

KOMPARASI NILAI JATUH TEGANGAN PADA PENYULANG DI GARDU INDUK DENGAN SIMULASI ETAP

Syamsuri¹, M. Rhandika Dharmawan¹, Wirawan Adipradana¹ dan Herlina^{1*}

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Sumatera Selatan
Corresponding author: herlinawahab@unsri.ac.id

ABSTRACT: The electricity system is an integrated system comprising the generation, transmission, distribution and various equipment convenient at the substation. The distribution of electric power from the generating system to the load cannot be divided from the role of the system revealed above. The issue that appears in transmitting electricity is the voltage drop and power losses along the line led to by several circumstances, consisting of the locate of the load distant from the power plant. So the farther away the two, the higher the voltage drop and the power losses. In inclusion, other affecting circumstances are resistance of the transmission or distribution line, transmitting current and power factor in the system or called $\cos \phi$. Voltage drops that arise on transmission and distribution lines cannot be got rid of, but the voltage drop and electrical power losses must not exceed the tolerance limits mentioned in the SPLN 72: 1987 standard. . There are many methods for determining voltage drop values. In this research, comparative calculations of voltage drop values are brought out with conventional calculations and with simulations using the help of ETAP software version 16.0.0. The research was conducted at the Seduduk Putih Substation on the Pigeon Feeder. The results of ordinary calculations obtained a voltage drop value of 3.08% which appears at peak load during the term. The ETAP simulation results illustrate that the voltage drop value that ensues is 2.465%. Comparison explains that there is a contrast in the voltage's value drop received, this is because for ordinary calculations there are some parameters that are overlooked to simplify calculations, while using ETAP software it makes the calculations tight to the actual conditions. The results of the calculation of the voltage drop employing two methods reveal though within the tolerance limits mentioned in the standard.

Keywords : Comparation, Voltage Drop, Simulation, ETAP, Substation

ABSTRAK: Sistem kelistrikan merupakan satu kesatuan sistem yang terdiri dari pembangkit, transmisi, distribusi dan berbagai peralatan yang ada pada gardu induk. Penyaluran daya listrik dari sistem pembangkit menuju ke beban tidak lepas dari peranan sistem tersebut diatas. Permasalahan yang muncul dalam proses penyaluran daya listrik adalah adanya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya sepanjang saluran yang disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain posisi beban yang jauh dari pusat pembangkit. Sehingga makin jauh jarak keduanya maka akan semakin tinggi nilai tegangan jatuh dan rugi-rugi dayanya. Selain itu, faktor yang mempengaruhi lainnya adalah tahanan saluran transmisi atau distribusi, arus saluran dan faktor daya pada sistem atau disebut dengan $\cos \phi$. Jatuh tegangan yang terjadi pada saluran transmisi dan distribusi tidak dapat dihilangkan, namun nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya listrik juga tidak boleh melebihi batas toleransi yang telah ditetapkan pada standar SPLN 72:1987. Ada banyak metode untuk melakukan perhitungan nilai jatuh tegangan. Pada penelitian ini komparasi perhitungan nilai jatuh tegangan dilakukan dengan perhitungan konvensional dan dengan simulasi menggunakan bantuan perangkat lunak ETAP versi 16.0.0. Penelitian dilakukan di Gardu Induk Seduduk Putih Palembang pada Penyulang Merpati. Hasil perhitungan konvensional didapatkan nilai jatuh tegangan sebesar 3,08 % yang terjadi pada beban puncak di siang hari. Sedangkan hasil simulasi ETAP menunjukkan bahwa nilai jatuh tegangan yang terjadi adalah sebesar 2,465%. Komparasi menunjukkan terjadi perbedaan nilai jatuh tegangan yang didapatkan, hal ini disebabkan karena untuk perhitungan konvensional ada beberapa parameter yang diabaikan dengan tujuan untuk mempermudah perhitungan, sedangkan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP perhitungan yang dilakukan lebih mendekati kondisi yang sebenarnya. Hasil perhitungan nilai jatuh tegangan menggunakan dua metode menunjukkan masih dalam batas toleransi yang disebutkan dalam standar.

Kata Kunci: Komparasi, Jatuh Tegangan, Simulasi, ETAP, Gardu Induk.

