STUDI EVALUASI SISTEM DISTRIBUSI INSTALASI LISTRIK AREA PRODUKSI PABRIK KELAPA SAWIT PTPN XIII NGABANG BERDASARKAN SINGLE LINE DIAGRAM

Ariski Alfajar[1], M Iqbal Arsyad[2], Zainal Abidin[3]
[1,2,3]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia,
[1]ariskialfajar@student.untan.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi terhadap sistem distribusi listrik di area produksi Pabrik Kelapa Sawit PTPN XIII Ngabang berdasarkan Single Line Diagram (SLD). Evaluasi dilakukan untuk memastikan kemampuan hantar arus kabel, penurunan tegangan, serta sistem proteksi yang digunakan telah sesuai dengan standar ketenagalistrikan tahun 2020. Data diperoleh melalui observasi lapangan, dokumentasi, dan sumber sekunder, kemudian dianalisis secara teoritis dan simulatif. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kapasitas kabel dan sistem proteksi yang ada sudah memenuhi standar dan menunjang kebutuhan operasional pabrik. Dengan demikian, sistem distribusi listrik di pabrik tersebut mampu beroperasi dengan aman, andal, dan efisien. Berdasarkan hasil tersebut, disarankan peningkatan koordinasi sistem proteksi dan pemeliharaan rutin untuk memastikan keberlanjutan performa sistem secara optimal.

Kata Kunci: Distribusi Listrik, Sistem Proteksi, Kapasitas Arus, Penurunan Tegangan, Standar Ketenagalistrikan, Sistem Distribusi, Keandalan Sistem

Abstract

This study aims to evaluate the electrical distribution system in the production area of PTPN XIII Ngabang Palm Oil Factory based on the Single Line Diagram (SLD). The evaluation was conducted to ensure that the cable current-carrying capacity, voltage drop, and protection system meet the standards set by the 2020 electrical regulations. Data collection involved field observation, documentation, and secondary sources, followed by theoretical and simulation-based calculations. The results indicate that the existing cable capacity and protection system are compliant with standards and capable of supporting the factory's operational needs. Therefore, the electrical distribution system in the factory can operate safely, reliably, and efficiently. Based on these findings, it is recommended to improve coordination of the protection system and routine maintenance to sustain optimal system performance.

Keywords: *Electrical Distribution, Protection System, Current Capacity, Voltage Drop, Electrical Standards, Unbalanced Load, System Improvement.*

Article History
Received: July 2026
Reviewed: July 2026
Published: July 2026

Plagiarism Checker No 237.u873247.fh8374
Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi listrik merupakan bagian yang mendukung kelancaran proses produksi di Pabrik Kelapa Sawit PTPN XIII Ngabang. Keandalan sistem diperlukan agar penyaluran tenaga listrik menuju mesin, panel, dan peralatan produksi dapat berlangsung secara kontinu. Gangguan pada instalasi dapat menyebabkan penghentian proses produksi, kerusakan peralatan, serta meningkatnya risiko keselamatan kerja.

Konfigurasi sistem distribusi listrik umumnya digambarkan melalui *Single Line Diagram* (SLD). Diagram tersebut memberikan informasi mengenai hubungan antara transformator, panel distribusi, penghantar, peralatan proteksi, dan beban. SLD juga menjadi dokumen teknis yang digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian instalasi listrik dengan kondisi sistem yang diterapkan di lapangan.

Evaluasi diperlukan karena kemampuan penghantar dan peralatan proteksi harus disesuaikan dengan kapasitas sumber, besarnya beban, panjang saluran, serta karakteristik instalasi. Ketidaksesuaian ukuran kabel dapat menyebabkan peningkatan suhu dan penurunan tegangan, sedangkan pemilihan kapasitas pengaman yang tidak tepat dapat mengurangi kemampuan sistem dalam mengatasi beban lebih dan gangguan hubung singkat.

Berdasarkan data penelitian, analisis dilakukan pada sistem distribusi dengan kapasitas transformator 1.730 kVA dan estimasi beban total sebesar 1.500 kVA. Sistem bekerja pada tegangan sekunder 400 V dengan jarak transformator menuju beban utama sekitar 150 meter. Kabel utama yang dianalisis adalah kabel NYY 3 × 150 mm^2. Penelitian ini mengevaluasi kemampuan hantar arus kabel, penurunan tegangan, kapasitas MCCB, proteksi hubung singkat, serta kesesuaian proteksi arus lebih dan proteksi jarak. Penilaian dilakukan berdasarkan SLD, data teknis instalasi, PUIL 2020, dan Peraturan Menteri ESDM Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2020. Hasil analisis diharapkan dapat digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi bagi peningkatan keamanan dan keandalan sistem distribusi listrik di area produksi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kemampuan hantar arus sistem distribusi berdasarkan SLD, kapasitas transformator, dan beban pabrik?
2. Bagaimana menentukan ukuran kabel yang sesuai agar mampu menyalurkan beban dengan penurunan tegangan dalam batas standar?
3. Bagaimana menentukan kapasitas MCCB dan proteksi hubung singkat yang sesuai?
4. Bagaimana kesesuaian pengaturan proteksi arus lebih dan proteksi jarak pada sistem distribusi?
5. Bagaimana kesesuaian kabel dan sistem proteksi berdasarkan hasil perhitungan dan standar yang digunakan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan menghitung kemampuan hantar arus, menentukan ukuran kabel, mengevaluasi penurunan tegangan dan kapasitas MCCB, menilai kesesuaian sistem proteksi, serta menyusun rekomendasi perbaikan berdasarkan kebutuhan beban dan konfigurasi distribusi listrik.

