh bahwa:

$$V_1 = V_2 + Z \cdot I \tag{1}$$

$$V_1 = V_2 + I(R + jX) \tag{2}$$

dimana V_1 = tegangan kirim, V_2 = tegangan terima, I = arus saluran, dimana $I_1 = I_2 = I$



Gambar 2. Diagram Phasor Untuk Faktor Daya Lagging (Sumber: Buku Analisis Sistem Tenaga Listrik, Stevenson, Jr. W.D, 2017)

Pada faktor daya lagging, dapat digambarkan diagram phasor tegangan seperti pada Gambar 2. Dari diagram phasor diketahui bahwa panjang $V_2 = oa$ dan $V_1 = oc = og$. Karena panjang eg besarnya sangat kecil dibandingkan dengan panjang oc atau $eg \ll oc$, maka eg dapat diabaikan sehingga diperoleh: $V_1 = oc = oa + ad + de$, dimana :

$oa = V_2$, $ad = RI \cos \phi$, $de = XI \sin \phi$, maka :

$$V_1 = V_2 + RI \cos \theta + XI \sin \theta \tag{3}$$

$$V_1 - V_2 = RI \cos \theta + XI \sin \theta \tag{4}$$

$$\Delta V = RI \cos \theta + XI \sin \theta \tag{5}$$

dimana $\cos \theta$ = faktor daya.

Jatuh tegangan maksimum didefinisikan dengan persamaan :

$$\Delta V = RI \cos \theta + XI \sin \theta \tag{6}$$

Jika diketahui jarak atau panjang saluran L (km), maka besarnya jatuh tegangan sepanjang penghantar dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta V = LI(R \cos \theta + X \sin \theta) \tag{7}$$

Jatuh tegangan dalam persentase dihitung dengan persamaan :

$$\frac{\Delta V}{V_1} (\%) = \frac{LI(R \cos \theta + X \sin \theta)}{V_1} \times 100\% \tag{8}$$

Keterangan :

ΔV adalah jatuh tegangan (V), V_1 adalah tegangan awal saluran (V), V_2 adalah tegangan ujung saluran (V), R adalah resistansi saluran (Ω /km), dan X adalah reaktansi saluran (Ω /km).

E. Sistem Pentanahan

Salah satu elemen terpenting untuk melindungi rangkaian listrik ialah pentanahan. Sistem pembumian yang dirancang dengan baik diperlukan jika langkah-langkah keamanan yang sesuai diterapkan. Untuk mendapatkan harga tanah, Anda dapat menghitung harga tanah menggunakan rumus berikut [16]:

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (9)$$

Tergantung pada besarnya arus gangguan dan kenaikan tegangan fasa yang tidak terhalang, adalah mungkin untuk menyesuaikan impedansi arde netral. Pemilihan impedansi harus dilakukan secara analitis jika $Z_n = \text{besar}$, jika $I_f = \text{rendah}$ dan $\Delta = \text{tinggi}$ maka sistem pentanahan harus diperbaiki [16]:

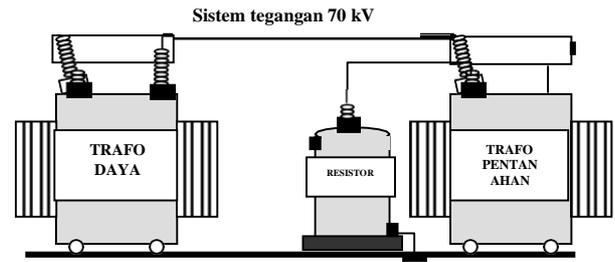
1. Arus gangguan hubung singkat tidak terlalu tinggi, sehingga risikonya tidak terlalu tinggi, namun sensitivitas relai proteksi tetap dapat dipertahankan.
2. Tegangan lebih yang dihasilkan pada fasa tak terputus tidak cukup untuk mempertahankan atau mengurangi tingkat insulasi peralatan. Anda dapat menjamin stabilitas dan kontinuitas load balancing.

Syarat sistem pentanahan yang efektif :

1. Pembuatan jalur *ground* impedansi rendah untuk memastikan keselamatan orang dan peralatan menggunakan sirkuit yang efektif.
2. Itu dapat menahan dan melewati kesalahan umum dan arus yang disebabkan oleh sirkuit surya.
3. Penggunaan sistem mekanik yang kuat, mudah dirawat dan diperbaiki jika terjadi kerusakan. Pada sistem pentanahan, semakin rendah nilai resistansinya maka semakin baik terutama untuk keselamatan manusia dan peralatan, beberapa standar yang disepakati mengharuskan saluran transmisi gardu induk dirancang agar nilai resistansi pembumian sebesar 1 tidak melebihi 1 dari tahanan pembumian pada sistem/sambungan data dan 5 tahanan kecepatan maksimum yang diperbolehkan pada gedung/gedung. Pembumian langsung dari netral generator dikatakan ada bila ada sambungan galvanik antara instalasi dan pembumian tanpa menimbulkan hambatan apa pun. Jika terjadi korsleting, kabel ground sangat besar sehingga tekanan arus lebih berpengaruh daripada tekanan tegangan.
4. Penggunaan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi tanah kimia untuk memastikan kontinuitas penampilan sepanjang umur peralatan yang dilindungi.

