

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang relevan

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurna, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

1. Menurut Samsurizal & Hadinoto (2020) Penelitian ini menganalisis dampak overload pada transformator distribusi di wilayah kerja PT PLN UP3 Pondok Gede. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pembebanan trafo mencapai 95,75%, melebihi batas ideal 80%. Peneliti mengusulkan solusi berupa uprating kapasitas trafo dari 200 kVA menjadi 400 kVA, yang berhasil menurunkan pembebanan hingga 52,75% serta memperbaiki tegangan ujung jaringan. Studi ini menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas trafo atau penambahan trafo sisip dapat menjadi solusi efektif untuk mengurangi beban lebih (Samsurizal & H., 2020).
2. Menurut Musthofa & Rahman (2021) Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring beban trafo berbasis indikator visual dan SMS Gateway. Sistem tersebut mampu memberikan peringatan dini (early warning) terhadap kondisi overload maupun unbalance, yang sering menjadi penyebab kerusakan trafo distribusi. Hasilnya menunjukkan sistem ini efektif membantu operator PLN dalam mengidentifikasi masalah secara cepat di lapangan, terutama di unit layanan dengan jumlah trafo yang besar (Musthofa M. &., 2021).
3. Romadhoni, Nasution & Utami (2022) Artikel ini meneliti koordinasi proteksi non-cascade antara OCR incoming dan OCR penyulang pada transformator distribusi. Ketika dilakukan penambahan trafo sisip, konfigurasi proteksi jaringan harus disesuaikan agar tidak terjadi trip simultan atau gangguan koordinasi antar rele. Hasil penelitian ini relevan dalam memastikan keandalan sistem pasca penambahan trafo sisip. (Romadhoni, 2022).

4. Edianto (2018) Penelitian ini merupakan tugas akhir dengan topik “Pemasangan Trafo Sisip Guna Memperbaiki Tegangan Ujung pada Penyulang Viona”. Hasil studi menunjukkan bahwa setelah dilakukan pemasangan trafo sisip, tegangan ujung meningkat dan rugi daya (losses) pada jaringan berkurang secara signifikan. Hal ini membuktikan efektivitas metode trafo sisip dalam meningkatkan kualitas tegangan distribusi (Edianto, 2018).
5. Menurut Penelitian Azzahra (2019) Penelitian ini berfokus pada perbaikan jatuh tegangan dan rugi daya melalui penambahan gardu sisip. Studi ini membandingkan kondisi sistem sebelum dan sesudah penambahan gardu sisip. Hasil analisis menunjukkan adanya penurunan rugi daya dari 10,9% menjadi lebih rendah, serta peningkatan kestabilan tegangan di sisi pelanggan (Azzahra, 2019).
6. Musthofa (2020 / 2021) Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring online real-time untuk mendeteksi kondisi beban unbalance dan overload pada trafo distribusi. Dengan sistem berbasis IoT ini, PLN dapat melakukan pengawasan beban secara langsung, sehingga dapat digunakan sebagai rekomendasi operasional dalam evaluasi pasca pemasangan trafo sisip (Musthofa M. , 2020).

Berdasarkan berbagai penelitian sebelumnya yang telah dijelaskan, terdapat kesamaan dengan penelitian yang akan penulis lakukan, yaitu membahas mengenai STUDI PEMASANGAN TRAF0 SISIP UNTUK MENGATASI TRAF0 OVER LOAD DAN MEMPERBAIKI TEGANGAN UJUNG di PT PLN (Persero) ULP Binjai Kota.