1.4 Pembatasan Masalah

Analisis dibatasi pada sistem distribusi utama dari transformator menuju beban pabrik. Perhitungan dilakukan secara teoritis dan simulatif berdasarkan SLD, data kabel, asumsi beban dan impedansi, serta standar ketenagalistrikan tahun 2020. Penelitian tidak membahas perubahan beban mendadak, pengaruh suhu lingkungan, kondisi pemasangan khusus, maupun koordinasi proteksi secara menyeluruh pada seluruh jaringan.

1.5 Sistematika Penulisan

Bab I memuat pendahuluan. Bab II membahas teori instalasi, distribusi tenaga listrik, transformator, penghantar, dan proteksi. Bab III menjelaskan metode dan data penelitian. Bab IV menyajikan hasil perhitungan serta pembahasan. Bab V memuat kesimpulan dan saran.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Terdahulu

Nisrina (2021) meneliti pengaruh pemasangan gardu distribusi sisipan terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV. Penelitian dilakukan pada Penyulang Raya 15 dan Penyulang Urian 3 melalui studi aliran daya menggunakan metode pendekatan langsung (*Direct Method*). Lima skenario yang digunakan meliputi penambahan satu, dua, dan tiga gardu, penambahan satu gardu berkapasitas lebih besar, serta penempatan gardu pada bus baru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah dan kapasitas gardu sisipan diikuti kenaikan rugi daya akibat bertambahnya arus dan beban pada gardu. Perbaikan profil tegangan dan rugi daya direkomendasikan melalui injeksi daya reaktif, penggantian penghantar, atau pemasangan *distributed generation*.

Gustiana (2021) menganalisis distribusi tegangan dan arus bocor pada isolator rantai menggunakan eliminasi Gauss berbasis hukum Kirchhoff melalui MATLAB. Simulasi dilakukan pada tegangan 150 kV, 275 kV, 500 kV, dan 1.000 kV dengan variasi empat hingga tujuh isolator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi tegangan dinilai lebih baik ketika jumlah isolator tidak melebihi enam buah, sedangkan penggunaan tujuh isolator menghasilkan nilai efisiensi negatif. Perubahan hasil tersebut dipengaruhi oleh nilai kapasitansi, jumlah isolator, jarak antarisolator, serta jarak konduktor terhadap klem.

Doniwirawan (2022) menganalisis ketidakseimbangan beban, arus netral, rugi daya, dan kerugian biaya pada transformator distribusi di Penyulang Pangsuma PT PLN (Persero) Rayon Mempawah. Penelitian menggunakan metode deskriptif analitik dengan bantuan Microsoft Excel. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan arus netral akibat ketidakseimbangan beban diikuti oleh peningkatan rugi daya dan biaya kerugian.

Berbeda dari penelitian tersebut, penelitian ini mengevaluasi sistem distribusi listrik di PTPN XIII Ngabang berdasarkan *Single Line Diagram* (SLD). Analisis menggabungkan kemampuan hantar arus, penurunan tegangan, pengaturan proteksi, dan koordinasi sistem dengan menggunakan data lapangan serta dokumen teknis instalasi aktual.

2.2 Instalasi Listrik Tegangan Rendah

a. Pengertian Instalasi Listrik

Instalasi listrik merupakan rangkaian peralatan yang saling terhubung untuk menyalurkan energi listrik dari sumber menuju titik pemanfaatan. Komponennya meliputi kabel, sakelar, stopkontak, sekering, dan peralatan lain yang mendukung penggunaan tenaga listrik.

b. Tujuan Instalasi Listrik

Tujuan pembelajaran instalasi listrik mencakup pemahaman konsep dan komponen dasar, penerapan instalasi penerangan, instalasi tenaga, serta instalasi motor listrik.

c. Persyaratan Instalasi Listrik

Pedoman instalasi listrik di Indonesia berawal dari *Algemene Voorschriften voor Electrische Sterkstroom Instalaties* (AVE) N 2004. Pedoman tersebut diterjemahkan dan diterbitkan sebagai Norma Indonesia NI 6 atau PUIL 1964, kemudian disempurnakan melalui PUIL 1977, PUIL 1987, dan PUIL 2000.