F. Pentanahan Transformator

Jika tidak ada nol dalam sistem kelistrikan, ketika sistem harus dibumikan, sistem dapat dihubungkan ke pembumian dengan menambahkan "transformator pembumian" [17].



Gambar 3. Diagram Phasor Untuk Faktor Daya Lagging (Sumber: Grounding System, Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT PLN (Persero), 2017)

Trafo pentanahan dapat terdiri dari trafo zigzag atau trafo star-delta (Y-Δ). Trafo pembumian yang paling umum digunakan adalah trafo zigzag tanpa belitan sekunder.

G. Elektroda Pentanahan dan Tahanan Pentanahan

Resistansi pembumian harus sekecil mungkin untuk menghindari risiko arus bocor pembumian. Kabel netral harus diarde di dekat sumber listrik atau transformator untuk saluran eksternal dan semua peralatan setiap 200 m. Resistansi pembumian elektroda tunggal di dekat catu daya, transformator, atau saluran udara adalah 200 m, bukan 10 m, dan resistansi pembumian instalasi tidak boleh melebihi 5. Seperti disebutkan di atas, ground resistance dianggap sangat rendah. Tersedia. Namun, dalam praktiknya hal ini tidak selalu mudah untuk dicapai, karena ketahanan tanah dapat dipengaruhi oleh banyak faktor [17].

Besar tahanan pentanahan dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini [17]:

1. Faktor elektroda. Berbagai jenis elektroda, seperti batang, pita dan pelat, banyak digunakan.
2. Ukuran dan jenis bahan elektroda. Karena lokasinya di tanah, elektroda dipilih dari bahan tertentu yang memiliki konduktivitas dan ketahanan yang sangat baik terhadap sifat tanah yang berbahaya, seperti korosi. Ukuran elektroda dipilih dengan kontak tanah yang paling efektif.
3. Konfigurasi atau jumlah elektroda. Untuk mencapai ketahanan tanah yang diperlukan dan ketika satu elektroda tidak cukup, beberapa elektroda dengan konfigurasi yang berbeda dapat digunakan untuk pemasangan di tanah.
4. kedalaman tanam di dalam tanah. Penanaman ini tergantung pada jenis dan sifat tanah. Beberapa lebih efektif dalam menanam dalam, sementara yang lain sangat dangkal..
5. Faktor jenis tanah alami: gembur, berpasir, tanah berbatu, dll. Kelembaban Tanah: Semakin tinggi kelembaban tanah atau kadar air, semakin rendah kekuatan tanah. Kandungan mineral tanah: Air tawar adalah isolator yang baik dan lebih banyak garam dapat mengurangi stabilitas tanah tetapi meningkatkan korosi dan suhu tanah: Suhu akan mempengaruhi ketika mencapai titik beku dan rendah. Untuk daerah tropis seperti Indonesia, tidak ada masalah suhu karena suhu tanah di atas nol.

H. Hambatan Jenis Tanah

Faktor penyeimbang antara tahanan tanah dan kapasitansi ambien adalah tahanan tanah, dilambangkan dengan (ρ). Pada daerah dengan kedalaman terbatas, nilai tahanan tanah tidak sama. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketahanan tanah:

1. Sifat struktur tanah meliputi struktur geologi seperti tanah lempung, tanah rawa, tanah berbatu, tanah berpasir, tanah gambut, dan sejenisnya.
2. Unsur-unsur kimia yang ada di dalam tanah, seperti garam, logam, dan mineral lainnya.
3. Tanah basah atau kering.
4. Jenis dan temperatur tanah.

TABEL I. NILAI TAHANAN JENIS TANAH BERDASARKAN STANDAR PUIL

No.	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ω -m)
1	Tanah rawa	30
2	Tanah liat dan tanah ladang	100
3	Pasir basah	200
4	Kerikil basah	500
5	Pasir dan kerikil kering	1000
6	Tanah berbatu	3000

Tingkat tahanan pentanahan pada sistem pentanahan ditentukan oleh jenis tahanan pentanahan. Oleh karena itu, pada saat merancang sistem pentanahan, terlebih dahulu perlu dilakukan pengukuran tahanan pentanahan di lokasi tersebut. Berdasarkan harga tahanan jenis tanah, direncanakan sistem pentanahan.