Tabel 2. 1 Penelitian yang Relevan

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	Analisis Dampak Overload	Trafo distribusi mengalami pembebanan	Analisis pembebanan trafo melalui	Uprating kapasitas trafo	Trafo distribusi mengalami pembebanan

	pada Transformator Gardu Distribusi di PT PLN UP3 Pondok Gede (Samsurizal & Hadinoto, 2020)	tinggi (>95%) sehingga berpotensi rusak dan menurunkan tegangan ujung	data lapangan dan simulasi peningkatan kapasitas (uprating)	dari 200 kVA → 400 kVA	tinggi (>95%) sehingga berpotensi rusak dan menurunkan tegangan ujung
2.	Sistem Monitoring Beban Trafo Distribusi Berbasis SMS Gateway (Musthofa & Rahman, 2021)	Keterlambatan deteksi overload dan unbalance karena minimnya sistem monitoring real-time	Perancangan sistem berbasis mikrokontroler dan SMS Gateway untuk pemantauan beban	Sistem mampu memberikan peringatan dini kondisi overload & unbalance	Fokus pada sistem monitoring, bukan pada penyelesaian teknis pembebanan melalui trafo
3.	Analisis Koordinasi Proteksi Non-Cascade pada Transformator	Gangguan koordinasi proteksi antar rele (OCR incoming dan OCR)	Analisis koordinasi proteksi dengan simulasi sistem kelistrikan	Koordinasi proteksi dapat diperbaiki dengan pengaturan waktu tunda dan	Tidak membahas dampak proteksi pada perubahan konfigurasi beban akibat

	or Distribusi (Romadhoni , Nasution & Utami, 2022)	penyulang) pada sistem distribusi	menggunakan software ETAP	arus setting yang tepat	trafo sisip hubungan antara peningkatan kualitas tegangan tembus dan purifikasi terhadap efisiensi transformator
4.	Pemasangan Trafo Sisip Guna Memperbai ki Tegangan Ujung pada Penyulang Viona (Edianto, 2018)	Tegangan ujung rendah akibat beban jauh dari trafo utama	Studi kasus lapangan dengan perhitungan dan pengukuran tegangan sebelum– sesudah sisip	Tegangan ujung meningkat dan losses menurun setelah pemasangan trafo sisip	Penelitian terbatas pada peningkatan tegangan, belum menilai pemerataan beban antar trafo
5.	Studi Perbaikan Jatuh Tegangan dan Rugi Daya Melalui	Rugi daya tinggi (10,9%) dan tegangan jatuh pada jaringan distribusi	Simulasi dan analisis Perbandingan kondisi sebelum– sesudah	Rugi daya menurun dan Tegangan menjadi lebih stabil	Belum mengukur pengaruh sisip terhadap beban trafo eksisting

	Penambahan Gardu Sisip (Azzahra, 2019)		pemasangan gardu sisip		
6.	Sistem Monitoring Online Real-Time Beban Unbalance dan Overload Trafo Distribusi (Musthofa, 2020)	Tidak adanya sistem pemantauan online untuk kondisi overload/unbalance	Perancangan sistem berbasis IoT untuk monitoring arus dan suhu trafo secara real-time	Sistem efektif mendeteksi kondisi abnormal dan mencegah kerusakan trafo	Fokus monitoring, belum dikaitkan dengan implementasi trafo sisip dan pemerataan beban

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah fasilitas dalam sistem distribusi listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari jaringan tegangan menengah (biasanya 20 kV atau 11 kV) ke jaringan tegangan rendah (400/230 V) yang digunakan oleh konsumen akhir. Gardu distribusi menjadi penghubung antara sistem transmisi tegangan menengah dan sistem distribusi tegangan rendah.

Komponen Utama Gardu Distribusi:

- a) Transformator Distribusi: Perangkat utama yang menurunkan tegangan dari tegangan menengah ke tegangan rendah.
- b) Panel Tegangan Menengah (TM): Digunakan untuk menghubungkan jaringan tegangan menengah ke transformator.
- c) Panel Tegangan Rendah (TR): Mendistribusikan listrik bertegangan rendah ke jaringan distribusi lokal (ke rumah-rumah, kantor, atau industri kecil).
- d) Sistem Proteksi: Berupa pemutus arus (circuit breaker) dan sekering (fuse) yang berfungsi untuk melindungi sistem dari gangguan seperti arus berlebih atau hubung singkat (short circuit).
- e) Peralatan Pengukuran: Biasanya terdapat meter atau alat pengukur tegangan dan arus untuk memantau kondisi operasional gardu.

