

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa komponen seperti : transformator, generator, beban dan lain – lainnya serta pengaturan yang saling terhubung menjadi suatu sistem yang memiliki fungsi membangkitkan dan menyalurkan energi listrik. Tenaga listrik terdiri dari beberapa kumpulan yaitu seperti; pembangkit, transmisi dan distribusi dimana bagian – bagian ini saling mendukung agar dapat menyalurkan listrik. Komponen – komponen pada sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut: Pembangkit merupakan suatu komponen yang berfungsi memberikan perubahan energi yang berasal sumber energi lain diantara; minyak bumi, air, batu bara dan panas bumi yang menghasilkan energi listrik, Transmisi berfungsi menghantarkan energi atau daya yang berasal dari pusat pembangkit menuju pusat beban (pelanggan), Distribusi berfungsi menyalurkan energi listrik ke pemakai energi listrik, dan yang terakhir yaitu beban yang merupakan pelatan – peralatan elektronik yang berada pada tempat konsumen yang menggunakan energi listrik (*Fadly Lamataro et al., 2023*).

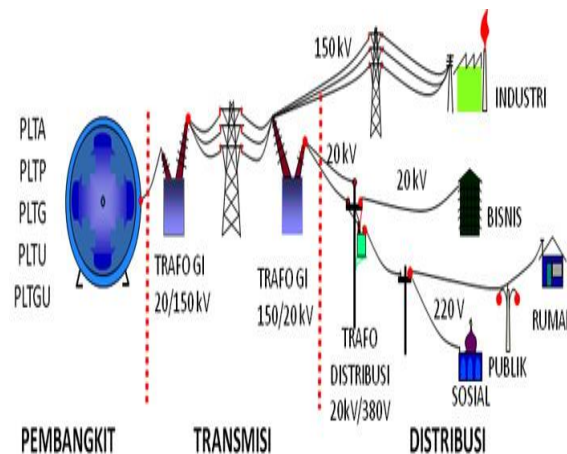
Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang memiliki beberapa sistem lain diantaranya meliputi; sistem pembangkit, sistem transmisi (penyaluran), sistem distribusi dan beban yang saling terhubung atau berkaitan yang berfungsi untuk menyuplai energi listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan kebutuhan. Oleh karena itu

dilakukan upaya – upaya agar jaringan distribusi dalam kondisi baik. (*Herri Gusmedi et al., 2024*).

2.1.2 Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem jaringan distribusi terdiri atas dua bagian, yang pertama adalah Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang berfungsi menyalurkan daya listrik dari gardu induk subtransmisi, jaringan distribusi primer menggunakan tiga kawat atau empat kawat untuk tiga fasa. Jaringan yang kedua adalah Jaringan Tegangan Rendah (JTR) yang berfungsi menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen, dimana sebelumnya tegangan tersebut ditransformasikan oleh transformator distribusi dari 20 kV menjadi 300/220 volt, jaringan ini dikenal juga dengan jaringan distribusi sekunder (*Jeandy T I. Kume, 2016*).

Jaringan distribusi merupakan energi listrik yang disalurkan dari penyulang Gardu Induk (GI) kemudian dilanjutkan ke Jaringan Tegangan Menengah (JTM) ke sisi primer *transformator* distribusi *step down* 20/11 kV dan diubah ke sistem Tegangan Rendah (TR) pada bagian sisi sekunder *transformator* yaitu 400/231 V yang disesuaikan dengan *nameplate* pada *transformator*. Dari sisi sekunder *transformator* kemudian didistribusikan melalui Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan disalurkan ke pelanggan menggunakan Sambungan Rumah (SR) (*Oktovianus Kati, 2021*). Jaringan distribusi juga merupakan suatu jaringan listrik yang mengirimkan listrik dari Gardu Induk (GI) atau sub – stasi ke pelanggan akhir seperti; rumah, peralatan elektronik dan sebagainya (*Wong et al., 2019*).