I. Software Pemodelan dengan OpenDSS

OpenDSS adalah emulator yang digunakan untuk membedah perangkat kerangka kerja alat angkut dengan kapasitas eksekusi program gratis yang dapat digabungkan dengan berbagai tahapan pemrograman lainnya (COM Server DLL). Dibuat pada tahun 1997, DSS awalnya berevolusi untuk mengalahkannya dampak duniawi dan spasial dari jaringan DER dengan menghadirkan gagasan pemeriksaan deret waktu semi tetap (QSTS) di area daya [18]. Untuk menyesuaikan dan mengembangkan aplikasi jaringan yang brilian, DSS berubah menjadi tahap open source 10 tahun setelahnya, dengan lebih dari 65.000 unduhan dan sejumlah besar klien di seluruh dunia. Gambar untuk pemrograman OpenDSS ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Simbol software OpenDSS

(Sumber: Sourceforge, 2022)

Powerflow dengan OpenDSS dapat berjalan dalam berbagai mode solusi, termasuk mode bingkai tunggal, mode siang hari, mode siklus tugas, mode Monte Carlo, dan beberapa mode yang mengubah beban dari waktu ke waktu. Metode untuk mengatur daya, konsumsi daya, tegangan, arus beban, dan informasi lainnya disediakan untuk keseluruhan sistem, elemen individual, dan area tertentu yang diminati. Aliran daya didorong oleh sistem distribusi

radial X / R tinggi dan menggunakan metode Gauss-Seidel, metode Newson-Rafson, dan metode isolasi cepat untuk menyelesaikan nilai node tinggi, yang dilakukan oleh metode aliran daya simulator OpenDSS diselesaikan dengan cepat dan mudah [19].

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Penelitian ini untuk menganalisa sistem distribusi tegangan menengah dengan sistem SWER dan menganalisa sistem pentanahan Trafo Distribusi pada Pulau Panjang, Kab. Serang, Banten. Trafo distribusi terletak di ruang kiri dan tanah di sekitar trafo adalah tanah berpasir kering.

B. Pengambilan Data

TABEL II. DATA BEBAN PENYULANG/ BULAN JANUARI-JUNI 2021

No	Bulan	Beban Puncak					
		Siang			Malam		
		Tgl.	Jam	Amp	Tgl.	Jam	Amp
1	Januari	21	14.00	97.0	02	19.30	150.0
2	Februari	17	11.00	117.0	13	18.00	63.0
3	Maret	19	12.00	130.0	25	18.30	68.0
4	April	21	11.00	139.0	21	18.30	69.0
5	Mei	07	14.00	159.0	08	18.30	71.0
6	Juni	01	12.00	120.0	13	18.30	69.0

TABEL III. DATA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PT PLN UP2D BANTEN

No.	Uraian	Uraian
1	Beban Fasa R	271 A
2	Beban Fasa S	266 A
3	Beban Fasa T	216 A
4	Tegangan Fasa R	400 V
5	Tegangan Fasa S	400 V
6	Tegangan Fasa T	400 V
7	Pentanahan Titik Netral	0.75 ohm
8	Tahanan jenis tanah (Tanah kerikil	1000 ohm
9	Impedansi (Z)	12.6 %

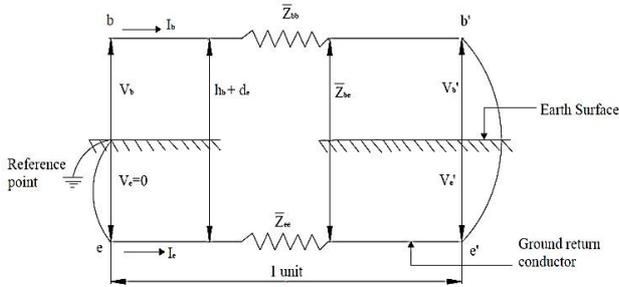
C. Pengukuran

TABEL IV. PENGUKURAN RESISTIVITAS TANAH

Tahanan Jenis Tanah	
Poin	Nilai Tahanan (Ω)
RS1	127
RS2	117
RS3	65
RS4	69.6
RS5	41.7
RS6	48.8
RS7	44.4
RS8	51.3
RS9	45.8
RS10	66.4
Rata-rata tahanan jenis tanah (ρ)	62.42

D. Pemodelan SWER

Model garis SWER dikembangkan berdasarkan jalur balik bumi yang diambil sebagai konduktor dengan radius rata-rata geometrik (GMR) 1 m, resistivitas seragam, dan panjang tak hingga [20], [21]. Jalur balik di bawah permukaan bumi sejajar dengan konduktor overhead tunggal dengan panjang b yang membawa arus I_b [22]. Gambar 5 menunjukkan model representasi saluran udara SWER dengan jalur balik tanah.