2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

a. Pengertian Sistem Distribusi

Sistem distribusi menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju konsumen melalui Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Distribusi primer menggunakan tegangan 6 kV, 10 kV, atau 20 kV. Distribusi sekunder menyalurkan energi dari gardu pembagi menuju pusat beban pada tegangan 220/380 V untuk perumahan dan 440/550 V untuk industri.

b. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Pada jaringan tegangan rendah, energi dari pembangkit dinaikkan tegangannya untuk proses transmisi, kemudian diturunkan menjadi 20 kV pada jaringan distribusi primer. Transformator distribusi selanjutnya menurunkan tegangan menjadi 220/380 V sebelum energi listrik disalurkan kepada konsumen melalui jaringan distribusi sekunder.

c. Konfigurasi Sistem Distribusi pada Industri

Sistem distribusi listrik pada fasilitas industri terdiri atas sumber tenaga, transformator, panel distribusi utama, penghantar, perangkat proteksi, dan beban. Setiap komponen dihubungkan dalam suatu konfigurasi yang digambarkan melalui *Single Line Diagram*. Pada sistem yang memiliki sumber utama dan sumber cadangan, kontinuitas pasokan dapat didukung melalui *Automatic Transfer Switch* (ATS), yang memindahkan suplai secara otomatis ketika sumber utama mengalami gangguan. Konfigurasi tersebut memungkinkan penyaluran tenaga, pengaturan proteksi, pemeliharaan, dan pengawasan sistem dilakukan secara terstruktur.

2.4 Transformator Distribusi

a. Pengertian Transformator

Transformator digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Pada gardu distribusi, transformator *step-down* menurunkan tegangan SUTM 20 kV menjadi sekitar 400 V. Transformator dengan sistem pendinginan ONAN disebut dapat dibebani secara kontinu sebesar 80% pada suhu rata-rata 30°C dan hingga 110% untuk waktu kurang dari empat jam.

b. Prinsip Kerja Transformator

Transformator bekerja melalui induksi elektromagnetik antara kumparan primer dan sekunder yang terpisah secara elektrik, tetapi terhubung melalui inti magnet. Tegangan bolak-balik pada sisi primer menghasilkan fluks magnet yang menginduksi tegangan pada sisi sekunder. Ketika sisi sekunder dibebani, arus mengalir dan energi ditransfer secara magnetis.

c. Kapasitas dan Pembebanan Transformator

Kapasitas transformator dinyatakan dalam kVA atau MVA, sedangkan pembebanan menunjukkan daya aktual yang disalurkan. Parameter pembebanan meliputi daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). Persentase pembebanan dihitung dengan:

$$\text{Persentase pembebanan} = \frac{\text{Daya yang dibebankan } (S)}{\text{Kapasitas maksimum transformator}} \times 100\% \qquad (1)$$

Pembebanan dipengaruhi oleh beban puncak, beban rata-rata, distribusi beban, faktor daya, dan efisiensi. Beban berlebih dapat meningkatkan suhu, memperpendek umur transformator, serta merusak isolasi.

2.5 Penghantar Listrik

a. Jenis-Jenis Penghantar

Penghantar listrik dapat berupa logam konduktor, karbon, larutan elektrolit, semikonduktor, dan polimer konduktif. Tembaga dan aluminium banyak digunakan karena mempunyai konduktivitas tinggi, sedangkan bahan lain digunakan sesuai dengan karakteristik aplikasinya.

b. Kemampuan Hantar Arus

Menurut PUIL 2011, luas penampang minimum konduktor sirkuit daya dan pencahayaan adalah 1,5 mm². Kuat Hantar Arus (KHA) sirkuit akhir yang memasok satu beban tidak boleh kurang dari 125% arus pengenal beban penuh. Arus nominal dihitung dengan:

$$I_n = \frac{P_{1\phi}}{V_f \times \cos\phi} \qquad (2)$$

$$I_n = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos\phi} \qquad (3)$$

$$KHA = 125\% \times I_n \qquad (4)$$

$$I_{rat} = 115\% \times I_n \qquad (5)$$

c. Faktor Koreksi Kemampuan Hantar Arus

Faktor koreksi digunakan untuk menyesuaikan kapasitas arus berdasarkan suhu lingkungan, metode pemasangan, ventilasi, penampang, bahan penghantar, dan kondisi isolasi. Perhitungannya dinyatakan sebagai:

$$I_{total} = I_{nominal} \times F_k \qquad (6)$$

Dalam persamaan tersebut, I_{total}merupakan arus aman setelah koreksi, $I_{nominal}$adalah kapasitas arus dasar, dan $F_k$merupakan faktor koreksi.

d. Pemilihan Ukuran Penghantar

Tingkat penurunan tegangan menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan ukuran penghantar. Dalam penelitian ini, batas penurunan tegangan yang digunakan adalah 3% dari tegangan sumber sebagaimana mengacu pada sumber