Fungsi Gardu Distribusi:

- 1. Menurunkan Tegangan: Menerima tegangan dari jaringan tegangan menengah dan menurunkannya menjadi tegangan rendah yang siap disalurkan ke konsumen
- 2. Distribusi Daya Listrik: Mendistribusikan listrik ke jaringan tegangan rendah yang melayani area-area tertentu seperti permukiman atau kawasan industri
- 3. Perlindungan Sistem: Melindungi peralatan dan konsumen dari kerusakan akibat gangguan listrik dengan peralatan proteksi
- 4. Monitoring dan Pengendalian: Memantau kondisi distribusi listrik dan memutus atau menghubungkan listrik sesuai kebutuhan

Jenis Gardu Distribusi:

- 1. Gardu Tiang (Gardu Pole Mounted): Dipasang di atas tiang listrik dan biasanya digunakan di daerah dengan permintaan daya listrik yang rendah hingga menengah
- 2. Gardu Beton (Gardu Indoor): Dipasang di dalam bangunan atau ruangan khusus untuk melindungi peralatan dari cuaca dan lingkungan luar
- 3. Gardu Kios (Gardu Outdoor): Berupa unit gardu yang diletakkan di luar ruangan, sering dijumpai di pinggir jalan atau area perumahan



Gambar 2.2. 1 Gardu Beton



Gambar 2.2. 2 Gardu Tiang



Gambar 2.2. 3 Gardu Kios

2.2.2 Transformator

Transformator distribusi adalah jenis transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari tingkat yang lebih tinggi, biasanya di jaringan distribusi listrik, ke tingkat tegangan yang lebih rendah yang dapat digunakan oleh konsumen akhir seperti rumah tangga, perkantoran, atau industri kecil. Fungsi utama dari transformator distribusi adalah untuk memastikan bahwa energi listrik yang dihasilkan di pembangkit listrik dapat dikirimkan dengan aman dan efisien ke pengguna akhir melalui jaringan distribusi listrik.

Prinsip kerja trafo distribusi didasarkan pada induksi elektromagnetik, yaitu proses pengubahan tegangan listrik melalui medan magnet. Berikut langkah-langkah prinsip kerja transformator distribusi:

1. Masukkan Tegangan Tinggi (Primer):

Tegangan listrik yang lebih tinggi masuk melalui gulungan primer transformator. Gulungan primer adalah lilitan kawat pada inti besi transformator. Ketika arus bolak-balik (AC) mengalir melalui gulungan primer, ia menciptakan medan magnet yang berubah-ubah di sekitar inti besi.

2. Induksi Medan Magnet:

Inti besi trafo bertindak sebagai jalur bagi medan magnet yang berubah-ubah ini. Medan magnet yang dihasilkan oleh arus di gulungan primer menginduksi medan magnet di gulungan sekunder yang terletak di sisi lain dari transformator. Proses induksi elektromagnetik ini terjadi tanpa ada kontak langsung antara gulungan primer dan sekunder.

3. Penurunan Tegangan di Gulungan Sekunder:

Gulungan sekunder memiliki jumlah lilitan kawat yang lebih sedikit daripada gulungan primer. Karena perbedaan jumlah lilitan ini, tegangan yang dihasilkan di gulungan sekunder menjadi lebih rendah. Prinsip ini disebut transformasi tegangan, dan berdasarkan rasio lilitan antara gulungan primer dan sekunder.

4. Keluar Tegangan Rendah (Sekunder):

Tegangan yang sudah diturunkan keluar melalui gulungan sekunder dan dialirkan ke jaringan distribusi listrik untuk digunakan oleh konsumen, seperti rumah tangga atau industri.