Gambar 5. Carson's line model with earth return (Sumber: Irechukwu & Mushi, 2021)

Persamaan (10) menyajikan potensi konduktor overhead V_b karena aliran arus [22]

$$V_b = (z_{bb} + z_{ee} - 2z_{be}) \times I_b \quad (10)$$

Dimana V_b adalah tegangan konduktor overhead, z_{bb} adalah impedansi diri saluran udara, z_{be} adalah impedansi timbal balik antara tanah dan saluran udara, z_{ee} adalah impedansi diri tanah. Menghitung untuk Z_{bb} , persamaan impedansi saluran keseluruhan (11) diterapkan [22]. Impedansi diri dari konduktor overhead, z_{bb} diberikan dalam (12) menurut [23];

$$Z_{bb} = (z_{bb} + z_{ee} - 2z_{be}) \quad (11)$$

$$z_{bb} = R_b + j4\pi f \times 10^{-4} \times \ln\left[\frac{2(h_b + d_e)}{r_b}\right] \quad (12)$$

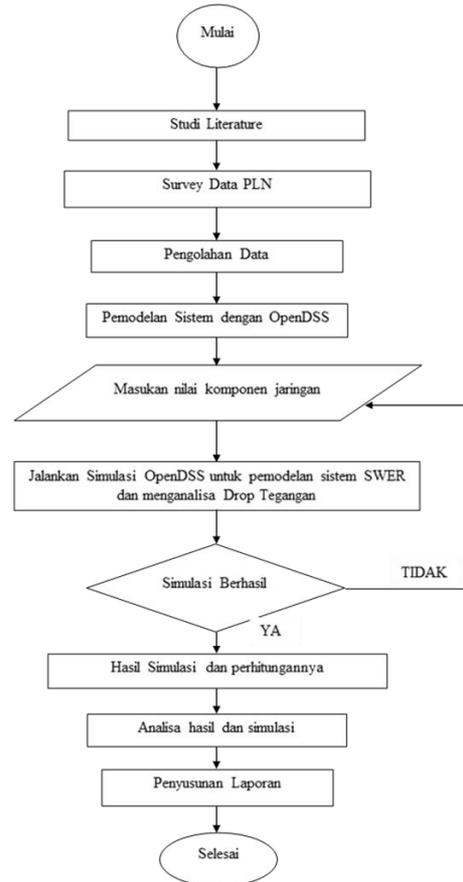
Dimana R_b adalah resistansi konduktor saluran SWER, f adalah frekuensi sistem (50 Hz untuk Indonesia), h_b adalah ketinggian konduktor di atas tanah, d_e adalah kedalaman jalur balik tanah dari permukaan bumi, r_b adalah jari-jari luar konduktor. Impedansi diri konduktor arde, impedansi timbal balik antara saluran udara dan konduktor balik arde, dan potensial arde dapat ditentukan dengan persamaan (13) – (15) [23], [24]

$$z_{ee} = 10^{-4} \times f \times [(\pi^2) - j(0.31\pi) + j4\pi \times \ln(356)] \quad (13)$$

$$z_{be} = j2\pi \times 10^{-4} \times \ln\left[\frac{h_b}{\sqrt{\rho/f}}\right] \quad (14)$$

$$V_e = \frac{\rho \times (V_b)}{2\pi d_e (z_{bb} + z_{ee} - 2z_{be})} \quad (15)$$

E. Diagram Alir Penelitian



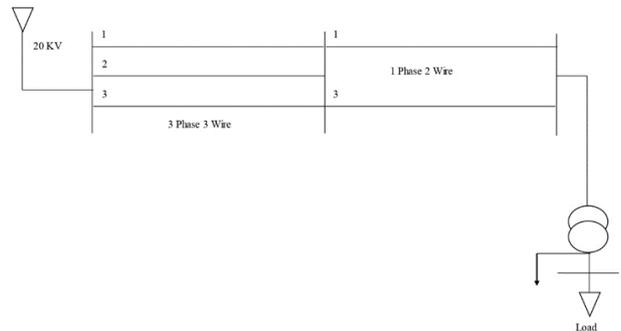
Gambar 6. Flowchart penelitian

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Masalah

Untuk kebutuhan analisa masalah jatuh tegangan pada tegangan menengah dalam penelitian penelitian ini, maka perlu dibuat pemodelan saluran distribusi untuk mempermudah analisa yang akan dilakukan. Untuk melakukan analisis data dalam penelitian ini maka jaringan tegangan rendah dapat dimodelkan atau direpresentasikan sebagai berikut :

1. Pemodelan Sistem Tanpa SWER

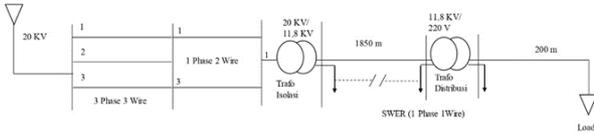


Gambar 7. Diagram satu garis sistem distribusi 1 fase tanpa swer

2. Pemodelan Sistem dengan SWER

Jaringan SWER disuplai dari sistem tiga fase pada tegangan menengah 20 KV. Pemodelan dengan sistem SWER, menggunakan sebuah trafo isolasi antara sisi primer tegangan 20 KV dan pada sisi sekunder tegangan $20KV/\sqrt{3}$ atau 11,8 KV.

