

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian yang Relevan

Dalam penelitian ini, peneliti menyusun beberapa sumber referensi yang digunakan untuk melakukan analisis pengaruh pembangunan gardu hubung hasanuddin terhadap sistem distribusi tenaga listrik jaringan tegangan menengah (JTM) 20 KV pada PT PLN (persero) UP3 Timika. Fokus penelitian adalah menghitung rugi daya dan jatuh tegangan, dan tujuan utama dari penelitian ini adalah membahas berapakah nilai rugi daya dan jatuh tegangan yang terjadi serta dampak Pembangunan gardu hubung terhadap sistem jaringan tegangan menengah UP3 Timika.

Fajar Nugraha tentang “Analisis Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Sistem Distribusi Penyulang Krapyak 06 Semarang Barat Menggunakan Etap 16.0.0” (2020), Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung besarnya nilai rugi dan jatuh tegangan pada sistem distribusi 20 kV menggunakan metode perhitungan manual dan simulasi menggunakan Software Etap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata jatuh tegangan yang terjadi adalah 0,9098%, dan rata-rata rugi daya sebesar 0,765%, yang masih berada dalam batas toleransi yaitu sebesar $<5\%$ sesuai standar SPLN no. 72 tahun 1987. Penelitian ini relevan dengan skripsi ini karena membahas dua aspek utama sistem distribusi yaitu rugi daya dan jatuh tegangan. Serta penggunaan *software* simulasi sebagai alat bantu analisis seperti pada skripsi ini.

Andy Frediansyah tentang “Analisis Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Menengah Penyulang Pandean Lamper 06 Di PT PLN (Persero) Area Semarang “ (2018) menunjukkan bahwa Rugi daya listrik tidak dapat dihilangkan akan tetapi dapat diminimalisir dengan cara memperkecil tahanan konduktor atau penghantar dengan cara memperbesar luas penampang konduktor atau penghantar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai jatuh tegangan sebesar 2,35% dan rata-rata rugi daya sebesar 4,62% yang masih berada dalam batas toleransi yaitu sebesar $<5\%$ sesuai standar SPLN 1 : 1995. Penelitian ini relevan karena membahas secara jatuh tegangan yang menjadi pembahasan dalam skripsi ini.

Isla Juniart Muhdar dan Suherman Yunus tentang “Evaluasi *Drop* Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv *Feeder* Bojo PT PLN (Persero) Rayon Mattirotasi “ (2013) menunjukkan bahwa penyebab Jatuh tegangan tergantung dari panjang penghantar, besar arus saluran, jenis impedansi, dan jenis penghantar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai drop tegangan sebesar 1,058% yang masih berada dalam batas toleransi yaitu sebesar $<5\%$ sesuai standar SPLN no. 72 tahun 1987. Dengan penggantian penampang lebih besar dapat memperbaiki nilai dari jatuh tegangan. Penelitian ini relevan karena membahas secara spesifik fenomena Drop tegangan yang menjadi pembahasan skripsi ini, dan dapat menjadi pembanding terhadap Pembangunan infrastruktur seperti Gardu Hubung dalam mengatasi penurunan tegangan pada jaringan distribusi.

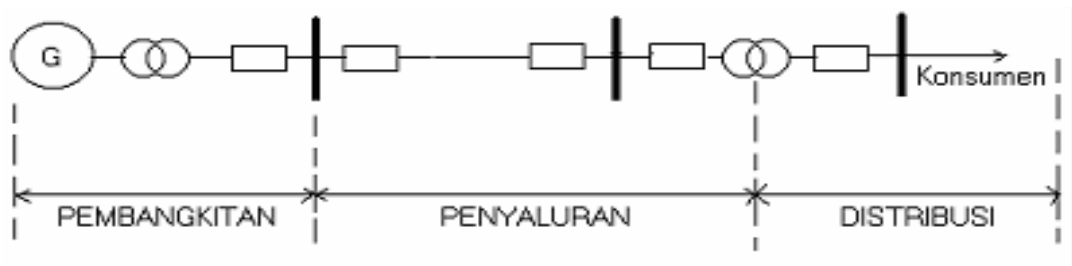
Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa Pembangunan Gardu Hubung memiliki pengaruh yang signifikan terhadap rugi daya, jatuh tegangan dan kerugian biaya. Penelitian ini melengkapi kajian-kajian sebelumnya dengan fokus pada wilayah PT PLN UP3 Timika.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. *Sistem Tenaga Listrik*