Gambar 2. 1 Struktur Sistem Jaringan Distribusi

Sumber : (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electric-Power-Grid-Schematic-EN.svg>)

2.1.3 Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen dalam mendistribusikan tenaga listrik pada konsumen, baik konsumen tegangan menengah ataupun tegangan rendah. Terdapat bermacam – macam gardu distrbusi yaitu sebagai berikut :

a. Gardu Beton

Gardu distribusi jenis beton ini sudah permanen karena dibangun dilokasi yang sudah ditentukan sejak perancangan awal. Pada umumnya gardu beton ini dibangun untk daerah perkotaan atau untuk konsumen yang telah memenuhi persyaratan terbaik keselamatan tenagalistrikan.



Gambar 2. 2 Gardu Beton

Sumber : (<https://wasisunggul.blogspot.com>)

b. Gardu Portal

Gardu portal atau yang sering dikenal dengan gardu trafo dimana secara keseluruhan instalasinya dipasang pada dua buah tiang atau lebih. Gardu ini memiliki pengaman yang biasa disebut *Fuse Cut Out (FCO)* yang berfungsi sebagai pengaman hubung singkat *transformator* dan *Lightning Arrester (LA)* sebagai pencegah naiknya tegangan pada *transformator* akibat dari sambaran petir. Karena trafo berada di atas dan semakin besar daya trafo maka semakin berat trafo maka daya maksimal pada gardu portal adalah 400 kVA, gardu portal juga karena ditopang oleh dua tiang atau lebih maka kapasitas trafo minimal adalah 160 kVA lebih besar dari kapasitas gardu cantol.



Gambar 2. 3 Gardu Portal

Sumber : (<https://dhamarsejati08.blogspot.com>)

c. Gardu Kios

Gardu kios terbuat dari konstruksi baja atau *fiberglass* atau kombinasinya sehingga gardu ini dapat dibangun di tempat – tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas trafo yang terpasang juga nantinya terbatas. Kapasitas daya *transformator* maksimum yang terpasang pada gardu kios adalah 400 Kva.



Gambar 2. 4 Gardu Kios

Sumber : (<https://transmisidistribusilistrikindonesia.blogspot.com>)

d. Gardu Cantol

Gardu cantol memiliki *transformator* dengan daya kurang lebih 100 kVA fasa 3 atau fasa 1, lebih kecil dari gardu lainnya. Memiliki kelebihan pada tranformatornya yaitu sudah dilengkapi peralatan *switching* dan proteksi jenis *Completely Self Protected Transformer (CSP)* yang terpasang dalam tangki transformator (*Ashar AR et al., 2022*).



Gambar 2. 5 Gardu Cantol

Sumber : (<https://riauintek.blogspot.com>)

Saat membangun gardu distribusi ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain; optimalisasi biaya, peraturan pemerintah daerah setempat dan permintaan pelanggan. Aspek estetika keindahan juga menjadi alasan untuk pelanggan memilih jenis gardu distribusi yang akan dipasang (*Harrij Mukti K, 2022*).

2.2 Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) merupakan tegangan yang terdiri dari bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya mulai dari sumber penyaluran tegangan rendah tidak termasuk SLTR dan jenis penghantar yang digunakan merupakan kabel yang tidak memakai isolasi seperti kabel ACSR dan AAAC. Penyambungan Jaringan Tegangan Rendah (JTR) merupakan Sambungan Rumah (SR) penghantar diatas atau dibawah tanah dari titik penyambungan tiang JTR hingga alat pembatas beserta pengukur.