Gambar 2.2. 4 Tranformator Distribusi

Pembebanan transformator adalah kondisi dimana trafo menyalurkan daya listrik dari sisi primer ke sisi sekunder sesuai kapasitas dayanya (kVA).

Semakin besar beban yang terhubung, semakin besar arus yang mengalir pada sisi sekunder dan primer.

Jika beban melebihi kapasitas nominal → terjadi overload yang dapat menyebabkan

- Kenaikan suhu lilitan
- Penurunan umur isolasi
- Trip proteksi
- Kerusakan trafo

Pembebanan lebih atau overload adalah suatu kondisi transformator ketika beban terhubung lebih dari kapasitas normal yang dapat ditampung oleh transformator tersebut. Hal ini menyebabkan arus beban melebihi arus beban penuh yang seharusnya ditangani oleh transformator distribusi Menurut peraturan SPLN Nomor 50 Tahun 1997, suatu transformator dianggap mengalami overload jika pembebanannya mencapai lebih dari 80% dari kapasitasnya

2.2.3 Jaringan Tegangan Rendah

Komponen sistem distribusi tenaga listrik yang menghubungkan trafo distribusi dan sambungan rumah disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR) (SR). JTR menyediakan distribusi listrik kepada pelanggan perumahan, industri ringan, dan komersial

Trafo step-down yang terhubung ke konsumen mendistribusikan jaringan tegangan rendah. Di gardu induk, tegangan menengah diubah menjadi tegangan rendah kemudian disalurkan ke pemukiman, tempat kerja, dan lokasi lain sesuai kebutuhan

Jaringan tegangan rendah harus aman bagi pengguna, ramah lingkungan, dan memenuhi standar kualitas layanan teknis

2.2.4. Susut pada Jaringan Tegangan Rendah

Besarnya energi yang hilang pada saat transmisi energi dari gardu induk atau gardu distribusi ke konsumen disebut dengan rugi-rugi atau kehilangan energi. Alasan teknis dan non-teknis dapat mengakibatkan hilangnya energi. Masalah pada jaringan distribusi, seperti saluran listrik yang terlalu panjang, beban yang tidak merata, dan sambungan konduktor yang panas, merupakan sumber kesulitan teknis.

Menekan kehilangan energi diperlukan untuk menurunkan kehilangan energi yang terdistribusi dan meningkatkan efisiensi biaya dasar produksi tenaga listrik.

Perbedaan antara energi yang ditransfer dari gardu distribusi dengan total energi yang tertera pada kWh meter setiap pelanggan disebut rugi-rugi jaringan tegangan rendah.

Berikut Rugi – rugi untuk Penghantar Netral dan Ground Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (R, S, T) mengalir

arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi). Losses pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PN = IN^2 \times RN \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

- PN : losses pada penghantar netral trafo (Watt)
- IN : arus yang mengalir pada netral trafo (A)
- RN : tahanan penghantar netral trafo (Ω)

Sedangkan losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$PG = IG^2 \times RG \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- PG : losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (Watt)
- IG : arus netral yang mengalir ke tanah (A)
- RG : tahanan pembumian netral trafo (Ω)

Dari perhitungan losses yang sudah dilakukan maka dapat dihitung energi listrik yang hilang selama 24 jam (satu hari) yaitu :

$$\text{Total Energi Hilang} = (\text{Losses Pada LWBP} \times 20 \text{ jam}) + (\text{Losses Pada WBP} \times 4 \text{ jam}) \dots\dots(2.3)$$

Jatuh tegangan atau drop voltage merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik. Pada jaringan listrik bolak-balik, besarnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh impedansi, Panjang saluran, luas penampang, serta beban dan faktor daya