Fikri, M., Christiono., Garniwa, I., Abduh, S., Juwita, K., Raafid, H., Salmah, D., & Luthfiansyah, M.,. *The Effect Of Addition Of Coal Fly Ash As Filler In Silicone Rubber Polymer Isolaytor Materials On The Characteristics Of Tensile Strength And Elongation. In Proceedings of the International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICTPEP) (pp. 166–172). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICTPEP63827.2024.10733400>, (2025).*, menyatakan bahwa dalam sektor ketenagalistrikan, perancangan jaringan transmisi dan distribusi yang efisien merupakan faktor utama untuk memastikan penyaluran energi listrik yang stabil dan dapat diandalkan bagi pengguna. Kualitas sistem tenaga listrik hanya dapat dipertahankan melalui perencanaan yang cermat serta penentuan material yang sesuai dalam penerapan peralatan proteksi dan kesiapan sistem secara berkesinambungan.

Secara umum, sistem tenaga listrik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1 pada dasarnya terdiri atas tiga komponen utama.



Gambar 2. 1 Sistem Listrik dimulai dari pembangkitan hingga kepada konsumen

a. Sistem Pembangkitan

Sistem pembangkitan energi listrik terdiri atas beberapa unit pembangkit yang umumnya terletak di lokasi-lokasi terpencil atau berjauhan dari kawasan perkotaan maupun pusat beban. Setiap fasilitas pembangkit biasanya dilengkapi dengan lebih dari satu unit pembangkit, yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan pasokan energi listrik serta tersedianya infrastruktur dan fasilitas penunjang yang mendukung operasional sistem tersebut.

b. Sistem Penyaluran / Transmisi

Sebelum energi listrik yang dihasilkan oleh unit pembangkitan dialirkan menggunakan jaringan transmisi, tahap awal yang dilakukan adalah meningkatkan tegangan keluaran dari generator ke tingkat tegangan yang lebih tinggi dari sebelumnya. Proses ini disesuaikan dengan standar yang berlaku pada sistem transmisi yang telah dirancang sebelumnya. Di Indonesia, tingkat tegangan transmisi yang lazim digunakan mencakup 70 kV, 150 kV, serta 500 kV.

c. Sistem Distribusi

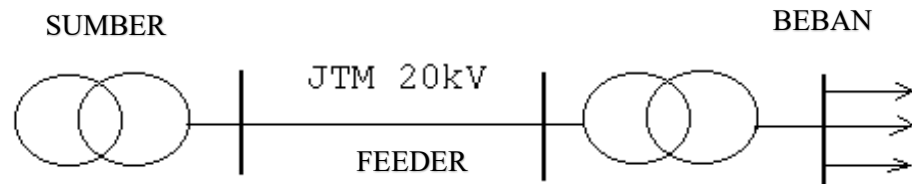
Sistem distribusi tenaga listrik mencakup seluruh jaringan tegangan menengah (TM) sebesar 20 kV hingga maksimum 35 kV, serta jaringan tegangan rendah (TR) sebesar 230/400 V, sebagaimana diatur dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000. Sistem ini melayani penyaluran energi listrik hingga mencapai meter pelanggan atau konsumen akhir.

2.2.2. Bentuk Jaringan Distribusi

Secara umum, terdapat tiga bentuk dasar atau tipe utama dari sistem/struktur jaringan distribusi, yaitu :

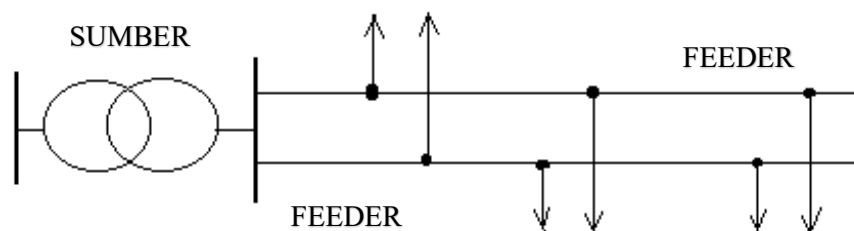
a. Sistem *Radial Open*

Sistem *radial* adalah bentuk jaringan yang paling sederhana yang menghubungkan beban ke titik sumber gambar berikut.