PENDAHULUAN

Kesatuan sistem kelistrikan yang terdiri dari sistem transmisi, distribusi jaringan tegangan menengah maupun rendah merupakan sistem penyaluran yang

memiliki rentang jarak penyaluran yang panjang. Untuk menyalurkan daya listrik dari suatu pembangkit ke pusat beban berada terkadang harus menempuh jarak puluhan sampai ratusan kilometer. Hal ini merupakan salah satu

penyebab jatuhnya tegangan disisi ujung terima. Selain itu juga beberapa faktor lain adalah resistansi saluran, beban aru, faktor daya atau $\cos \phi$. Akibat dari terjadinya jatuh tegangan ini adalah daya yang diterima disisi beban oleh konsumen berkurang dari rating yang seharusnya.

Nilai jatuh tegangan pada saluran distribusi dibatasi oleh standard yang ditetapkan oleh PLN melalui SPLN 72:1987 adalah sebesar 5% untuk tegangan menengah. Sebelum penelitian ini dilakukan, telah ditelusuri penelitian sejenis yang juga membahas jatuh tegangan dan susut tegangan di beberapa wilayah di Indonesia dan di dunia. Houndedako dkk yang berasal dari politeknik Abomey – Calavi University, Perancis, meneliti cara untuk mengurangi susut daya dan tegangan jatuh di jaringan listrik tegangan rendah dengan cara merekonfigurasi jaringan radial yang sudah ada di system eksisting (Houndedako, 2015). Metode yang digunakan adalah dengan menambahkan sumber energi terbarukan sel surya untuk menambahkan tegangan di sisi ujung terima, hal ini bias dilakukan mengingat system distribusi eksisting tergabung dengan system grid dengan pembangkit energy terbarukan. Berbeda dengan Ymeri yang membahas efek dari masuknya pembangkit listrik terdistribusi terhadap kehilangan energi dan tegangan jatuh yang terjadi di sepanjang saluran distribusi 10 kV (Ymeri, 2014). Di penelitian ini didapatkan bahwa dengan masuknya system pembangkit terdistribusi menyumbang susut daya dan tegangan jatuh yang cukup besar di saluran distribusi yaitu sebesar 28,13%.

Sedangkan di Indonesia, penelitian sejenis dilakukan oleh A. S. Nopianto yang menghitung jatuh tegangan dan susut daya di Rayon Sambas (A.S. Nopianto, 2016). Nilai jatuh tegangan yang diperoleh pada salah satu bus adalah sebesar 5,40 %, hal ini melebihi standard yang berlaku dan upaya yang disarankan untuk mengurangi nilai jatuh tegangan ini adalah dengan mengganti luas penampang penghantar. Suprianto menganalisa tegangan jatuh yang terjadi di saluran distribusi 20 kV pada Rayon Aek Kota Batu area Rantau Prapat (Suprianto, 2018). Hasil perhitungan dan simulasi menggunakan ETAP menunjukkan bahwa nilai jatuh tegangan dan susut daya baik itu ada LWBP maupun pada saat WBP melebihi standard yang ditetapkan (di atas 5%).

Dari penelitian-penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa penting untuk melakukan penelitian mengenai susut daya dan tegangan jatuh di saluran distribusi, hal ini mengingat salah satu indicator dari baiknya kualitas daya listrik adalah nilai jatuh tegangan di sisi ujung terima tidak melebihi standard yang ditentukan oleh PLN dalam hal ini SPLN 72:1987. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jatuh tegangan yang terjadi di jalur distribusi sepanjang penyulang merpati dari Gardu Induk Seduduk Putih. Metode yang digunakan adalah metode perhitungan konvensional dan dibandingkan dengan hasil simulasi yang dibantu oleh perangkat lunak ETAP versi 16.00. Hipotesis penelitian bahwa dengan melakukan perhitungan dan simulasi akan didapatkan nilai jatuh tegangan sebagai upaya untuk

mengantisipasi dan mencari solusi jika terjadi jatuh tegangan yang melebihi standard yang ditetapkan oleh PLN (SPLN 72:1987).