Baik sisi primer maupun sisi sekunder dari trafo distribusi ditanahkan dengan tujuan untuk menghilangkan pengaruh arus magnetisasi pada sisi tegangan tinggi terhadap sisi tegangan rendah. Selain itu berfungsi untuk proteksi sistem. Diagram satu garis dari model sistem dengan SWER ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram satu garis distribusi 1 fasa dengan SWER

3. Jatuh Tegangan Tanpa SWER

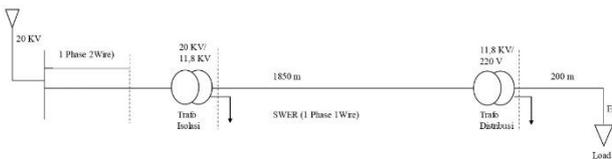
Berdasarkan Gambar 9, besarnya tegangan pada sisi jaringan distribusi sekunder adalah 20 KV. Tegangan phasa 220 Volt digunakan untuk mensuplai beban konsumen. Analisis jatuh tegangan diperoleh dengan menggambarkan sistem seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram analisis jatuh tegangan tanpa SWER

Dalam perhitungan jatuh tegangan, yang akan dihitung adalah mulai dari sisi sekunder trafo distribusi sampai pada ujung saluran tegangan rendah.

4. Jatuh Tegangan dengan SWER



Gambar 10. Diagram analisis jatuh tegangan dengan SWER

Analisis jatuh tegangan diperoleh dengan menggambarkan sistem seperti pada Gambar 10. Pada saluran sepanjang 1850 m tidak terjadi jatuh tegangan karena saluran tersebut bertegangan menengah 11,8 KV. Jatuh tegangan terjadi ketika tegangan 11,8 KV diturunkan oleh trafo distribusi menjadi 220 Volt untuk mensuplai daya ke pelanggan. Gambar 10 menunjukkan bahwa jarak beban dari trafo distribusi semakin dekat.

B. Pembahasan Hasil Analisis

1. Perhitungan Besar Tahanan Pentanahan Transformator Distribusi

Berdasarkan Tabel III dan Tabel IV, maka perhitungan besar nilai tahanan pentanahan

peralatan pada transformator distribusi menggunakan persamaan (9).

$$R = \frac{1000}{4} \sqrt{\frac{3.14}{40}}$$

$$R = 70.04 \Omega$$

Berdasarkan hasil di atas dapat diketahui bahwa nilainya sangat besar, dan untuk kasus tanah kerikil, nilai tahanan jenis tanahnya bisa sangat besar, dan nilai ini tidak dapat dikatakan benar karena adanya kerikil. Tanah tempat itu berada di atas tanah.

2. Tahanan pentanahan dengan Metode Driven Rod
 Dari perhitungan tahanan tanah menggunakan persamaan (9), nilainya masih begitu besar sehingga perhitungan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran metode Batang Penggerak, untuk perhitungan ini dapat dimulai dengan menghitung batang elektroda atau batang sederhana menggunakan persamaan (16)

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{4 \cdot l}{r} - 1 \right) \quad (16)$$

Untuk mencari nilai R pada single rod yaitu diketahui nilai p adalah 62.42 Ω, nilai r adalah 8 mm, dan nilai l = 1.5 m, maka:

$$R = \frac{62.42}{2 \times 3.14 \times 1.5} \left(\ln \frac{4 \times 1.5}{0.008} - 1 \right)$$

$$R = 43.857 \Omega$$

Dalam perhitungannya, data diambil berdasarkan metode pengukuran batang penggerak dan diperoleh tahanan tanah rata-rata dari pengukuran tersebut, namun hasilnya masih sangat besar sehingga perhitungan dilakukan pada dua batang elektroda.

3. Hitung nilai resistansi (R) dari dua elektroda
 Dua batang elektroda menggunakan persamaan (17) menggunakan nilai (S) yang merupakan nilai jarak antar elektroda.