Gambar 2. 2 Struktur *radial*

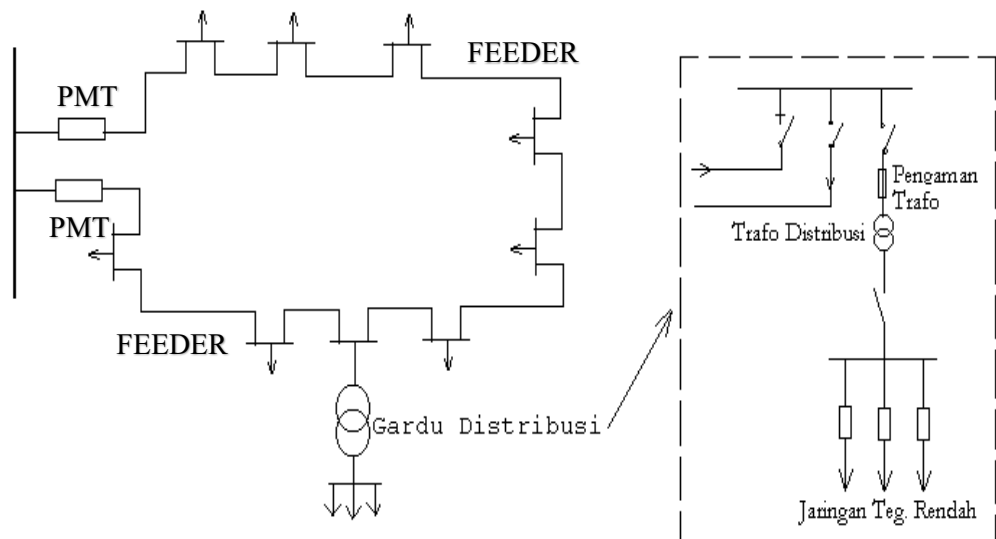
Dalam sistem atau struktur jaringan *radial*, tidak terdapat sumber pasokan cadangan, sehingga keandalannya tergolong rendah. Meskipun demikian, sistem ini unggul dalam hal biaya investasi yang lebih ekonomis serta kemudahan dalam pengaturan tegangan. Untuk meningkatkan kinerja dan keandalan jaringan, terutama jika jalur sirkuitnya tidak sama. Penerapan sistem *radial* ganda merupakan solusi yang cukup efisien yang ditunjukkan pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 Sistem Radial Paralel

b. Sistem Rangkaian Tertutup (*Loop Circuit*)

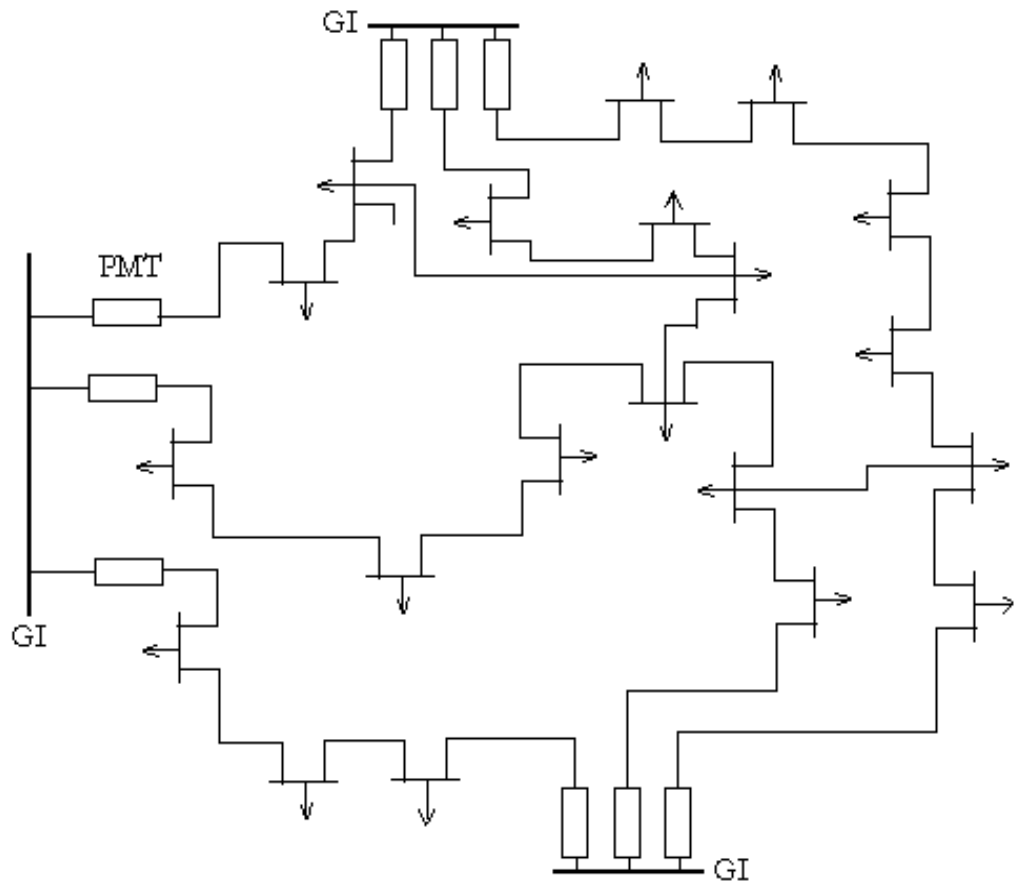
Pada Jaringan tegangan menengah, struktur sistem tertutup seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah memungkinkan adanya alternatif sumber pasokan dari gardu-gardu distribusi, sehingga keandalannya cenderung lebih tinggi. Namun, jika terjadi gangguan pada jaringan primer, pemutus beban di Gardu Induk (GI) akan terbuka, yang mengakibatkan seluruh gardu distribusi mengalami pemadaman.



