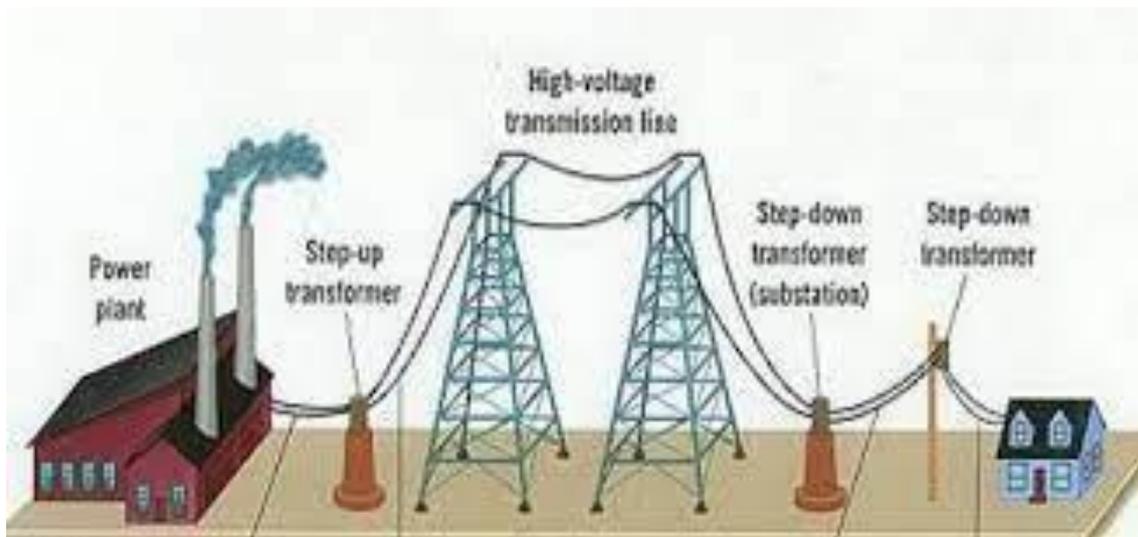


2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri atas empat unsur, yaitu untuk membangkitkan, mentransmisikan, serta mendistribusikan tenaga listrik sampai ke pusat beban. Secara garis besar sistem tenaga listrik dapat digambarkan dengan skema gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Rangkaian Sistem Tenaga Listrik

Sumber: Galla, W. F., Sampeallo, A. S., & Lenjo, A. (2020). Analisis tegangan saluran transmisi 70 kV pada sistem Timor dengan parameter abcd. *Media Elektro Journal*, 9(1), 10-19.

2.2 Transmisi Tenaga Listrik

Saluran transmisi merupakan rangkaian listrik yang memiliki konstanta yang terbagi sepanjang saluran, yang mana terdiri atas: resistansi, induktansi, dan kapasitansi. Konstanta-konstanta atau parameter itu tidak terletak secara terpusat pada satu tempat melainkan terbagi rata sepanjang saluran. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi untuk menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban. Ada dua kategori saluran transmisi, yaitu saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground line*). Saluran transmisi dalam suatu sistem tenaga listrik merupakan saluran pemindah/transfer daya listrik dari suatu tempat ke daerah lain dengan jarak yang cukup jauh dan dengan tegangan tertentu. Peralatan-peralatan pokok yang termasuk di dalam sistem saluran transmisi adalah: konduktor (kawat penghantar), menara transmisi (*tower*), isolator

gantungan, kawat tanah atas, peralatan-peralatan pendukung (tanduk api, *damper*, dan sebagainya). Berikut ini adalah klasifikasi saluran transmisi dan karakteristiknya (Galla et al., 2020, p. 12-13):

1. Klasifikasi Saluran Transmisi

a. Berdasarkan Pemasangannya

Berdasarkan pemasangannya, saluran transmisi dibagi menjadi dua kategori, yaitu: Saluran Udara (*Overhead Lines*) dan Saluran Kabel Bawah Tanah (*Underground Cable*).