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{4 \cdot l}{r} - 1 \right) + \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot S} \left(1 - \frac{l^2}{3 \cdot S^2} + \frac{2 \cdot S^4}{5 \cdot S^4} \right) \quad (17)$$

$$R = \frac{62.42}{4 \times 3.14 \times 1.5} \left(\ln \frac{4 \times 1.5}{0.008} - 1 \right) + \frac{62.42}{4 \times 3.14 \times 1.5} \left(1 - \frac{1.5^2}{3 \times 5^2} + \frac{2 \times 5^4}{5 \times 5^4} \right)$$

$$R = 35.099 \Omega$$

Pada perhitungan dua batang elektroda nilainya juga masih besar, namun jauh lebih rendah dari perhitungan pada single rod sehingga dilakukan perhitungan dengan desain menggunakan 5 batang elektroda.

4. Perhitungan nilai tahanan dari beberapa batang elektroda

Dari perhitungan satu batang dan dua batang elektroda hasilnya masih besar, jadi perhitungan dilakukan dengan beberapa elektroda dan disini dihitung untuk 5 batang elektroda

a) Menentukan nilai K

$$K = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \quad (18)$$

$$K = \frac{62.42-62.42}{62.42+62.42}$$

$$K = 0$$

b) Menentukan nilai Fo

$$Fo = \frac{L}{1-0.9K} \quad (19)$$

$$Fo = \frac{1.5}{1-0.9 \times 0}$$

$$Fo = 1.5$$

c) Menentukan nilai go

$$go = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \frac{2L}{r} - 1 \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \ln 2 \cdot hb)}{L}} \right] \quad (20)$$

$$go = \frac{1}{2 \times 3.14} \left[\ln \frac{2 \times 1.5}{0.008} - 1 \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \times \ln 2 \times 1)}{1.5}} \right]$$

$$go = 0.356$$

d) Menentukan nilai φ0

$$\varphi_0 = \frac{\frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{1}{1-k} \right)}{\sqrt{\left(\frac{N}{Fo} - 1 \right) + 1^2}} \quad (21)$$

$$\varphi_0 = \frac{\frac{1}{2 \times 3.14} \left(\ln \frac{1}{1-0} \right)}{\sqrt{\left(\frac{5}{3} - 1 \right) + 1^2}}$$

$$\varphi_0 = 0$$

e) Menentukan nilai Ra

$$Ra = \frac{\rho^2}{(L+hb-h)} \times go \times \frac{Fo}{N} \quad (22)$$

$$Ra = \frac{\rho^2}{(L+hb-h)} \times go \times \frac{Fo}{N}$$

$$Ra = 13.332$$

f) Menentukan nilai Rb

$$Rb = \frac{\rho^1}{(2-hb)} \times go \times \frac{Fo}{N} + \frac{\rho^1}{h} \times \varphi_0 \quad (23)$$

$$Rb = \frac{62.42}{(2-1)} \times 0.356 \times \frac{1.56}{5} + \frac{62.42}{1} \times 0$$

$$Rb = 6.933$$

g) Menentukan nilai R total

$$Rt = \frac{1}{\frac{1}{Ra} + \frac{1}{Rb}} \quad (24)$$

$$Rt = \frac{1}{\frac{1}{13.332} + \frac{1}{6.933}}$$

$$Rt = 4.561 \Omega$$

Dari hasil tersebut didapatkan R total ($R_t \leq 5\Omega$), perhitungan ini dapat disimpulkan dengan penambahan banyak elektroda dan kedalaman elektroda, dan pentanahan menggunakan metode beban penggerak trafo PT PLNUP2D Banten. Jadi hasil ini bagus. Ini memenuhi standar yang dikeluarkan oleh Komite Standar Internasional. (IEC).

5. Perhitungan Hasil Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan tanpa SWER diketahui, nilai R adalah $0.181 \Omega/\text{km}$, nilai X adalah $0.104 \Omega/\text{km}$ dan nilai $l = 2.05 \text{ km}$, maka diperoleh :

$$\Delta V = I \times l \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (25)$$

$$\Delta V = 1.75 \times 2.05 \times ((0.18 \times 0.85) + (0.104 \times 0.53))$$

$$\Delta V = 74.66305 \text{ v}$$

Jatuh tegangan dengan SWER diketahui, nilai R adalah $0.181 \Omega/\text{km}$, nilai X adalah $0.104 \Omega/\text{km}$ dan nilai $l = 0.2 \text{ km}$, maka diperoleh :

$$\Delta V = I \times l \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (26)$$

$$\Delta V = 2.966 \times 0.2 \times ((0.18 \times 0.85) + (0.104 \times 0.53))$$

$$\Delta V = 12.34 \text{ v}$$

Besarnya jatuh tegangan pada sistem tanpa SWER jauh lebih besar yaitu 74.66305 Volt sedangkan pada sistem dengan SWER jatuh tegangannya 12.34 Volt untuk jarak konsumen yang sama. Hasil perbaikan ini diperoleh karena pada sistem SWER, jarak trafo distribusi ke titik beban semakin dekat sehingga panjang saluran distribusi tegangan rendahnya semakin pendek. Persentase jatuh tegangan antara kedua sistem jauh berbeda yaitu 33.937% untuk sistem tanpa SWER dan 5.61% untuk sistem dengan SWER. Dari hasil tersebut di atas memperlihatkan bahwa penggunaan sistem SWER pada jaringan tegangan menengah dapat mengatasi jatuh tegangan pada titik beban. Berdasarkan hasil analisis tersebut, maka perbandingan tegangan yang diterima oleh konsumen sebelum dan sesudah ada SWER dapat dihitung dengan hasil seperti pada Tabel V.