Ketika tegangan diketahui juga dapat menggunakan persamaan per unit. Dalam persamaan per unit, semua besaran listrik tegangan dihasilkan sebagai persentase dari nilai base atau referensi yang ditetapkan

$$\text{Nilai Per Unit} = \frac{\text{Nilai sesungguhnya}}{\text{Nilai Basis}} \times 100 \dots \dots \dots (2.4)$$

2.2.5. Metode Penanganan Pembebanan Lebih Transformator Distribusi

Pembebanan berlebih (overload) pada transformator distribusi merupakan kondisi dimana beban yang disuplai oleh transformator melebihi kapasitas nominalnya. Kondisi ini dapat menyebabkan kenaikan temperatur kumparan, penurunan kualitas tegangan, serta mempercepat proses penuaan isolasi transformator. Oleh karena itu, diperlukan metode penanganan yang tepat agar transformator dapat beroperasi pada kondisi aman dan optimal.

Secara umum, terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengatasi pembebanan berlebih pada transformator distribusi, yaitu pemasangan trafo sisip, uprating transformator, dan manajemen pembebanan transformator.

1. Pemasangan Trafo Sisip

Pemasangan trafo sisip merupakan metode penanganan overload dengan cara menambahkan transformator baru pada jaringan distribusi yang memiliki pembebanan tinggi. Trafo sisip dipasang untuk mengambil sebagian beban dari transformator utama sehingga terjadi pemerataan beban antar transformator.

Prinsip kerja metode ini adalah membagi beban pelanggan ke dua atau lebih transformator sehingga arus yang mengalir pada masing-masing transformator menjadi lebih kecil. Dengan demikian, tingkat pembebanan transformator dapat diturunkan hingga berada pada batas aman sesuai standar operasi.

Kelebihan metode trafo sisip antara lain mampu menurunkan pembebanan secara signifikan, meningkatkan keandalan sistem distribusi, serta memperpanjang umur teknis transformator. Namun, metode ini membutuhkan biaya investasi yang relatif besar karena memerlukan pengadaan transformator baru dan pembangunan jaringan tambahan.

2. Uprating Transformator

Uprating transformator merupakan metode peningkatan kapasitas transformator dengan cara mengganti transformator lama dengan transformator yang

memiliki kapasitas daya lebih besar. Metode ini dilakukan apabila kondisi overload terjadi secara permanen dan pertumbuhan beban diperkirakan terus meningkat.

Keunggulan metode uprating adalah mampu meningkatkan kapasitas daya tanpa perlu menambah jumlah gardu distribusi. Selain itu, metode ini tidak memerlukan perubahan konfigurasi jaringan distribusi secara signifikan. Namun, biaya pengadaan transformator baru relatif tinggi dan proses penggantian memerlukan waktu pemadaman yang cukup lama.

3. Manajemen Pembebanan Transformator

Manajemen pembebanan merupakan metode operasional yang dilakukan dengan cara mengatur ulang distribusi beban pelanggan antar transformator. Metode ini dilakukan dengan memindahkan sebagian pelanggan dari transformator yang mengalami overload ke transformator lain yang masih memiliki kapasitas cadangan.

Metode ini memiliki kelebihan yaitu biaya yang relatif rendah dan dapat dilakukan dengan cepat tanpa memerlukan investasi peralatan baru. Namun, efektivitasnya terbatas dan biasanya hanya digunakan sebagai solusi sementara sebelum dilakukan tindakan permanen seperti pemasangan trafo sisip atau uprating transformator.

4. Perbandingan Metode Penanganan Overload Transformator

Ketiga metode penanganan overload transformator memiliki karakteristik yang berbeda. Pemasangan trafo sisip merupakan metode yang paling efektif dalam menurunkan pembebanan secara signifikan dan meningkatkan keandalan sistem distribusi. Uprating transformator lebih cocok digunakan untuk kondisi pertumbuhan beban jangka panjang, sedangkan manajemen pembebanan lebih efektif sebagai solusi jangka pendek.