b. Berdasarkan Tegangan

Ditinjau dari klasifikasi tegangannya, transmisi listrik dibagi menjadi: Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200kV-500kV, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70kV-150kV, Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 70kV-150kV.

c. Berdasarkan Panjang

Berdasarkan panjangnya saluran transmisi dapat di bagi menjadi tiga, yaitu :

- Saluran transmisi pendek (<80 km)
- Saluran transmisi menengah (80-240 km)
- Saluran transmisi panjang (>240 km)

2. Karakteristik Saluran Transmisi

a. Resistansi (R)

Nilai resistansi saluran transmisi dipengaruhi oleh resistivitas konduktor dan temperatur. Resistan (R) dari sebuah penghantar sebanding dengan panjang l dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya.

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

(William D. Stevenson, 1990 : 39)

- ρ = Resistivitasnya (Ω)
- R = Resistansi arus searah (Ωm)
- l = Panjang Konduktor (m)
- A = Luas Penampang (m²)

b. Induktansi (l)

Induktansi kawat 3 fasa umumnya berlainan untuk masing – masing kawat. Namun karena perbedaannya kecil, nilai induktansinya dari penghantar yang ditransposisikan diambil, bila ketidakseimbangan tidak besar.

$$L = l + 0,4605 \log_{10}$$

$$l = \frac{r}{GMD} \dots\dots\dots (2.2)$$

Setelah mendapatkan induktansi (L), maka untuk mencari nilai induktansi dapat diturunkan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

dengan : L = Induktansi karena fluks magnet dalam kawat

c. Kapasitansi (C)

Kapasitansi adalah kemampuan dua konduktor yang dipisahkan oleh isolator untuk menyimpan muatan listrik pada tegangan yang diberikan di antara keduanya. Bila pada dua konduktor yang terpisah oleh jarak tertentu dialirkan arus listrik maka akan terbentuk fluks elektrostatik dan dua konduktor tersebut berfungsi sebagai kapasitor. Nilai kapasitansinya semata-mata tergantung dari jari-jari konduktor dan jarak antara kedua konduktor tersebut serta tidak dipengaruhi oleh besarnya medan magnet. Rumus untuk menentukan kapasitas saluran adalah :

$$C = \frac{0,02413}{\log \frac{GMD}{r}} \dots\dots\dots (2.3)$$

(Arismunandar dan Kuwahara, 1993: 55)

dengan :

C = kapasitansi

GMD = geometri *mean distance* (cm) r = jari-jari penghantar

2.3 Daya Listrik

Menurut (Dani, 2018) “Daya adalah sebuah kuantitas yang penting dalam rangkaian-rangkaian listrik. Daya merupakan ukuran disipasi energi dalam sebuah alat. Karena tegangan dan arus dapat berubah sesuai fungsi dari waktu, dapat diperkirakan bahwa nilai sesaat dan nilai rata-rata dapat digunakan untuk menggambarkan disipasi. Berdasarkan defenisi, daya sesaat adalah perkalian antara tegangan dan arus sesaat.”

a. Daya Nyata (*Apparent Power*)

Daya nyata (daya total) merupakan daya yang masuk ke rangkaian ac atau dengan kata lain daya yang sebenarnya diterima dari pemasok sumber tegangan arus ac, dan juga merupakan resultan daya antara daya aktif dan daya reaktif. Daya nyata didefinisikan sebagai hasil perkalian dari tegangan dan arus dalam rangkaian ac tanpa memperhatikan selisih sudut fase arus dan tegangan (Kusnadi, 2016).