TABEL V. PERBANDINGAN TEGANGAN PADA KONSUMEN SEBELUM DAN SESUDAH MENGGUNAKAN SWER

Sistem	Tegangan Kirim V_1	Jatuh Tegangan (ΔV)	Tegangan Kirim V_2	Presentase Drop
Tanpa SWER	20 KV	74.66305	19.925 KV	0.375
Dengan SWER	11,8 KV	12.34	11.7876 KV	0.104

Hasil perbandingan pada Tabel V menunjukkan bahwa dengan menggunakan sistem SWER pada jaringan tegangan menengah untuk daerah pedesaan, maka tegangan pada titik beban hampir stabil. Dengan demikian, maka pelayanan konsumen semakin baik dan memuaskan.

6. Perbandingan Biaya Dengan dan Tanpa SWER

TABEL VI. PERBANDINGAN BIAYA SISTEM DISTRIBUSI

No.	Sistem Jaringan	Biaya (USD)/km MV Line
1	3 Phase three wire	13000 (Rp. 185 juta rupiah)
2	2 Phase two wire	9500 (Rp. 136 juta rupiah)
3	Single Phase two wire	8600 (Rp. 123 juta rupiah)
4	SWER	5200 (Rp. 75 juta rupiah)

(Sumber: Solange)

Tabel VI menunjukkan biaya pembangunan jalur sepanjang satu km dengan empat sistem distribusi terpilih. Dari Tabel dapat dilihat dengan jelas bahwa teknologi dengan biaya terendah adalah SWER dan sistem single phase two wire, sistem dua fase dua kabel masing-masing merupakan solusi biaya rendah berikutnya.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa jatuh tegangan yang cukup besar dalam jaringan tegangan rendah di daerah pedesaan disebabkan oleh jarak trafo distribusi untuk mensuplai seluruh beban sangat jauh dan membutuhkan saluran yang panjang. Dari hasil penelitian didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Hasil analisis diperoleh bahwa jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah untuk pedesaan Pulau Panjang, Kab. Serang, Banten adalah 12.34 Volt atau 5.61 %, dimana jatuh tegangan tersebut memenuhi standar SLA - +10%.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem SWER sangat baik digunakan untuk melayani kebutuhan listrik di daerah pedesaan karena dapat meningkatkan kualitas pelayanan listrik ke konsumen. Hal ini dapat dilihat dari drop voltage yang kecil yaitu 0.104%, semakin kecil drop voltage maka daya listrik yang dialiri akan semakin besar ke konsumennya.
3. SWER bisa menjadi solusi dan cocok untuk diterapkan di sistem distribusi di Indonesia karena mudah dipasang dengan biaya investasi rendah yaitu sekitar 75 juta rupiah dan jika diperlukan dapat ditingkatkan secara bertahap, menjadi dua fase dan/atau tiga fase.

B. Saran

1. Untuk penyelidikan lebih lanjut, hal ini diharapkan dapat berkembang dengan hilangnya trafo distribusi dan jaringan situs sekunder sehubungan dengan konsekuensi dari hilangnya daya pemrosesan data di bagian primer.
2. Dalam konteks elektrifikasi pedesaan untuk negara berkembang, SWER masih merupakan teknologi yang ideal untuk digunakan pada tahap awal elektrifikasi. Isu penting adalah merencanakan jaringan dengan jalur peningkatan dari SWER ke distribusi dua-kawat dan kemudian tiga-kawat tiga-fase. Jalur peningkatan mencakup penggunaan bahan dan peralatan umum yang tetap beroperasi seiring berkembangnya permintaan dan rasio elektrifikasi meningkat.