JATUH TEGANGAN DAN PARAMETER YANG MEMPENGARUHINYA

Parameter Saluran

Untuk menyalurkan daya melalui saluran transmisi dan distribusi diperlukan penghantar. Parameter yang terdapat di sepanjang saluran adalah resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Resistansi merupakan nilai tahanan pada penghantar yang memiliki sifat merugikan karena menyebabkan kerugian daya. Nilai tahanan suatu penghantar dapat ditentukan dari persamaan (1) berikut ini (W. D. Stevenson, 1994) :

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \tag{1}$$

Dimana ρ merupakan tahanan jenis penghantar dengan satuannya adaah $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, ℓ merupakan panjang saluran dengan satuannya adalah meter (m) sedangkan A adalah luas penampang penghantar dengan satuan mm^2 .

Untuk mendapatkan nilai induktansi saluran di jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) berikut ini (Zuhail, 1995):

$$L = \left(0,5 + 4,6 \log \frac{D-r}{r} \right) \times 10^{-7} \text{ H / m} \tag{2}$$

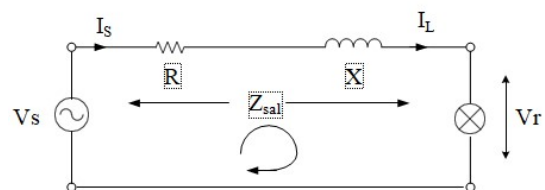
D merupakan jarak antar konduktor dengan satuannya adalah meter, sedangkan r merupakan nilai radius dari masing-masing konduktor dengan satuan meter. Parameter lain yang ada di sepanjang saluran adalah reaktansi induktif, nilainya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) berikut ini (B.L Theraja, 1983):

$$X_L = \omega L = 2\pi \cdot f \cdot L \tag{3}$$

Dimana X_L adalah reaktansi induktif pada saluran dengan satuannya adalah Ω/km , 2π merupakan sudut arus bolak balik dengan satuan radian, dan f adalah rekuensi sistem dengan besaran 50 Hz.

Rugi-Rugi pada Jaringan Distribusi

Setiap penyaluran tenaga listrik dari sumber tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan selalu terjadi kerugian-kerugian. Rangkaian ekivalen saluran distribusi seperti pada gambar 1 berikut ini (w. d. stevenson, 1994):



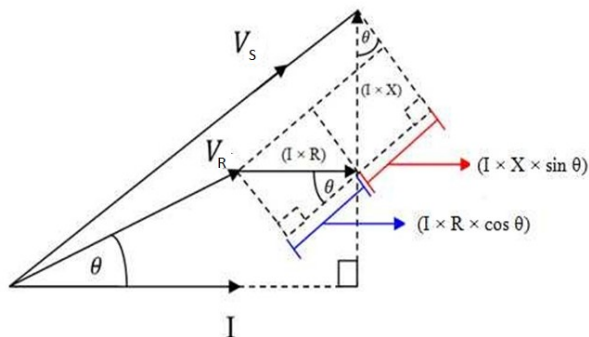
Gambar 1. Diagram pengganti dari saluran distribusi

Jika dilihat pada gambar 1 di atas, V_S adalah tegangan di sisi sumber dengan satuan Volt, V_R adalah tegangan di sisi terima dengan satuan Volt, Z_{sal} merupakan impedansi saluran dalam satuan Ω , I merupakan arus yang mengalir di sepanjang saluran dengan satuannya Ampere, R merupakan resistansi atau tahanan di sepanjang saluran dengan satuannya Ω dan X adalah nilai reaktansi di sepanjang saluran dengan satuannya adalah Ω .