Untuk tiga fasa digunakan rumus

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

Atau

$$S = \frac{P}{\cos \theta} \quad (\text{VA}) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

S = Daya nyata

V = Tegangan *line*

I = Arus *line*

P = Daya aktif

Cos θ = Faktor daya

b. Daya Aktif (*True Power*)

Daya aktif (P) adalah bagian yang lebih kecil dibandingkan daya nyata (S). Jika daya aktif dinyatakan terhadap resistansi maka akan sebanding dengan kuadrat arus atau tegangan. Daya aktif didefinisikan sebagai hasil perkalian antara tegangan dan arus serta koefisien faktor dayanya yang akan dinyatakan pada persamaan di bawah (Kusnadi, 2016):

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta \dots\dots\dots (2.6)$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad (\text{watt}) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

S = Daya nyata

V = Tegangan *line*

I = Arus *line*

P = Daya aktif

Cos θ = Faktor daya

Q = Daya reaktif

c. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif (Q) dapat didefinisikan sebagai hasil perkalian antara tegangan dan arus serta nilai sin θ (Kusnadi, 2016).

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \theta \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Q = P \times \tan \theta \dots\dots\dots (2.9)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \text{ (var)} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan :

Q = Daya reaktif

S = Daya nyata

V = Tegangan *line*

I = Arus *line*

P = Daya aktif

Cos θ = Faktor daya

d. Faktor Daya (*Power Factor*)

Faktor daya yang merupakan rasio daya aktif (P) terhadap daya nyata (S) merupakan indikator penting tentang bagaimana efektifnya sebuah beban melaksanakan fungsinya. PF disebut juga cos θ . Sudut θ adalah sudut yang dibentuk antara tegangan dan arus atau sisi daya aktif (P) dan daya nyata (S), sedangkan daya reaktif (Q) tegak lurus terhadap daya aktif (P) (Kusnadi, 2016).

$$PF = \cos \theta = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.11)$$

2.4 **Single Line Diagram (SLD)**

Single Line Diagram (SLD) merupakan suatu diagram yang mewakili peralatan-peralatan listrik yang telah diganti dengan menggunakan simbol-simbol tertentu berdasarkan standar internasional. Pembuatan *single line diagram* ini bertujuan untuk memudahkan dalam melihat sistem kelistrikan yang akan digunakan (Ilyas et al., 2022, p. 54).

2.5 **Susut Energi Listrik**

Susut (*losses*) adalah suatu bentuk kehilangan energi listrik yang berasal dari selisih jumlah energi listrik yang tersedia dengan sejumlah energi listrik yang terjual. Berikut adalah rumus perhitungan susut.

Berdasarkan Keputusan Direksi PT PLN (Persero) No. 217-1.JK/DIR/2005 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Neraca Energi (kWh), jenis susut (*losses*) energi listrik dapat dibedakan menjadi dua yaitu (Ariyanti, 2019):

1. Berdasarkan Tempat Terjadinya

a. Susut Transmisi

Susut transmisi, yaitu hilangnya energi listrik yang dibangkitkan pada saat disalurkan melalui jaringan transmisi ke gardu induk atau susut teknis yang terjadi pada jaringan transmisi yang meliputi susut pada jaringan Tegangan Tinggi (JTT) dan pada Gardu Induk (GI).

b. Susut Distribusi

Susut distribusi, yaitu hilangnya energi listrik yang didistribusikan dari gardu induk melalui jaringan distribusi ke pelanggan atau susut teknis dan non-teknis yang terjadi pada jaringan distribusi yang meliputi susut Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi (GD), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR) serta Alat Pembatas dan Pengukur (APP) pada pelanggan TT, TM dan TR. Bila terdapat jaringan tegangan tinggi yang berfungsi sebagai jaringan distribusi maka susut jaringan ini dimaksudkan sebagai susut distribusi.