Pemilihan metode penanganan overload harus mempertimbangkan kondisi teknis jaringan, tingkat pembebanan transformator, biaya investasi, serta kebutuhan keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

2.2.6. Kapasitas Daya Transformator

Pengertian Kapasitas Daya Transformator adalah kemampuan maksimum suatu transformator dalam menyalurkan daya listrik dari sisi primer ke sisi sekunder secara terus-menerus tanpa menyebabkan kenaikan suhu melebihi batas yang diizinkan oleh standar isolasi.

Kapasitas daya transformator dinyatakan dalam satuan Volt-Ampere (VA) atau lebih umum dalam kilo Volt-Ampere (kVA) dan bukan dalam kW, karena transformator bekerja berdasarkan daya semu (S) yang merupakan kombinasi antara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q).

Secara umum, kapasitas ini telah ditentukan oleh pabrikan berdasarkan:

- Luas penampang inti besi
- Ukuran lilitan kawat
- Sistem pendinginan
- Kelas isolasi

2.2.7. Daya Semu pada Transformator

Daya semu adalah total daya listrik yang mengalir dalam suatu sistem tenaga listrik, yang merupakan kombinasi antara daya aktif dan daya reaktif. Pada transformator, daya semu dinyatakan dalam satuan Volt-Ampere (VA) atau kilo Volt-Ampere (kVA).

Transformator dirancang berdasarkan daya semu karena kemampuan penghantar arus dan pemanasan lilitan ditentukan oleh besarnya tegangan dan arus, bukan oleh faktor daya beban. Secara matematis, daya semu dilambangkan dengan simbol S.

Rumus Daya Semu pada Transformator:

- Sistem 1 Fasa: $S = V \times I \dots \dots \dots (2.5)$

- Sistem 3 Fasa: $S = \sqrt{3} \times VL \times IL \dots \dots \dots (2.6)$

Jika dalam kVA

$$S \text{ (kVA)} = \frac{\sqrt{3} \times V_L \times I_L}{1000} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

S = Daya semu (VA atau kVA)

V_L = Tegangan Line antar fasa (Volt)

I = Arus line (Ampere)

√3 = 1,732 (konstanta sistem 3 fasa)

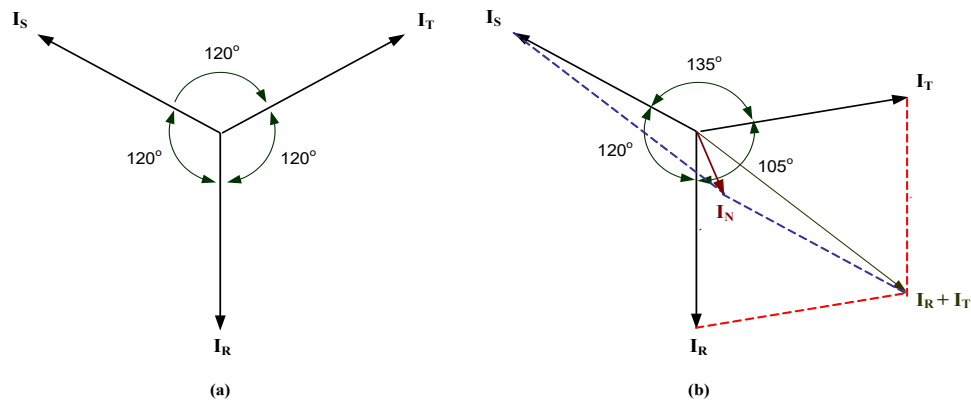
2.2.8. Ketidakseimbangan Beban

Keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2.2. 5 Vektor Diagram Arus

Dimana pada gambar 2.2.5 (a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 2.2.5 (b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.2.9. Keandalan Sistem Distribusi Listrik

Keandalan sistem distribusi ditentukan oleh kemampuan sistem dalam menjaga kontinuitas suplai listrik. Menurut (Susanto, 2022) keandalan sistem dipengaruhi oleh