Gambar 2. 4 Struktur *Loop*

c. Sistem *Mesh*

Jaringan tegangan menengah memiliki struktur yang kompleks, karena mengutamakan kontinuitas penyaluran daya dan kualitas pelayanan kepada konsumen. Seperti ditunjukkan pada gambar di bawah, sistem distribusi *primer* dapat menggunakan struktur *Grid* atau *Mesh* (anyaman). Struktur ini biasanya diterapkan pada area dengan tingkat kepadatan beban yang tinggi dan memerlukan tingkat keandalan yang tinggi pula.



Gambar 2. 5 Sistem Mesh

Pemilihan jenis struktur jaringan disesuaikan dengan tingkat kebutuhan layanan di masing-masing unit PLN guna mendukung kualitas pelayanan penyaluran listrik ke pelanggan. Adapun kualitas pelayanan ini mencakup beberapa aspek utama, seperti :

- Keandalan atau kontinuitas suplai listrik
- Stabilitas dalam pengaturan tegangan
- Batas toleransi terhadap tegangan kedip yang diperbolehkan

2.2.3. *Komponen-Komponen Saluran Distribusi*

Komponen-komponen tersebut di antaranya:

a. Penghantar

Penghantar merupakan elemen dalam sistem distribusi yang memiliki fungsi untuk menyalurkan energi listrik dari sumber menuju ke beban.

Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, jenis penghantar yang umum dikenal antara lain adalah:

- Hantaran Udara (Saluran Udara)
- Kabel Tanah

b. Kabel (*Cable*)

Kabel (*Cable*) merupakan salah satu media penghantar listrik yang tersusun dari dua komponen utama, yaitu:

- Penghantar
- Isolasi

c. Hantaran Udara

Hantaran udara atau yang lebih dikenal dengan Saluran Udara Jaringan Tegangan Menengah merupakan media penghantar energi listrik yang digunakan untuk instalasi di luar bangunan. Umumnya, jenis penghantar yang digunakan adalah hantaran telanjang (*bare conductor*), yang digerai sepanjang isolator dan ditopang oleh tiang yang dipasang untuk keperluan tersebut.

Tabel 2. 1 Perbandingan sifat-sifat fisik penghantar tembaga dan aluminium

Jenis sifat	Tembaga (Cu)	Aluminium (Al)
Berat jenis (kg/dm ³)	8,94	2,7
Kekuatan renggangan (kg / cm ²)	3910	1880
Modulus elastisitas (kg /cm ²)	792	1203
Titik peleburan (°C)	1884	657
Koef muay (mikro /°C)	24,7	17,7
Kond. Panas (W/cm ² /°C)	3,86	2,21
Tahanan jenis elektrik (W.mm ² /m)	0,0178	0,0278

d. Tiang penyangga saluran

Tiang-tiang pada jaringan distribusi memiliki fungsi utama sebagai penyangga lengan silang (*cross-arm*) serta berbagai peralatan perlengkapan lainnya seperti *isolator*, *arrester*, dan penghantar.

e. Isolator

Isolator merupakan komponen dalam sistem distribusi. Fungsi utamanya adalah untuk menghindari terjadinya hubungan singkat antar saluran fasa, serta mencegah kebocoran arus listrik ke tanah melalui struktur pendukung seperti tiang. Fikri, M., Christiono., Garniwa, I., Abduh, S., Juwita, K., Raafid, H., Salmah, D., & Luthfiansyah, M.,. *The Effect Of Addition Of Coal Fly Ash As Filler In Silicone Rubber Polymer Isolaytor Materials On The Characteristics Of Tensile Strength And Elongation. In Proceedings of the International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICTPEP) (pp. 166–172). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICTPEP63827.2024.10733400>, (2025).*., menyatakan bahwa sebagian besar material isolator yang digunakan pada sistem tenaga listrik di Indonesia masih berbahan porselen/keramik dan kaca. Isolator jenis ini memiliki keunggulan dari segi biaya yang relatif rendah, mampu beroperasi pada berbagai kondisi lingkungan, serta mempunyai sifat dielektrik dan termal yang baik. Meskipun

demikian, isolator tersebut juga memiliki keterbatasan dari sisi mekanis, yaitu memiliki massa yang besar, bersifat rapuh, serta permukaannya cenderung mudah menyerap air. Keadaan ini menyebabkan terbentuknya arus bocor pada permukaan isolator menjadi lebih mudah, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan atau kegagalan isolasi.