2.6 Sistem Proteksi Instalasi Listrik

a. Pengertian dan Fungsi Sistem Proteksi

Sistem proteksi melindungi generator, transformator, penghantar, dan peralatan lain dari gangguan agar kerusakan tidak meluas. Fungsinya adalah mengurangi kerusakan peralatan, melokalisasi bagian yang terganggu, menjaga kontinuitas pelayanan, dan melindungi manusia dari bahaya listrik.

b. Jenis-Jenis Pengaman

Peralatan proteksi meliputi *circuit breaker*, relai proteksi, transformator arus, transformator tegangan, kabel kontrol, dan baterai.

c. Koordinasi Pengaman

Koordinasi pengaman dilakukan agar setiap perangkat bekerja secara selektif, andal, dan terpadu. Koordinasi dapat diterapkan berdasarkan waktu kerja dan pengaturan parameter. Tahapannya mencakup identifikasi perangkat, penentuan batas operasi, pengaturan *setting*, serta pengujian atau simulasi.

2.7 Panel Distribusi Listrik

a. Low Voltage Main Distribution Panel

Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP) merupakan panel utama yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah menuju sejumlah beban. Panel ini dapat dilengkapi dengan MCCB, ELCB tiga fasa, MCB satu fasa, *digital power meter*, *current transformer*, ACB, *fuse*, *busbar*, lampu indikator, dan sistem pembumian. MCCB berfungsi memutus aliran listrik ketika terjadi beban lebih atau hubung singkat, sedangkan sistem pembumian digunakan untuk mengurangi risiko akibat kebocoran arus.

b. Panel Hubung Bagi

Panel Hubung Bagi (PHB) berfungsi sebagai tempat penyambungan, pemutusan, dan penyaluran arus dari jaringan distribusi menuju beban melalui sakelar dan perangkat pemutus.

2.8 Standar Persyaratan Instalasi Listrik

a. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2020

PUIL 2020 digunakan sebagai acuan perencanaan, pemasangan, pengujian, dan pemeliharaan instalasi listrik dengan memperhatikan keselamatan, keandalan, dan efisiensi energi.

b. Standar IEC

Standar IEC yang disebutkan meliputi IEC 60038 mengenai tegangan sistem dan IEC 60364 mengenai instalasi listrik.

2.9 Dasar Perhitungan

a. Perhitungan Arus Beban

Arus beban digunakan sebagai dasar untuk menentukan ukuran kabel dan perangkat pengaman:

$$I_b = \frac{P}{V \times \cos \phi} \qquad (7)$$

Untuk beban 10 kW, tegangan 400 V, dan faktor daya 0,85, diperoleh:

$$I_b = \frac{10.000}{400 \times 0{,}85} \approx 29{,}41 \text{ A} \qquad (8)$$

b. Perhitungan Kemampuan Hantar Arus

Kemampuan hantar arus secara empiris dinyatakan sebagai:

$$I = k \times A^n \qquad (9)$$

I merupakan arus maksimum, Aadalah luas penampang, sedangkan k dan n merupakan koefisien yang bergantung pada jenis kabel dan kondisi pemasangan.

c. Perhitungan Pemilihan Pengaman

Pemilihan pengaman didasarkan pada arus beban dan karakteristik peralatan:

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \eta} \qquad (10)$$

$$I_{\text{pengaman}} = 1{,}25 \times I_b \qquad (11)$$

Untuk motor atau beban dengan arus awal tinggi, pemilihan pengaman perlu mempertimbangkan arus *starting*.

d. Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator

Persentase pembebanan transformator dihitung dengan:

$$\text{Persentase pembebanan} = \frac{\text{Daya beban}}{\text{Kapasitas transformator}} \times 100\% \qquad (12)$$

Nilai yang mendekati 100% menunjukkan bahwa transformator bekerja mendekati kapasitas maksimumnya dan berisiko mengalami pemanasan berlebih apabila pembebanan tidak dikendalikan.

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit PTPN XIII Ngabang. Objek penelitian difokuskan pada evaluasi sistem distribusi instalasi listrik di area produksi berdasarkan *Single Line Diagram* (SLD).

3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan meliputi laptop, kamera atau *smartphone*, Microsoft Word, dan alat tulis. Peralatan tersebut digunakan untuk mendukung kegiatan dokumentasi, pengolahan data, dan penyusunan laporan penelitian.

3.3 Data Penelitian

Penelitian menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan, sedangkan data sekunder berasal dari dokumen teknis, standar, dan literatur yang berkaitan dengan sistem distribusi listrik.

Data primer yang digunakan meliputi:

1. Spesifikasi transformator;
2. Data panel LVMDP;
3. Data panel distribusi pabrik; dan
4. Dokumentasi instalasi listrik.

a. Data *Single Line Diagram* Transformator

Data sistem distribusi diperoleh dari SLD transformator yang ditampilkan pada Gambar 3.1. Sistem utama menggunakan transformator berkapasitas 2.000 kVA untuk menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 0,4 kV. Transformator terhubung dengan panel distribusi utama yang berfungsi mengatur dan menyalurkan daya menuju beban.