Suatu jaringan distribusi primer dikatakan kondisi tegangannya buruk apabila pada jaringan tersebut variasi tegangannya turun atau naik lebih dari tinggi dari harga yang diizinkan, sehingga mempengaruhi peralatan-peralatan listrik konsumen. Timbulnya penurunan tegangan pada jaringan diakibatkan oleh adanya jatuh tegangan pada jaringan/saluran atau peralatan yang membangun sistem jaringan distribusi primer tersebut. besarnya jatuh tegangan pada jaringan distribusi primer didefinisikan sebagai selisih tegangan antara sisi pangkal pengirim (v_s) dengan tegangan pada sisi ujung penerima (v_r), atau dapat ditulis seperti pada persamaan 4 berikut (W. D. Stevenson, 1994) :

$$\Delta V = V_S - V_R \tag{4}$$

Rangkaian ekivalen saluran pada gambar 1 dapat diuraikan menjadi diagram vektor arus dan tegangan untuk beban dengan sudut daya tertinggal seperti yang tergambar di gambar 2 berikut ini (W. D. Stevenson, 1994) :



Gambar 2. Diagram fasor pengganti saluran distribusi

Untuk mendapatkan susut tegangan (ΔV) distribusi primer dengan sistem pendekatan seperti pada diagram vektor diatas yaitu dengan mengasumsikan bahwa V_S dan V_R berhimpitan. Pada gambar 2 di atas dapat dilihat bahwa persamaan tegangan di sisi kirim dan terima yang mendasari diagram vektor tersebut adalah sebagai berikut :

$$V_S = V_R + I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \tag{5}$$

Jika $I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$ sama dengan I_Z , maka persamaan 5 di atas menjadi:

$$V_S = V_R + I.Z \text{ atau } V_S - V_R = I.Z \tag{6}$$

Sehingga $\Delta V = I.Z$, maka :

$$\Delta V = I(R + X) \tag{7}$$

Besarnya nilai susut tegangan pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8) berikut ini :

$$\% V = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \tag{8}$$

Untuk menghitung besarnya susut tegangan pada jaringan distribusi tiga fasa dapat menggunakan persamaan (9) berikut ini:

$$\Delta V(3\phi) = \sqrt{3}.I.(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \tag{9}$$

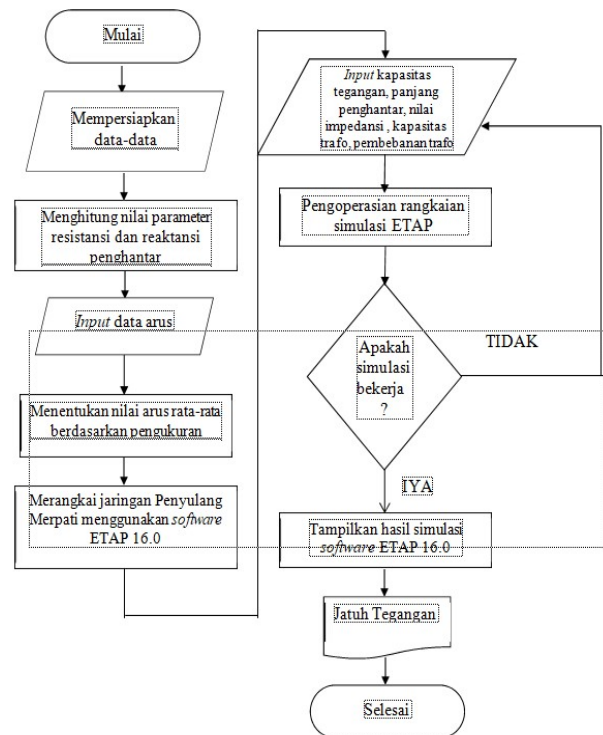
Dimana ΔV adalah jatuh tegangan dalam satuan Volt, R merupakan resistansi dengan satuannya Ω , jX adalah reaktansi sepanjang saluran dalam Ω dan Z adalah impedansi sepanjang saluran dalam satuan Ω .

Persamaan-persamaan di atas digunakan dalam penelitian ini untuk menghitung susut tegangan di sepanjang saluran distribusi di penyulang merpati dari Gardu Induk Seduduk Putih.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan jatuh tegangan dengan metode perhitungan konvensional dan dengan menggunakan simulasi ETAP versi 16.00. Data Penyulang didapat dari PT. PLN (Persero) Rayon Rivai pada penyulang Merpati Gardu Induk Tegangan Menengah.

Alur penelitian mengikuti rangkaian kegiatan yang terangkum pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Adapun data yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai jatuh tegangan adalah data beban, panjang saluran, jenis penghantar dan impedansi penghantar, selain itu juga diperlukan data rating transformator pada gardu yang diteliti. Tabel 1 berikut ini adalah tabel data spesifikasi dari transformator pada gardu induk Seduduk Putih.