Christiono., & Garniwa, I., Fikri, M., Abduh, S., Muslim, R., Shyafira, M., Alvin, K., & Bondan, M.,. *Increasing The Quantity Efficiency Of Coal Fly Ash Mixture In Silicone Rubber Polymer Insulator Material To Reduce Leakage Current In Salt Mist Contaminants. In Proceedings of the International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICTPEP)* (pp. 170–176). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICTPEP63827.2024.10732893>, (2025), menyatakan bahwa Isolator merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai pemisah antara dua atau lebih konduktor agar tidak terjadi kebocoran arus maupun peningkatan gradien tegangan yang dapat memicu terjadinya loncatan bunga api (flashover). Jenis isolator yang umum digunakan saat ini meliputi isolator berbahan kaca dan keramik. Kedua jenis isolator tersebut memiliki massa jenis yang relatif besar sehingga penggunaannya dapat menambah beban mekanis pada menara transmisi akibat berat materialnya. Oleh karena itu, dikembangkan jenis isolator alternatif berupa isolator polimer. Isolator polimer memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan isolator konvensional, antara lain bobot yang lebih ringan dan massa jenis material yang lebih rendah dibandingkan isolator keramik maupun kaca sehingga lebih mudah dalam proses pemasangan dan penanganan. Selain itu, isolator polimer umumnya memiliki desain geometris yang sederhana dengan jarak rambat (creepage distance) yang relatif panjang, serta menunjukkan ketahanan yang baik terhadap pencemaran lingkungan karena sifat materialnya yang hidrofobik atau mampu menolak air.

Christiono, C., Luthfiansyah, Fikri, M., Maharani, D., & Alvin, K. *Effect Of Temperature On The Dielectric Properties Of Silicone Rubber Polymer Insulator Filled With Coal Fly Ash. In Proceedings of the 5th International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS)* (pp. 606–613). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS66913.2025.11351258>, (2025), menyatakan bahwa

Isolator berfungsi sebagai elemen pendukung utama dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik, khususnya dalam proses penyaluran energi dari pembangkit menuju pelanggan, sekaligus menjamin aspek keselamatan dan keamanan operasi. Kegagalan isolator berpengaruh langsung terhadap kinerja sistem distribusi dan dapat memicu terjadinya gangguan berupa pemadaman, kebakaran, maupun kecelakaan listrik yang berdampak pada kerugian harta benda dan korban jiwa.

f. Lengan silang

Lengan silang diperlukan sebagai tempat untuk meletakkan isolator.

g. *Transformator* Distribusi

Transformator distribusi berfungsi sebagai pembagi atau penyalur arus listrik dengan tegangan distribusi.

h. Gardu Hubung

Gardu Hubung (GH) merupakan instalasi kelistrikan yang berfungsi sebagai fasilitas memanuver sebagai upaya pengendalian beban listrik, baik dalam kondisi gangguan aliran listrik, pelaksanaan program pemeliharaan, maupun dalam rangka menjaga kontinuitas pelayanan tenaga listrik.



Gambar 2. 6 Tampak Dalam Gardu Hubung



Gambar 2. 7 Tampak Luar Gardu Hubung

2.2.4. *DIGSILENT PowerFactory*

DIGSILENT PowerFactory adalah *software* yang digunakan untuk analisis sistem tenaga listrik. Dikembangkan oleh perusahaan software perencanaan tenaga listrik. Digsilent menyediakan platform yang kuat dan komprehensif untuk analisis sistem tenaga Listrik yang meliputi analisis *steady-state*, analisis transien, analisis harmonik, dan analisis dinamik. Perangkat lunak ini memungkinkan insinyur tenaga listrik untuk memodelkan sistem tenaga listrik dengan akurat, menganalisis kinerja sistem, dan mengidentifikasi masalah potensial. *DIGSILENT PowerFactory* juga menawarkan berbagai analisis yang canggih, seperti analisis stabilitas sistem, analisis koordinasi proteksi, analisis kualitas daya, dan analisis harmonik. Ini memungkinkan insinyur untuk mengidentifikasi masalah seperti gangguan sistem, kehilangan tegangan, atau resonansi harmonik yang dapat mempengaruhi kinerja sistem tenaga listrik.