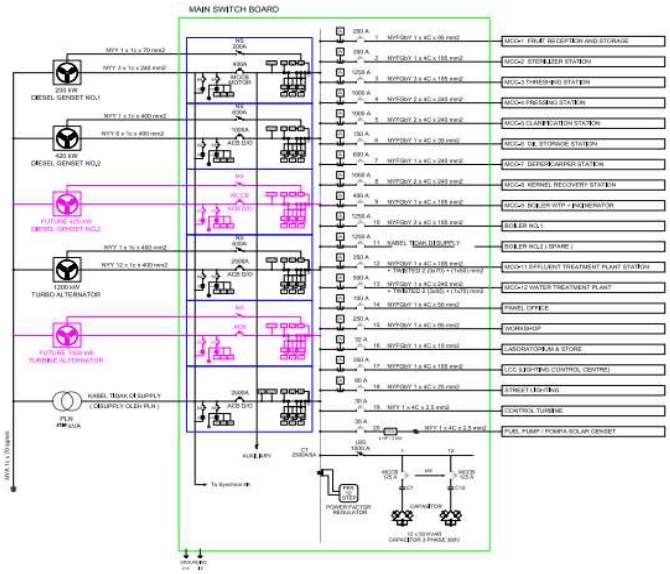
Jalur dari transformator menuju panel utama menggunakan kabel NYY berukuran 3 × 300 mm². Sistem dilengkapi perangkat proteksi MCB atau MCCB untuk melindungi instalasi dari gangguan listrik.

b. Spesifikasi Transformator Distribusi

Berdasarkan data SLD, sistem distribusi menggunakan transformator berkapasitas 2.000 kVA dengan tegangan primer 20 kV dan tegangan sekunder 0,4 kV. Transformator bekerja pada frekuensi 50 Hz dengan arus nominal sisi primer sebesar 436 A. Sistem proteksinya meliputi relai arus dan tegangan, *fuse*, serta pemutus otomatis. Data mengenai jenis transformator, sistem pendinginan, efisiensi, rugi tanpa beban, rugi beban, temperatur maksimum, dan berat belum digunakan sebagai data aktual karena masih tercantum sebagai data umum dan perlu disesuaikan dengan *nameplate* transformator.

c. *Single Line Diagram* Panel LVMDP

Gambar 1. Single Line Diagram LVMDP.

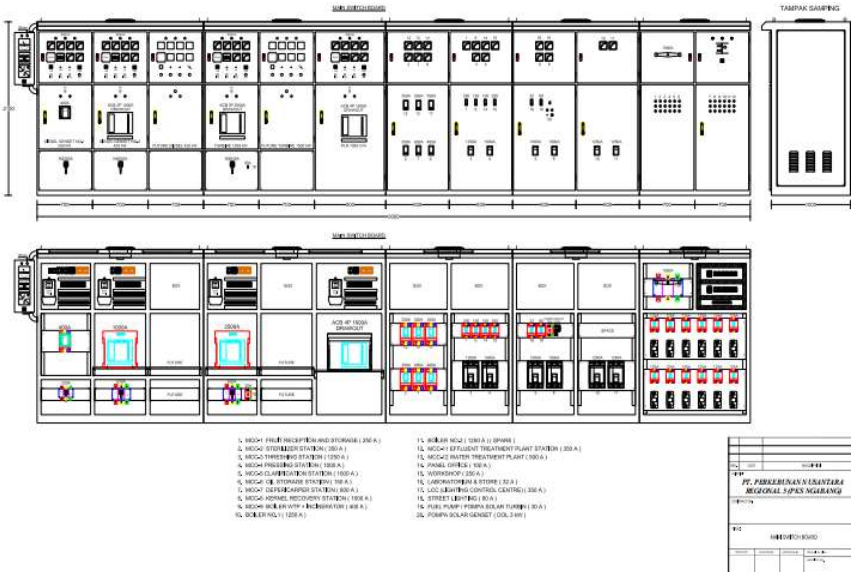


Sumber: Data peneliti pribadi

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara transformator, panel utama, jalur penghantar, perangkat proteksi, dan beban pada sistem distribusi listrik area produksi. SLD tersebut digunakan untuk mengidentifikasi konfigurasi sistem, kapasitas penghantar, dan perangkat proteksi yang terpasang. Data yang diperoleh kemudian menjadi dasar dalam mengevaluasi kemampuan hantar arus, penurunan tegangan, serta kesesuaian sistem proteksi berdasarkan PUIL 2020 dan ketentuan ketenagalistrikan yang digunakan dalam penelitian.

d. *Single Line Diagram* Panel Pabrik

Gambar 2. Single Line Digaram LVMDP ATS



Sumber: Data peneliti pribadi

Gambar 2 memperlihatkan konfigurasi panel utama dan *Automatic Transfer Switch* (ATS). ATS digunakan untuk memindahkan pasokan dari sumber utama ke sumber cadangan ketika terjadi gangguan. Sistem ini mendukung kontinuitas penyaluran listrik menuju fasilitas produksi.