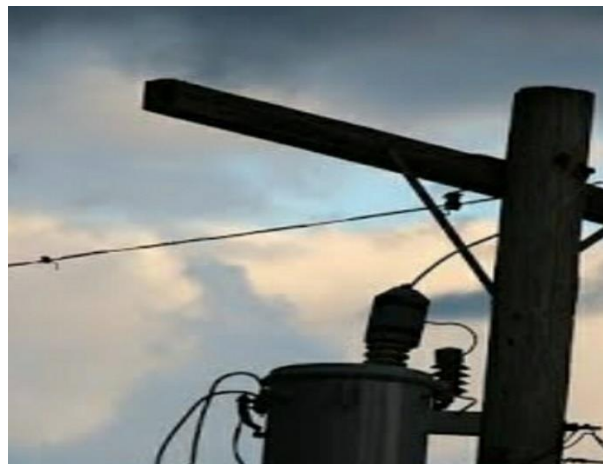
Jaringan Tegangan Rendah (JTR) diartikan juga sebagai jaringan tenaga listrik dengan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya dari sumber penyaluran tegangan beserta perlengkapannya. Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah (SLTR) merupakan penghantar di bawah atau di atas tanah termasuk peralatannya yang di mulai dari titik penyambungan pada JTR sampai dengan alat pembatas dan pengukur. Jaringan Tegangan Rendah (JTR) ini merupakan jaringan yang terhubung langsung dengan konsumen (pelanggan), didalam JTR ini sistem distribusi primer 20/11 kV diturunkan menjadi tegangan rendah 380/220 V. Sistem penyaluran daya listrik pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) maupun Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut:

a. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Jenis penghantar yang digunakan adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC dan kabel ACSR.

b. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR)

Jenis penghantar yang digunakan adalah kabel berisolasi seperti; kabel Low Voltage Twisted Cable (LVTC) yang memiliki ukuran $2 \times 10 \text{ mm}^2$, $2 \times 16 \text{ mm}^2$, $4 \times 25 \text{ mm}^2$, $3 \times 35 \text{ mm}^2$, $3 \times 50 \text{ mm}^2$ dan $3 \times 70 \text{ mm}^2$. (Made Suartika, *et al.*, 2010).



Gambar 2. 6 Saluran Distribusi Jaringan Tegangan Rendah

Sumber : (<https://sumsel.relasipublik.com>)

2.3. Transformator Distribusi

Trafo distribusi berfungsi menurunkan tegangan dari Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV menjadi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 V. Transformator distribusi adalah salah satu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengkonversi daya dari jaringan tegangan menengah ke jaringan tegangan rendah dimana terdapat banyak beban-beban listrik konsumen. (Soedjarwanto & Forda Nama, 2019).



Gambar 2. 7 Transformator Distribusi
 Sumber : (<https://rakhman.net/electrical-id>)

2.4 Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)

Jatuh tegangan (*Drop voltage*) adalah selisih antara tegangan kirim dengan tegangan terima pada suatu penghantar. Hal ini disebabkan oleh adanya impedansi (resistansi dan reaktansi) pada penghantar yang dilalui oleh arus beban, *drop* tegangan yang diijinkan untuk instalasi arus kuat adalah sampai 1.000 V yang ditetapkan dalam persen (%) dari tegangan kerjanya. Jatuh tegangan (*drop voltage*) (ΔV) adalah selisih antara tegangan kirim (V_s) dengan tegangan terima (V_r), maka *voltage drop* adalah sebagai berikut:

$$\Delta V = (V_s) - (V_r) \dots \dots \dots (1)$$

Adanya hambatan pada penghantar menyebabkan tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga *drop voltage* (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) tenaga listrik (Nurainun Septiani, et al., 2021).

Jatuh tegangan (*drop voltage*) sering dinamakan regulasi tegangan VR (*Voltage Regulation*) dan dinyatakan oleh rumus:

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100 \% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

V_s = Tegangan pada pangkal pengirim (V)

V_r = Tegangan pada ujung penerimaan (V)

2.4.1 Batas Toleransi Jatuh Tegangan

Berdasarkan Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN), batas jatuh tegangan yang diizinkan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) umumnya tidak boleh melebihi 5% dari tegangan minimal saat beban puncak. Diterapkannya hal tersebut dengan tujuan menjaga kualitas layanan dan keandalan peralatan. Jika jatuh tegangan turun melebihi 5% akan timbul berbagai masalah seperti; mengurangi umur pakai dan bahkan kerusakan pada alat elektronik pelanggan.