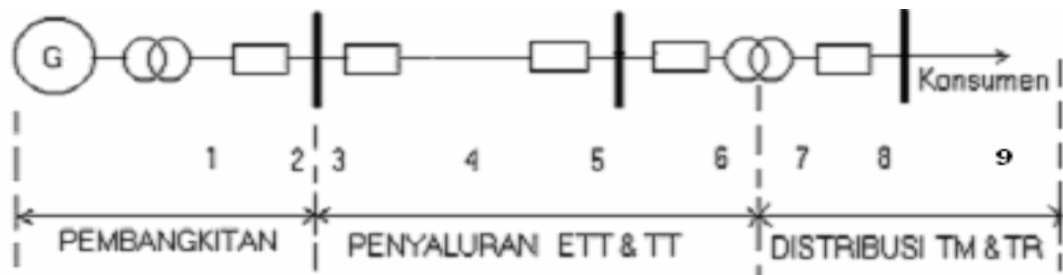


Gambar 2. 8 Aplikasi *DIGSILENT PowerFactory*

2.2.5. *Rugi Daya dan Susut Energi*

Dalam proses penyaluran energi listrik kepada konsumen, terdapat kerugian teknis (*technical losses*) yang mencakup kerugian daya (*power losses*) dan penurunan tegangan (*voltage drop*). Rugi-rugi ini dapat terjadi diawali dari tahap pembangkitan

hingga proses transmisi dan distribusi energi listrik, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Rugi Teknis dari tahap Pembangkit hingga Distribusi

Berikut penjelasan dari gambar 2.9 di atas;

1. Posisi 1, 2, dan 3

Menunjukkan kerugian yang terjadi pada jaringan Transmisi Ekstra Tinggi (ETT) dan Transmisi Tinggi (TT), termasuk di dalamnya kerugian non-teknis.

2. Posisi 5, 6, dan 7

Menggambarkan kerugian yang timbul pada jaringan Tegangan Menengah (TM), yang juga mencakup kerugian non-teknis.

3. Posisi 8 dan 9

Merepresentasikan kerugian yang terjadi dalam jaringan Distribusi Tegangan Rendah (TR), termasuk di antaranya kerugian non-teknis yang terjadi selama penyaluran ke konsumen akhir.

Kerugian teknis dalam sistem tenaga listrik utamanya disebabkan oleh sifat fisik dari komponen sistem, terutama konduktor dan peralatan listrik lainnya. Kerugian ini muncul akibat adanya arus listrik yang mengalir melalui konduktor yang memiliki resistansi, sehingga menghasilkan panas dan menimbulkan kerugian daya, sebagaimana dijelaskan melalui persamaan:

$$\text{Rugi daya (total)} = I^2 \times R \text{ (Watt)} \quad (2.1)$$

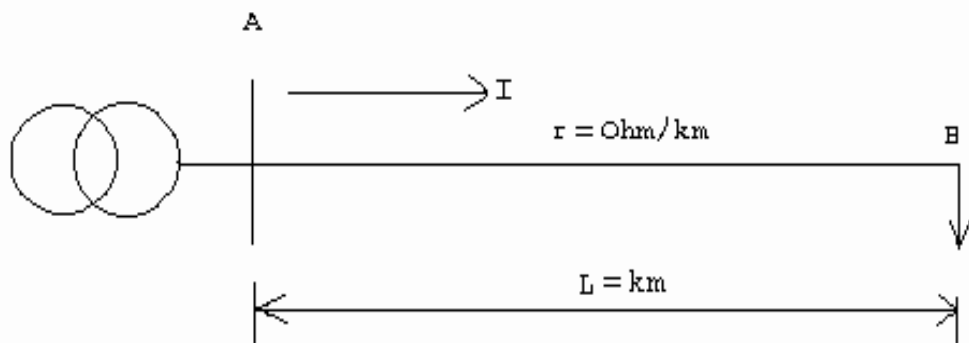
Dengan keterangan sebagai:

- I merupakan arus listrik yang mengalir (*ampere*),
- R merupakan resistansi penghantar (*ohm*).

Secara umum, sistem tiga fasa lebih efisien dibandingkan dengan sistem satu fasa atau dua fasa, karena mampu meminimalkan rugi daya (*losses*), terutama dalam penyaluran daya dalam jumlah besar dan pada jarak transmisi yang jauh. Efisiensi ini berkaitan erat dengan distribusi beban yang seimbang serta penggunaan konduktor yang lebih optimal dalam sistem tiga fasa.