e. Data Kabel

Data kabel meliputi jenis, ukuran penampang, panjang, resistansi, dan kemampuan hantar arus. Informasi tersebut digunakan dalam perhitungan kapasitas penghantar dan penurunan tegangan. Gambar 3.4 menampilkan spesifikasi kabel NYY 0,6/1 kV sebagai acuan teknis.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur dan observasi lapangan. Studi literatur digunakan untuk memperoleh dasar teori, standar teknis, dan ketentuan mengenai penghantar serta sistem proteksi. Observasi dilakukan untuk mengamati kondisi instalasi, panel distribusi, penghantar, perangkat proteksi, dan peralatan listrik di area produksi.

3.5 Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi konfigurasi instalasi, mengolah data observasi dan dokumen teknis, serta mengevaluasi kesesuaian penghantar berdasarkan PUIL 2020. Hasil evaluasi kemudian dibandingkan dengan ketentuan yang digunakan sebelum ditarik kesimpulan.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan SLD dan data teknis, inspeksi lapangan, verifikasi kesesuaian data dengan kondisi aktual, evaluasi sistem distribusi, pengukuran tegangan, arus, dan daya, analisis performa, penyusunan rekomendasi, serta penarikan kesimpulan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi Sistem Distribusi Berdasarkan *Single Line Diagram*

Evaluasi dilakukan terhadap sistem distribusi listrik Pabrik Kelapa Sawit PTPN XIII Ngabang berdasarkan *Single Line Diagram* (SLD). Analisis mencakup arus beban, kemampuan hantar arus kabel, penurunan tegangan, kapasitas pemutus arus, serta kesesuaian sistem proteksi.

Data dasar yang digunakan meliputi kapasitas transformator 1.730 kVA, tegangan primer 20 kV, tegangan sekunder 400 V, estimasi beban total 1.500 kVA, faktor daya 0,8, dan jarak transformator menuju beban utama sejauh 150 meter. Kabel utama yang dianalisis adalah NYY 3 × 150 mm^2 dengan resistansi 0,095 Ω/km.

4.2 Perhitungan Arus dan Kemampuan Hantar Kabel

Berdasarkan beban total 1.500 kVA pada sistem tiga fasa 400 V, arus maksimum setelah mempertimbangkan faktor keamanan diperoleh sebesar 2.704 A. Kabel NYY 150 mm^2 disebut memiliki kemampuan hantar arus sekitar 380–420 A. Dengan menggunakan kapasitas 400 A untuk setiap kabel, dibutuhkan sekurang-kurangnya tujuh kabel NYY 3 × 150 mm^2 yang dipasang secara paralel. Kemampuan hantar arus total tujuh kabel mencapai sekitar 2.800 A. Nilai tersebut lebih besar daripada arus maksimum 2.704 A, sehingga secara teoritis konfigurasi paralel dapat menyalurkan beban puncak.

Perhitungan kemampuan hantar arus dilakukan secara teoritis berdasarkan kapasitas nominal kabel. Faktor koreksi akibat suhu lingkungan, metode pemasangan, ventilasi, dan kondisi aktual penghantar tidak dimasukkan dalam analisis karena berada di luar batas penelitian. Hasil perhitungan karena itu menggambarkan kemampuan teoritis dan masih memerlukan penyesuaian apabila diterapkan pada kondisi instalasi aktual.

4.3 Penurunan Tegangan

Pada sistem distribusi utama dengan jarak 150 meter, hasil perhitungan menunjukkan penurunan tegangan mendekati 10%. Nilai tersebut menunjukkan perlunya perhatian terhadap konfigurasi kabel dan metode pemasangan. Sementara itu, pada rangkaian beban 150 kW dengan jarak 60 meter, penurunan tegangan diperoleh sebesar 2,8–2,9%, sehingga masih berada di bawah batas 3% yang digunakan dalam skenario perhitungan tersebut.

4.4 Evaluasi Sistem Proteksi

Pada sisi distribusi utama, arus maksimum sebesar 2.704 A menjadi dasar rekomendasi pemutus arus berkapasitas minimal 4.000 A. Pada rangkaian beban 150 kW dengan arus sekitar 254 A, kapasitas MCCB yang direkomendasikan adalah 400 A. Perbedaan kapasitas tersebut menunjukkan bahwa perangkat proteksi ditentukan berdasarkan tingkat dan besarnya beban pada masing-masing rangkaian.

Proteksi jarak dihitung menggunakan asumsi impedansi sistem sekitar 0,2 Ω. Jangkauan relai ditetapkan sekitar 80–100% dari impedansi tersebut, sedangkan waktu operasi proteksi disebut berada pada rentang 0,2–0,5 detik. Nilai pengaturan ini masih perlu diverifikasi berdasarkan impedansi, karakteristik relai, dan data gangguan aktual di lapangan.