1. Frekuensi gangguan (SAIFI – System Average Interruption Frequency Index)
2. Durasi gangguan (SAIDI – System Average Interruption Duration Index)
3. Tegangan dan daya yang stabil

Pemasangan trafo sisip merupakan salah satu strategi yang terbukti meningkatkan keandalan karena mampu mengurangi beban lebih pada satu titik, sehingga sistem distribusi bekerja lebih seimbang dan efisien (Harefa M. &, 2023)

2.2.10. Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk sampai ke pelanggan akhir secara aman, andal, dan dengan kualitas tegangan yang sesuai standar.

Sistem distribusi merupakan tahap terakhir dalam proses penyaluran tenaga listrik setelah energi dihasilkan oleh pembangkit dan ditransmisikan melalui jaringan tegangan tinggi.

Secara umum alur penyaluran energi listrik adalah sebagai berikut:

Pembangkit → Transmisi → Gardu Induk → Distribusi → Konsumen

Di Indonesia, sistem distribusi tenaga listrik dikelola oleh PT PLN (Persero) sebagai perusahaan penyedia tenaga listrik nasional.

Sistem distribusi sangat penting karena langsung berhubungan dengan pelanggan, sehingga kualitas pelayanan listrik sangat ditentukan oleh kinerja sistem distribusi.

Fungsi Sistem Distribusi Tenaga Listrik :

➤ Menyalurkan Energi Listrik ke Konsumen

Fungsi utama sistem distribusi adalah menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju pelanggan akhir seperti rumah tangga, industri, dan fasilitas umum. Penyaluran ini harus dilakukan secara kontinu dan stabil agar kebutuhan energi listrik masyarakat dapat terpenuhi.

➤ Menjaga Kualitas Tegangan

Sistem distribusi harus mampu menjaga tegangan listrik agar tetap berada dalam batas standar yang diizinkan. Tegangan yang terlalu rendah dapat menyebabkan peralatan listrik tidak bekerja optimal, sedangkan tegangan terlalu tinggi dapat merusak peralatan pelanggan

➤ Menjamin Keandalan Sistem

Sistem distribusi harus dirancang agar gangguan dapat diminimalkan dan pemadaman listrik dapat dihindari

Keandalan sistem ditentukan oleh:

- Sistem proteksi yang baik
- Desain jaringan yang tepat
- Pembebanan yang merata

➤ Membagi Beban Secara Merata

Sistem distribusi juga berfungsi membagi beban listrik agar tidak terjadi pembebanan berlebih pada transformator atau jaringan tertentu. Pembagian beban yang tidak merata dapat menyebabkan overheating dan kerusakan peralatan.

Struktur Sistem distribusi terdiri dari beberapa bagian utama yang bekerja secara berurutan dalam menyalurkan energi listrik:

1. Gardu Induk (GI)

Gardu induk merupakan titik awal sistem distribusi

Fungsi gardu induk adalah:

- Menurunkan tegangan dari jaringan transmisi (150 kV atau 70 kV) menjadi tegangan distribusi menengah (20 kV).
- Mengatur dan melindungi sistem distribusi.

2. Jaringan Tegangan Menengah (JTM)

Jaringan tegangan menengah merupakan jaringan yang menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke gardu distribusi. Tegangan yang digunakan biasanya adalah 20 kV. Jaringan ini dapat berupa: Saluran udara (SUTM) dan Kabel tanah (SKTM). Fungsi utama JTM adalah membawa daya listrik dalam jarak yang cukup jauh sebelum diturunkan tegangannya di gardu distribusi.

3. Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah tempat transformator distribusi dipasang untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Tegangan yang diturunkan biasanya dari: 20 kV → 400/230 Volt.