Tabel 1. Data Spesifikasi Transformator

Parameter	Satuan
Kapasitas	: 25,5 MW
Frekuensi	: 50 Hz
Tegangan Primer	: 66 kV
Tegangan Sekunder	: 18,7 kV
No. Seri	: P30HE137
Impedansi	: 11,49%
Jenis Pendingin	: ONAF
Lambang Hubungan	: Yyn0/Ynd5
Tahun	: 2003
Jenis Minyak	: Mineral Oil
Berat Minyak	: 10.200 kg
Total Berat	: 46.200 kg
Trafo	: 3 phasa
Merk	: UNINDO

Data beban rata-rata seluruh penyulang di gardu induk seduduk putih didapatkan dari PT. PLN (Persero) WS2JB pada bulan Mei, dan dapat dilihat pada table 2 berikut ini:

Tabel 2. Data Beban Rata-Rata Penyulang GI Seduduk Putih

Nama Penyulang	Beban Puncak					
	Siang			Malam		
	Arus (A)	Teg. (kV)	Daya (MW)	Arus (A)	Teg. (kV)	Daya (MW)
Trafo 1-30 MVA/70-20 kV	594	20	18.5	668	20	20.8
Kacer	136		4.24	148		4.61
Beo	121		3,77	169		5.26
Kenari	153		4.77	215		673
Merak	155		4.83	152		4.73
Pipit	78		2.43	64		1.99
Trafo 2-30 MVA/70-20 kV	866	20	24.54	791	20	24.6
Murai	185		5.76	189		5.89
Merpati	191		5.95	179		5.57
Walet	178		5.54	186		5.79
Kutilang	284		8.84	253		7.88

(PT. PLN, 2017)

Untuk menghitung susut tegangan, diperlukan panjang saluran distribusi. Data ini didapatkan dari PT. PLN (Persero) WS2JB dari rekap panjang penyulang area Palembang pada bulan November. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Data Panjang Saluran Penyulang GI Seduduk Putih

No	Penyulang	Rayon	Panjang Saluran (kms)
1	Kacer	Kenten	5,33
2	Beo	Kenten	11,559
3	Kenari	Kenten	12,233
4	Merak	Kenten	0,50
5	Pipit	Rivai	7,625
6	Murai	Rivai	20,84
7	Merpati	Rivai	11,471
8	Walet	Kenten	30,037
9	Kutilang	Kenten	12,78

(PT. PLN, 2017)

Data untuk resistansi dan reaktansi saluran distribusi didapatkan berdasarkan jenis penghantar yang digunakan pada saluran distribusi. Untuk Penyulang ini, digunakan penghantar udara tipe AAAC, seperti yang terlihat pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Data Resistansi (X) dan Reaktansi (X_L) penghantar AAAC

Penampang Nominal (MM ²)	Jari-jari (mm ²)	URAT	GMR	Impedansi urutan positif (Ω/KM)	Impedansi urutan nol (Ω/KM)
16	2,2563	7	1,6830	2,0161 + J 0,4036	2,1641 + J 1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + J 0,3895	1,4384 + J 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + J 0,3790	1,0697 + J 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + J 0,3678	0,7932 + J 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4068 + J 0,3572	0,6088 + J 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3396 + J 0,3449	0,4876 + J 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + J 0,3376	0,4168 + J 1,6251
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + J 0,3305	0,3631 + J 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + J 0,3239	0,3224 + J 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + J 0,3158	0,2824 + J 1,6033

(SPLN 64: 1985)

Selain penghantar AAAC juga diperlukan data impedansi yang sesuai dengan SPLN 41-8:1981, yang dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Impedansi Kabel tanah dengan Penghantar AL

A (mm ²)	R (Ω/K M)	L (MH/ KM)	C (MF/ KM)	Impedansi Urutan Positif (Ω/KM)	Impedansi Urutan Nol (Ω/KM)
150	0,206	0,33	0,26	0,206 + J 0,104	0,356 + J 0,312
240	0,125	0,31	0,31	0,125 + J 0,097	0,275 + J 0,029
300	0,100	0,30	0,34	0,100 + J 0,094	0,250 + J 0,282

(SPLN 41-8 : 1981)

Proses selanjutnya adalah proses perhitungan nilai R_{t2} pada temperature operasi konduktor dan perhitungan nilai reaktansi induktif (X) konduktor.