4.5 Kesesuaian Ukuran Kabel

Untuk beban 150 kW, tegangan 400 V, faktor daya 0,85, dan jarak 60 meter, diperoleh arus sekitar 254 A. Kabel tembaga 95 mm^2 dinyatakan mampu menyalurkan arus sekitar 250–270 A dengan penurunan tegangan sebesar 2,8–2,9%. Nilai tersebut masih berada di bawah batas 3% yang digunakan dalam perhitungan.

Berdasarkan tabel kemampuan hantar arus, kabel 95 mm^2 mempunyai kapasitas sekitar 200–230 A, sedangkan arus beban yang dihitung mencapai 254 A. Kabel 120 mm^2 dengan kapasitas sekitar 250–285 A memberikan kesesuaian yang lebih baik terhadap kebutuhan arus tersebut. Oleh sebab itu, untuk skenario beban 150 kW, ukuran kabel yang direkomendasikan adalah 120 mm^2

Sistem distribusi utama menggunakan kabel NYY 3 × 150 mm^2 yang dipasang secara paralel untuk menyalurkan beban utama. Pada rangkaian dengan arus sekitar 254 A dan jarak 30 meter, hasil evaluasi merekomendasikan kabel berukuran 120 mm^2 sebagaimana tercantum dalam tabel hasil perhitungan. Penyebutan *SE cable* tidak digunakan dalam rekomendasi akhir karena spesifikasi dan penerapannya tidak dijelaskan dalam data penelitian.

4.6 Ringkasan Hasil Evaluasi

Hasil perhitungan menunjukkan dua kelompok evaluasi. Pada sistem utama dengan beban 1.500 kVA, tujuh kabel NYY 3 × 150 mm^2 secara paralel disebut mampu menyalurkan arus hingga 2.800 A. Sistem tersebut memerlukan pemutus arus sekitar 4.000 A dan kemampuan pemutusan hubung singkat minimal 30.000 A. Pada saluran dengan beban 150 kW, arus nominal diperoleh sekitar 254 A. MCCB yang direkomendasikan adalah 400 A, sedangkan ukuran kabel berada pada kisaran 95–120 mm^2. Pemilihan akhir perlu mempertimbangkan kemampuan hantar arus, panjang kabel, penurunan tegangan, dan kondisi pemasangan.

Pengaturan proteksi jarak dihitung secara simulatif menggunakan asumsi impedansi sistem sebesar 0,2 Ω dengan jangkauan relai sekitar 80–100%. Waktu operasi proteksi berada pada rentang 0,2–0,5 detik. Nilai tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi teoritis dan masih memerlukan verifikasi berdasarkan impedansi, karakteristik relai, serta kondisi gangguan aktual di lapangan

Sistem distribusi dapat dinilai berdasarkan kesesuaian kabel, penurunan tegangan, dan koordinasi proteksi. Kesimpulan mengenai pemenuhan standar belum dapat ditegaskan sebelum data dasar, batas penurunan tegangan, ukuran kabel, dan kapasitas proteksi diselaraskan.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi sistem distribusi instalasi listrik pada area produksi Pabrik Kelapa Sawit PTPN XIII Ngabang dengan menggunakan *Single Line Diagram* sebagai dasar identifikasi konfigurasi transformator, panel distribusi, penghantar, beban, dan perangkat proteksi. Evaluasi dilakukan secara teoritis dan simulatif melalui perhitungan arus beban, kemampuan hantar arus kabel, penurunan tegangan, kapasitas pemutus arus, serta koordinasi sistem proteksi.

Pada sistem distribusi utama dengan estimasi beban 1.500 kVA, arus maksimum diperoleh sekitar 2.704 A. Penggunaan tujuh kabel NYY 3 × 150 mm² secara paralel menghasilkan kemampuan hantar arus sekitar 2.800 A, sehingga secara teoritis dapat memenuhi kebutuhan arus sistem. Pemutus arus pada sisi utama direkomendasikan memiliki kapasitas minimal 4.000 A, sedangkan perangkat proteksi hubung singkat harus mampu memutus arus sekurang-kurangnya 30.000 A. Meskipun demikian, penurunan tegangan pada jalur utama yang mendekati 10% menunjukkan bahwa konfigurasi penghantar dan metode pemasangan masih perlu dievaluasi lebih lanjut.

Pada rangkaian dengan beban 150 kW, tegangan 400 V, dan faktor daya 0,85, arus beban diperoleh sekitar 254 A. Berdasarkan tabel kemampuan hantar arus yang digunakan, kabel berukuran 120 mm² lebih sesuai dibandingkan kabel 95 mm². Kabel tersebut memberikan kapasitas yang lebih mendekati kebutuhan arus dan margin pengamanan yang lebih memadai. MCCB 400 A dapat digunakan untuk melindungi rangkaian tersebut, sedangkan hasil perhitungan penurunan tegangan sebesar 2,8–2,9% masih berada di bawah batas 3% yang digunakan dalam analisis.