REFERENSI

- [1] P. P. 2021-2030 RUPTL, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030.," *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga List. 2021-2030*, pp. 2019–2028, 2021.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Program Lisdes Berkontribusi Besar Tingkat Rasio Elektrifikasi," 2014. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/program-lisdes-berkontribusi-besar-tingkat-rasio-elektrifikasi>.
- [3] L. P. Kenegaraan and R. Indonesia, "Lampiran pidato kenegaraan republik indonesia," 2018.
- [4] K. VII and DEWAN PERWAKILAN RAKYAT REPUBLIK INDONESIA, "RANCANGAN UNDANG-UNDANG," p. 173, 2021.
- [5] E. Sector and M. Assistance, "Sub-Saharan Africa : Introducing Low-cost Methods in Electricity Distribution Networks," no. October, 2006.
- [6] P. Wolfs, S. Senini, H. Zadeh, D. Seyoum, A. Loveday, and J. Turner, "Thyristor Controlled Reactor Methods to Increase the Capacity of Single Wire Earth Return Systems," no. May, 2022, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/45342230_Thyristor_Controlled_Reactor_Methods_to_Increase_the_Capacity_of_Single_Wire_Earth_Return_Systems/citation/.
- [7] Suhadi and T. Wrahatnolo, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*, vol. 53, no. 9. 2012.
- [8] "Single Wire Earth Return (SWER) | Engineering New Zealand." <https://www.engineeringnz.org/programmes/heritage/heritage-records/single-wire-earth-return-swer/> (accessed Mar. 12, 2022).
- [9] A. Mushi and M. E. Irechukwu, "Feasibility analysis of using SWER for Homboza village electrification Feasibility Analysis of Using SWER for Homboza Village Electrification," no. October, 2020.
- [10] R. J. Sumaya, B. Nkom, and N. K. C. Nair, "Island power system operation with single-wire earth return (SWER), Solar PV and diesel generation -marinduque, Philippines case study," *2019 29th Australas. Univ. Power Eng. Conf. AUPEC 2019*, 2019, doi: 10.1109/AUPEC48547.2019.214527.
- [11] N. M. Solange, "Power Distribution System and Improvement of," 2017.
- [12] B. Nkom, A. P. R. Taylor, and C. Baguley, "Narrowband Modeling of Single-Wire Earth Return Distribution Lines," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 33, no. 4, pp. 1565–1575, 2018, doi: 10.1109/TPWRD.2017.2775189.
- [13] P. J. Wolfs, "Capacity improvements for rural single wire earth return systems," *7th Int. Power Eng. Conf. IPEC2005*, vol. 2005, pp. 1–8, 2005, doi: 10.1109/ipecc.2005.206925.
- [14] S. J. Mirazimiabarghouei, T. Ahfock, and A. Helwig, "Support Using Four Quadrant DSTATCOM," pp. 228–233, 2016.
- [15] W. A. Oktaviani, D. G. Saputri, and T. Barlian, "Analisis Drop Tegangan Dan Manuver Jaringan Pada Penyulang Kikim Dan Parkit Di Pt. Pln (Persero) Area Palembang," *Electrician*, vol. 13, no. 3, pp. 83–88, 2019.
- [16] Jamaludin, "Petunjuk praktis perancangan pentanahan sistem tenaga listrik," pp. 1–22, 2017.
- [17] M. H. Weik, "Grounding System," *Comput. Sci. Commun. Dict.*, pp. 693–693, 2017, doi: 10.1007/1-4020-0613-6_8078.
- [18] A. T. Procopiou and L. F. Ochoa, "Advanced Planning of PV-Rich Distribution Networks. Deliverable 1. HV-LV modelling of selected HV feeders," no. June, pp. 1–36, 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.13778.71363/1.
- [19] J. T. Putra, I. Istiqomah, R. Khomarudin, and A. Diantoro, "Pengaruh pembangkit photovoltaic sebagai distributed energy resources terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya pada Penyulang Bantul 05 Yogyakarta," *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 15, no. 2, p. 72, 2019, doi: 10.36055/tjst.v15i2.6811.
- [20] L. Mandeno, "Rural power supply especially in back country areas," *Proc. New Zeal. Inst. Eng. Incof overhead line*, vol. 33, pp. 234–271, 1947.
- [21] J. R. Carson, "Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 5, no. 4, pp. 539–554, 1926, doi: 10.1002/j.1538-7305.1926.tb00122.x.
- [22] I. O. Momoh *et al.*, "Effect of an Optimal Conductor Size Selection Scheme for Single Wire Earth Return Power Distribution Networks For Rural Electrification Effect of an Optimal Conductor Size Selection Scheme for Single Wire Earth Return Power Distribution Networks For Rural," vol. 7, no. September, pp. 286–295, 2019.
- [23] M. S. Nirere, C. M. Muriithi, and C. Wekesa, "Voltage Profile Improvement using Switched Capacitors: Case of Single Wire Earth Return Distribution Network," *Www.Ijmer.Com* /, vol. 7, no. 2, pp. 78–85, 2017, [Online]. Available: www.ijmer.com.
- [24] N. Erdagistanli *et al.*, "Feasibility of distributing electric power through single-phase transformers at rural regions of Turkey based on rural characteristic indices," *2017 IEEE Power Energy Conf. Illinois, PECEI 2017*, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/PECEI.2017.7935728.