1. Sistem Fasa Tiga, Beban Tunggal

Beban tunggal disuplai melalui sistem fasa tiga (3). Misalkan beban Tunggal S seimbang diantara ketiga fasanya, dengan jarak L km dari sumbernya. Penghantar saluran mempunyai tahanan r Ohm/km, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2. 10 Sistem Fasa Tiga dengan Beban Tunggal

Jadi rugi daya didapat sebagai berikut :

$$\Delta P_{3\phi} = \frac{S^2 \times r \times L}{V} \text{ (Watt)} \quad (2.2)$$

atau :

$$\Delta P_{3\phi} = \frac{S^2 \times r \times L}{V \times \cos \phi} \text{ (Watt)} \quad (2.3)$$

Dengan keterangan sebagai:

P dalam Watt S dalam kVA V dalam kV

Perbandingan rugi daya terhadap daya yang disalurkan disebut rugi daya relatif.

Rugi daya relatif adalah :

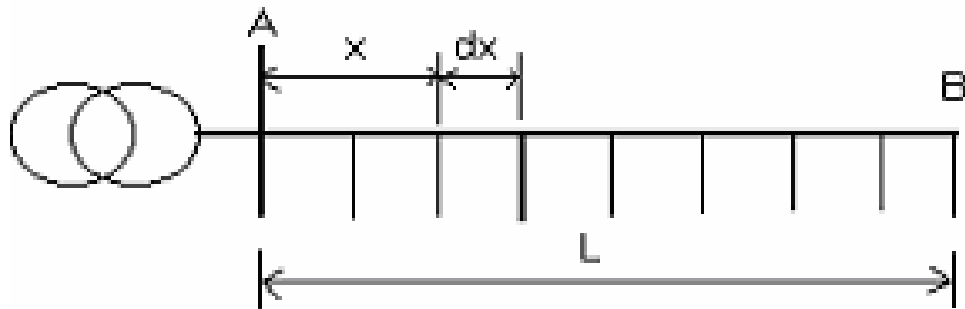
$$\frac{\Delta P_{3\phi}}{P_{3\phi}} \text{ (Watt)} \quad (2.4)$$

Maka rugi daya relatif dapat ditulis sebagai berikut :

$$\% = \frac{S^2 \times r \times L}{V \times \cos \phi} \times 100 \% \quad (2.5)$$

2. Sistem Tiga Fasa Beban Merata

Beban dianggap merata disepanjang saluran seperti terlihat pada gambar 2.11 berikut :



Gambar 2. 11 Beban rata di sepanjang jaringan

Kerugian daya total menurut persamaan menjadi :

$$\Delta P \text{ (total) } 3\phi = \frac{P \times V_{tot} \times r \times L}{3 \times V} \text{ (Watt)} \quad (2.6)$$

Oleh karena $Stot = P_{tot} / \cos \phi$ (diasumsikan $\cos \phi$ nya sama untuk setiap titik); maka persamaan dapat ditulis :

$$\Delta P \text{ (total) } 3\phi = \frac{P \times V_{tot} \times r \times L}{3 \times V \cos \phi} \text{ (Watt)} \quad (2.7)$$

$$(\%) = \frac{P \times V_{tot} \times r \times L}{3 \times V \cos \phi} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dalam penelitian ini, peneliti menghitung daya tersalur menggunakan persamaan (2.9) berikut :

$$Ps = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta \quad (2.9)$$

Kemudian menghitung P (Losses) menggunakan persamaan (2.10) berikut :

$$P \text{ (losses)} = 3I^2 R \text{ total} \quad (2.10)$$

Dan menghitung persentase susut daya menggunakan persamaan (2.11) berikut :

$$\% \text{ Susut Daya} = \frac{Pl}{Ps} \times 100\% \quad (2.11)$$

Peneliti menghitung jumlah energi yang hilang akibat susut menggunakan persamaan (2.12) berikut :

$$E = P \text{ (losses)} \times t \quad (2.12)$$

dimana :

E : Susut dalam kWh

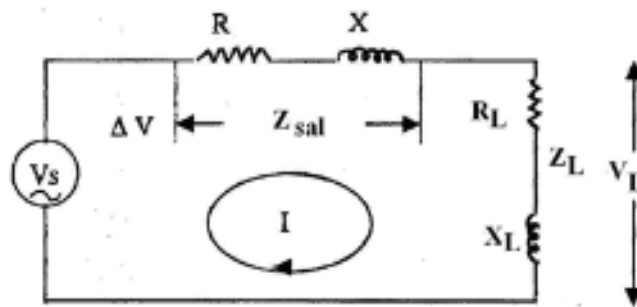
Plosses : Daya dalam Watt

t : Waktu dalam jam

2.2.6. Jatuh Tegangan dan Perhitungan

Jatuh tegangan merupakan perbedaan tegangan yang terjadi antara sisi sumber dan sisi beban, yang disebabkan oleh adanya impedansi pada penghantar jaringan listrik. Besarnya jatuh tegangan ini umumnya sebanding dengan panjang dari saluran dan besarnya arus dari beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang konduktor yang digunakan.