2.5 Rumus Teori Perhitungan Penelitian

2.5.1 Persamaan Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*) ΔV

Jatuh tegangan (ΔV) pada penghantar 3 fasa dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta V \approx \frac{\sqrt{3 \cdot I \cdot (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi)} \cdot L}{V_n} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

ΔV = Jatuh tegangan (Volt)

I = Arus beban (Ampere)

R = Resistansi/kilometer penghantar (Ω/km)

X = Reaktansi/kilometer penghantar (Ω/km)

$\cos \phi$ = Faktor daya

L = Panjang penghantar (m/km)

V_n = Tegangan nominal (Volt)

(Maxi Alvian Sobikin, et al., 2022)

2.5.2 Perhitungan Persentase Perbaikan Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)

$$\text{Perbaikan } (\Delta\%) = \frac{\Delta V_{\text{sebelum}} - \Delta V_{\text{sesudah}}}{\Delta V_{\text{sebelum}}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

$\Delta V_{\text{sebelum}}$ = Jatuh tegangan sebelum perluasan JTR (V)

$\Delta V_{\text{sesudah}}$ = Jatuh tegangan sesudah perluasan JTR (V)

$\Delta\%$ = Persentase perbaikan (%)

(Aldila, et al., 2024).

2.6 Penelitian Terkait Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terkait Terdahulu

NO	Penulis	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Adila Fajar Rizkiana et al.	2024	Perbaikan Jatuh Tegangan dan Rugi Daya dengan Konfigurasi Jaringan Sambungan Rumah dan Rekonduktor Jaringan Tegangan Rendah pada Gardu Distribusi MI – 44 – 150 – 21 PT PLN ULP Magelang Kota	Hasil dari penelitian ini adalah setelah melakukan upaya perbaikan melalui Rekonfigurasi Jaringan Sambungan Rumah (SR) dan Rekonduktor Jaringan Tegangan Rendah (JTR) pada Gardu Distribusi MI – 44 – 150 -21 berhasil meningkatkan tegangan terendah pelanggan dari 199 V (13,85%) menjadi 210,2 V ($\leq 9,00\%$), sehingga memenuhi standar tegangan PLN. Selain itu, perbaikan ini

				simultan menurunkan total rugi daya jaringan dari 1864,05 Watt menjadi 1051,17 Watt.
2.	Ali Mahfud Shodar.	2023	Analisis Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Drop Voltage Pada PT. PLN (Persero) Distribusi Lamongan Menggunakan Software Etap 19.0	Penelitian ini menunjukkan bahwa penempatan transformator distribusi yang optimal sangat krusial dalam mengatasi masalah jatuh tegangan. dengan mengaplikasikan Euclidean Distance Method dan simulasi ETAP 19.0 penelitian ini berhasil menurunkan presentase jatuh tegangan pada Bus 1 dari 5% menjadi hanya 1,2%. Hasil ini mengindikasikan bahwa penentuan lokasi transformator yang tepat dapat secara efektif meningkatkan kualitas tegangan dan efisiensi distribusi.
3.	Ashar AR et al.	2022	Studi Manajemen Trafo PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Sungguminasa	Dalam menyoroti pentingnya Manajemen Transformator pada sistem distribusi. Maka studi di ULP Sungguminasa menunjukkan adanya transformator yang mengalami beban lebih (overload) dan beban kurang (underload) secara bersamaan yang berakibat pada peningkatan rugi – rugi daya. Solusi yang efektif adalah pemindahan beban (load management) dan rekonfigurasi jaringan yang terbukti mampu menyeimbangkan beban antar unit transformator dan secara langsung mereduksi rugi – rugi