XLPE 150 mm² memiliki panjang saluran sepanjang 3,591 km dengan nilai resistansi sebesar 0,253 ω /km dan reaktansi induktif sebesar 0,104 ω /km. Hasil simulasi menggunakan ETAP menunjukkan nilai jatuh tegangan sebesar 2,465 % di saat terjadi beban puncak di siang hari.

Nilai jatuh tegangan pada penyulang merpati dibawah 5 % atau dibawah standard spln 72 : 1985. Dari kedua jenis perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa hasil perhitungan dengan simulasi ETAP lebih akurat dan bisa diandalkan. Hasil keduanya tidak jauh berbeda dibandingkan dengan perhitungan manual, program ini juga termasuk program dengan efisiensi perhitungan yang baik karena dapat menghitung tegangan pada tiap-tiap cabang pada rangkaian yang telah dibuat khususnya untuk aliran daya saluran sistem distribusi.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan simulasi dapat diambil kesimpulan bahwa hasil jatuh tegangan keduanya menunjukkan masih dalam batas toleransi dan masih dibawah standard PLN no 72 tahun 1987 yaitu sebesar 5%. Perbedaan nilai jatuh tegangan antara kedua metode dikarenakan pada perhitungan konvensional terdapat beberapa parameter yang diabaikan untuk mempermudah proses perhitungan.

Untuk memperkecil nilai jatuh tegangan pada tiap penyulang, disarankan untuk melakukan pemerataan beban atau menyeimbangkan beban di tiap penyulang atau dengan cara menambah gardu sisipan di antara beban yang padat.

DAFTAR PUSTAKA

- Houndedako, S; Hounan. A.C; Aredjodoun. G. (2015). Reduction of on-line losses and Voltage Drops in an Electrical Grid Low Voltage. 2015 International Conference and Workshop on Computing and Communication (IEMCON), 03 December 2015, Vancouver, BC, Canada.
- Nopianto., A.S. (2016). Perhitungan Jatuh Tegangan dan Susut Daya serta Upaya Perbaikan Penyaluran Daya Listrik pada PT. PLN (Persero) Rayon Sambas. Dalam Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, Vol. 2 No. 1, 2018. Universitas Tanjungpura, Indonesia.
- PT. PLN (Persero) (1987). Standard Tegangan Jatuh dan Susut Daya. SPLN 72:1987, Jakarta, Indonesia.
- PT. PLN (Persero) WS2JB. (2017) Data Spesifikasi Transformator. PT. Unindo, Indonesia.
- PT. PLN (Persero) WS2JB. Data Beban Rata-Rata Penyulang Merpati Gardu Induk Seduduk Putih. Sumatera Selatan. Indonesia.
- PT. PLN (Persero) WS2JB. Data Panjang Saluran Penyulang Gardu Induk Seduduk Putih. Sumatera Selatan. Indonesia.
- PT. PLN (Persero) (1985). Data Resistansi dan Reaktansi Penghantar AAAC. SPLN 64;1985. Jakarta. Indonesia.
- PT. PLN (Persero) (1981). Impedansi Kabel Tanah dengan Penghantar AL. SPLN 41-8;1981. Jakarta. Indonesia
- Stevenson, jr, william d. (1994). Analisis Sistem Tenaga Listrik, terj. ir. kamal idris, jakarta: penerbit erlangga
- Suprianto. (2018). Analisa Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kV PT. PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu. Journal of Electrical Technology, Vol. 3 Bo. 2, Juni 2018.
- Theraja, B.L. (1983). Worked Examples in Electrical Technology. New Delhi: S.Chand & company.ltd.
- Ymeri. Al Dervishi, L; Qorolli. A. (2014). Impacts of Distributed Generation in Energy Losses and Voltage Drop in 10 kV Line in the Distribution System. 2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON). 13-16 May 2014. Cavtat, Croatia.
- Zuhul. (1995). Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta: Gramedia.