Gardu distribusi dilengkapi dengan Transformator distribusi, Panel distribusi tegangan rendah, Sistem proteksi

4. Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Jaringan tegangan rendah merupakan jaringan terakhir yang menyalurkan listrik langsung ke pelanggan. Tegangan yang digunakan adalah: 380 Volt untuk 3 fasa dan 220 Volt untuk 1 fasa

5. Jenis Sistem Distribusi Berdasarkan Konfigurasi Jaringan

Berdasarkan bentuk jaringan, sistem distribusi dibagi menjadi beberapa jenis.

➤ Sistem Distribusi Radial

Sistem radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Pada sistem ini, listrik mengalir dari satu sumber menuju pelanggan melalui satu jalur. Kelebihan sistem ini Struktur nya sederhana, Biaya yang murah dan Mudah dioperasikan. Ada sedikit kekurangan sistem radial ini, Jika terjadi gangguan pada satu titik, seluruh pelanggan di jalur tersebut akan padam.

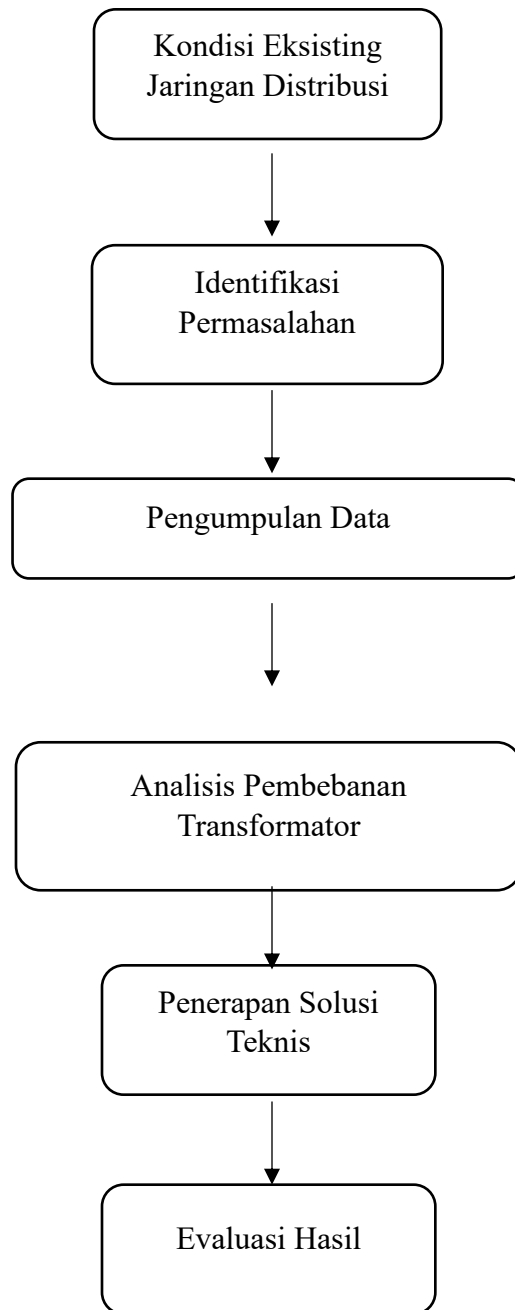
➤ Sistem Loop (Ring)

Pada sistem loop, jaringan distribusi membentuk lingkaran sehingga suplai listrik dapat berasal dari dua arah. Kelebihan sistem ini mempunyai Keandalan tinggi, untuk titik gangguan dapat diminimalisir, dan Pelanggan tetap mendapat suplai dari jalur lain

➤ Sistem Jaringan (Grid)

Sistem grid digunakan di daerah perkotaan dengan kebutuhan listrik tinggi. Sistem ini memiliki banyak sumber dan jalur distribusi. Adapun kekurangan sistem ini untuk kualitas sangat handal dan Fleksibel dalam pengoperasian. Sedangkan kekurangan sistem ini Biaya pembangunan mahal dan Sistem proteksi lebih kompleks

2.3 Kerangka Pemikiran



Tabel 2. 2 Kerangka Pemikiran