				daya teknis demi peningkatan operasional.
4.	Asmaul.	2024	Analisis Drop Tegangan Pada Gardu Distribusi Tegangan Rendah (JTR) PT. PLN (Persero) ULP Karebosi	Di Gardu Distribusi ULP Karebosi mengidentifikasi bahwa panjang penghantar dan ukuran kawat yang tidak sesuai merupakan penyebab utama tingginya drop tegangan. Akan tetapi, penelitian ini membuktikan bahwa Tindakan rekonduktor (penggantian kawat dari AAAC 70 mm ² menjadi AAC 150 mm ²) dan pemotongan JTR adalah solusi efektif yang mampu menurunkan drop tegangan hingga 3,9% sehingga memenuhi standar tegangan PLN.
5.	Bagas et al.	2024	Analisis Penurunan Jatuh Tegangan dan Losses Akibat Sambungan Deret dengan Penambahan Jaringan Tegangan Rendah serta Rekonfigurasi Sambungan Rumah	Penelitian ini membuktikan bahwa masalah sambungan deret pada JTR merupakan pemicu utama tingginya jatuh tegangan (awal 11,15%) dan rugi daya (awal 4,64 kW). Solusi yang dilakukan yaitu melalui penambahan JTR baru dan rekonfigurasi Sambungan Rumah (SR) sangat efektif dengan hasil penurunan jatuh tegangan menjadi 4,38% dan rugi daya menjadi 2,68 kW. Modifikasi konfigurasi jaringan menjadi kunci meningkatkan kualitas dan efisiensi penyaluran daya.
6.	Fadly Lamataro et al.	2023	Analisa Jatuh Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah di PT. PLN (Persero) ULP Lambato	Pada JTR Lambota menunjukkan adanya masalah jatuh tegangan yang tinggi hingga 6,97% akibat panjag JTR yang berlebihan

				dan ukuran kawat penghantar yang tidak memadai. Studi membuktikan bahwa solusi rekonduktor (penggantian kawat ke NFA2X – T $3 \times 150 \text{ mm}^2$) dan pemutusan jaringan adalah Tindakan korektif yang berhasil yang mampu menurunkan voltage drop secara signifikan hingga 3,2 % dan mengembalikan kualitas tegangan ke batas standar.
7.	Harrij Mukti K et al.	2022	Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Oveload Dan Drop Voltage pada Penyulang Selogabus PT. PLN (Persero) ULP Bojenegoro Kota	Penelitian ini mengkaji permasalahan beban lebih (overload) yang tinggi dimana sampai dengan 8,49%. Pemasangan trafo sisipan adalah solusi teknis yang valid, efektif dan menguntungkan sebagai langkah pemecah beban Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan perbaikan kualitas tegangan pada jaringan distribusi yang mengalami overload dan drop voltage.
8.	Herri Gusmedi et al.	2024	Evaluasi Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Stoberi 2 PT. PLN (Persero) ULP Kota Metro Dengan Metode Faiulure Mode and Effect Analysis (FMEA)	Mengetahui nilai – nilai frekuensi dan durasi gangguan pada penyulang stroberi 2 masih berada diatas standar keandalan yang ditetapkan oleh PT. PLN sehingga diperlukan upaya perbaikan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi.
9.	Indra Roza	2019	Analisa Perbaikan Drop Voltage Dengan Trafo Sisip Sistem Distribusi JTR Di PT. PLN (Persero) Rayon Perbaungan Dengan Aplikasi Program Etap	Penelitian ini menemukan bahwa jaringan distribusi JTR di Rayon Perbaungan mengalami penurunan tegangan yang melebihi batas toleransi yang

				diizinkan yaitu 10% dari tegangan nominal 220 V. Simulasi menggunakan ETAP untuk memodelkan kondisi existing dan kondisi setelah perbaikan. Pemasangan trafo sisip sebagai solusi mengatasi drop voltage dan berhasil mengembalikan nilai tegangan pada semua titik jaringan.
10.	Oktavianus Kati' et al.	2021	Studi Evaluasi Distribusi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Pada Gardu JPR 047 Penyulang Merak	Studi ini menyimpulkan bahwa JTR Gardu JPR 047 berada dalam kondisi kinerja yang kurang baik, karena drop voltage dan susut daya. Perbaikan melalui rekonduktor atau pemecahan jaringan sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas tegangan dan efisiensi penyaluran daya.