Sebagai ilustrasi, jika suatu rangkaian seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12 direpresentasikan sebagai sistem satu fasa, maka dimensi yang digunakan dalam perhitungan tersebut juga dapat digunakan untuk sistem tiga fasa seimbang.



Gambar 2. 12 Diagram saluran distribusi tenaga Listrik

Dengan keterangan sebagai:

V_s : Tegangan sumber (Volt)

R : Resistansi saluran (Ω)

Z_{sal} : Impedansi saluran (Ω)

R_L : Resistansi beban (Ω)

I : Arus beban (A)

ΔV : Jatuh tegangan (Volt)

V_r : Tegangan pada sisi penerima (Volt)

X : Reaktansi saluran (Ω)

Z_L : Impedansi beban (Ω)

X_L : Reaktansi beban (Ω)

$\cos \theta$: Faktor daya beban

Impedansi masing-masing bagian:

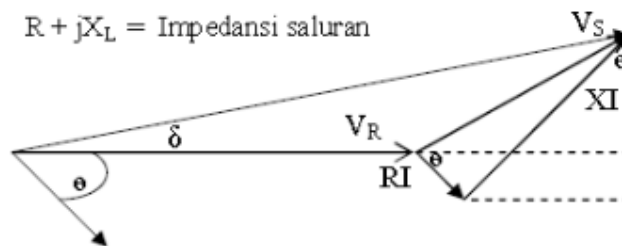
$$Z = R + jX/Km \quad (2.13)$$

Dari rangkaian yang ditunjukkan dalam gambar 2.12 diperoleh:

$$I = V_s / (Z_{sal} + Z_L) \text{ atau } V_s = I \cdot Z_{sal} + I \cdot Z_L \quad (2.14)$$

$V_r = I \cdot Z_L$ adalah jatuh tegangan di sepanjang Z_L atau tegangan beban, dan $I \cdot Z_{sal}$ adalah jatuh tegangan di sepanjang Z_{sal} atau ΔV .

Penurunan persamaan jatuh tegangan dapat ditentukan dari gambar diagram fasor transmisi daya pada gambar 2.13:



Gambar 2. 13 Diagram vector pada tegangan saluran distribusi

Pada gambar 2.13 dapat diperhatikan bahwa persamaan tegangan yang mendasari diagram vektor tersebut adalah:

$$V_s = V_r + I.R \cos \theta + I.X \sin \theta \quad (2.15)$$

Karena faktor $(I.R \cos \theta + I.X \sin \theta)$ pada gambar 2.13 sama dengan $I.Z$, maka persamaan menjadi:

$$V_s = V_r + I \cdot Z \text{ atau } V_s - V_r = I \cdot Z \quad (2.16)$$

Sehingga $\Delta V = I \cdot Z$

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (2.17)$$

Maka perhitungan besar jatuh tegangan pada saluran distribusi primer untuk sistem tiga fasa adalah:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \quad (2.18)$$

Besar jatuh tegangan pada saluran distribusi primer dapat juga dihitung dengan:

$$\Delta V = V_S - V_R \quad (2.19)$$

Besar persentase jatuh tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan:

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{LL}} \times 100\% \quad (2.20)$$

Dengan keterangan sebagai:

V_s : Tegangan sumber (Volt) V_r : Tegangan pada sisi penerima (Volt)

R : Resistansi saluran (Ω) X : Reaktansi saluran (Ω)

I : Arus beban (A) V_{LL} : Tegangan fasa - fasa (Volt)

$\cos \theta$: Faktor daya beban ΔV : Jatuh tegangan (Volt)

$\% \Delta V$: Persentase Jatuh tegangan (%)

2.2.7. *Perhitungan Kerugian*

Untuk menghitung kerugian finansial akibat hilangnya daya tersebut, peneliti menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Biaya kerugian Listrik} = E \times \left(\frac{R_p}{\text{kWh}} \right) (\text{TTL}) \quad (2.21)$$

Dengan keterangan sebagai:

E dalam kW hour & T_{tl} (Tarif Tenaga Listrik) dalam Rp per kWh