2. Berdasarkan Sifatnya

a. Susut Teknis

Susut teknis, yaitu hilangnya energi listrik pada saat penyaluran mulai dari pembangkit hingga ke pelanggan karena berubah menjadi panas. Susut teknis ini tidak dapat dihilangkan karena merupakan kondisi bawaan atau susut yang terjadi

karena alasan teknik dimana energi menyusut berubah menjadi panas pada jaringan Tegangan Tinggi (JTT), Gardu Induk (GI), Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi (GD), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR) dan Alat Pengukur dan Pembatas (APP). Penyebab susut teknik dapat dilihat dari persamaan susut teknis sebagai berikut :

$$P_{loss} = I^2R \dots\dots\dots (2.12)$$

Komponen utama dari persamaan tersebut adalah I (Ampere) yakni besarnya arus beban yang mengalir pada sistem distribusi dan R (Ohm) yakni besarnya nilai tahanan penghantar pada suatu sistem distribusi. Penyebab dari persamaan susut teknik tersebut adalah besarnya tahanan penghantar (R). besarnya nilai tahanan dipengaruhi oleh jenis, panjang, dan luas penampang penghantar.

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

ρ = Resistivitas (Ωm)

L = panjang penghantar (m)

A = luas penampang (m^2)

b. Susut Non-Teknis

Susut non-teknis, yaitu hilangnya energi listrik yang dikonsumsi pelanggan maupun non pelanggan. Ada beberapa penyebab susut non-teknis, antara lain adalah pencurian listrik, kesalahan baca meter, kesalahan alat pengukuran dan lain-lain. Pada sistem distribusi, pencurian listrik ini sangat banyak modusnya, salah satunya adalah dengan menggunakan peralatan khusus. Untuk meminimalisir pencurian listrik dilakukan pencegahan secara persuasif dengan pemberitahuan kepada masyarakat mengenai akibat dari pencurian listrik, baik melalui media maupun dengan sosialisasi langsung. Selain cara persuasif juga dilakukan dengan cara korektif, yaitu pelaksanaan Penertiban Penggunaan Tenaga Listrik (P2TL) dengan intensitas dan akurasi yang tinggi. Kesalahan baca meter menyebabkan ketidaksesuaian antara kWh yang digunakan pelanggan dengan yang tercatat. Jika yang digunakan ternyata lebih besar dari yang tercatat maka selisihnya tentu menjadi susut. Terdapat upaya untuk menanggulangi masalah tersebut, salah

satunya dengan melakukan pembinaan dan pelatihan SDM yang terlibat dalam proses baca meter sampai dengan penerapan aplikasi dan metode baca meter. Kesalahan alat pengukuran menyebabkan energi yang terukur tidak sesuai dengan energi yang digunakan oleh pelanggan. Hal ini bisa disebabkan oleh kWh meter, *wiring*, CT/PT, dan kesalahan faktor lainnya. Untuk mengatasinya dapat dilakukan dengan penggantian kWh berkala dan pemeriksaan rutin.

2.6 **Software ETAP**

Software ETAP atau *power station* merupakan suatu program atau perangkat lunak yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan sistem tenaga listrik. Keandalan dari *software ETAP* tersebut banyak sekali, namun yang sering digunakan adalah tentang analisa aliran daya, simulasi arus hubung singkat, dan keandalan sistem. (Ratnasari,2013: 37)

Hasil yang diperoleh setelah dilakukan simulasi menggunakan *software ETAP* dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

- a. *Error Perbandingan Susut Realisasi Data dan Susut Hasil Simulasi*
Nilai *error* dihasilkan dari selisih nilai susut berdasarkan data perusahaan dan nilai susut hasil perhitungan simulasi menggunakan *software ETAP*. Nilai *error* yang dihasilkan harus seminimum mungkin dan bisa ditoleransi untuk melakukan simulasi lebih lanjut. Jika tidak dapat ditoleransi, maka dilakukan simulasi ulang dengan mengubah parameteranya.
- b. *Saving energi (kWh)*
Saving energi (kWh) dihasilkan dari selisih nilai susut sebelum dan sesudah dilakukan pola operasi.