Sistem proteksi arus lebih dan proteksi jarak telah dianalisis berdasarkan nilai arus, impedansi, dan waktu operasi. Namun, pengaturannya masih bersifat simulatif sehingga perlu diverifikasi menggunakan karakteristik relai, nilai impedansi, dan kondisi gangguan aktual di lapangan. Koordinasi proteksi juga perlu dilakukan secara rinci agar perangkat terdekat dengan lokasi gangguan bekerja lebih dahulu tanpa memutus seluruh sistem distribusi.

Sistem distribusi listrik PTPN XIII Ngabang secara teoritis mampu mendukung kebutuhan beban produksi apabila kapasitas kabel dan perangkat proteksi disesuaikan dengan tingkat beban masing-masing rangkaian. Kesimpulan akhir mengenai pemenuhan standar tetap memerlukan penyelarasan data kapasitas transformator, ukuran dan jenis kabel, panjang penghantar, serta hasil pengukuran lapangan. Hal ini diperlukan karena dokumen masih mencantumkan kapasitas transformator 1.730 kVA dan 2.000 kVA serta beberapa konfigurasi kabel yang berbeda.

Saran

Peneliti disarankan memverifikasi data teknis instalasi, mengevaluasi penurunan tegangan, menyesuaikan ukuran kabel dan kapasitas proteksi, serta melakukan pengujian lapangan secara berkala. Pembaruan *Single Line Diagram* juga diperlukan agar sesuai dengan kondisi aktual sistem distribusi listrik pabrik secara konsisten dan terdokumentasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] G. C. D. R. Ananda, "Evaluation of Electrical Distribution System in Industrial Plants," *International Journal of Electrical Engineering & Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 345-356, 2020.
[2] A. N. Nisrina, and I. Arsyad, .Akibat Penambahan Gardu Distribusi Sisipan. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*.2021
[3] Gustiana, V., Sirait, B., &Fitriah. (2021). Analisis Perhitungan Distribusi Tegangan dan Arus Bocor pada Isolator Rantai. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjung pura,
[4] Wirawan, A. D., Junaidi, & Arsyad, M. I. (2022). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di Penyulang Pangsuma Pt. Pln (Persero) Rayon Mempawah. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 1(1).
[5] Partaonan Harahap, ST.,MT. (2024) *Teknik Instalasi Listrik*. Medan. Umsu press
[6] D. A. P. Hasugian, "Optimasi Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Pada Sistem Distribusi PT. PLN (Persero) Kota Subulussalam, Aceh," J. Ekon. Vol. 18, Nomor 1 Maret 201, pp. 1-63, 2020
[7] Suprianto, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik", 17 Oktober 2015
[8] Chopra, S., & Meindl, P. (2016). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. Pearson Education.
[9] Tanjung, Abrar dan Atmam. 2016. Analisis Kinerja Transformator Distribusi Rusunawa Universitas Lancang Kuning Pekanbaru. Pekanbaru: Indonesia
[10] Kerala, S., & Gopala, R. (2010). Electrical Power Systems. New Age International Publishers.
[11] Serway dan Jewett. (2010). "Physics for Scientists and Engineers".
[12] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011Amandemen1.Jakarta
[13] IEEE Standard 835-2015: "IEEE Guide for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors"
[14] Standar Nasional Indonesia (SNI): SNI 04-0225-2000
[15] F. Tasiam, Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: Teknosian, 2017
[16] H. Stephanus and S. Lestari, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, 1st ed. Yogyakarta, Indonesia: Penerbit Andi, 2022.
[17] Hendarto, D., & Lutfi, A. G. (2016). Rekondisi instalasi low voltage main distribution panel (LVMDP) di gedung IR Prijono UIKA Bogor.*JUTEKS,* 30-37.
[18] Suparmono, R.Harahap, Cholish, Martin Sembiring, and Abdullah.. "Studi Pemeliharaan Komponen Utama Pada Gardu Distribusi Tipe Portal Di PT. PLN (PERSERO) Rayon Medan Baru."*Jurnal Teknik Elektro* Vol. 4 No.1.2021.
[19] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian ESDM RI. (2020). Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
[20] Peraturan Menteri ESDM RI No. 11 Tahun 2020.Persyaratan Teknis Sistem Tenaga Listrik. Jakarta: Kementerian ESDM Republik Indonesia.
[21] IEC 60038:2016, "IEC standard for nominal voltage for AC systems
[22] IEC 60364-1:2018, "Electrical installations of buildings

[23] Buku Teknik ListrikYusuf, M. (2015). Dasar-dasar Teknik Listrik. Jakarta: PT. Gramedia.
[24] Standar Nasional Indonesia (SNI 04-0225-2000) tentang instalasi listrik.
[25] H. S. M. Anwari, Dasar-Dasar Instalasi Listrik, PT. Rineka Cipta, 2010.
[26] Electrical Power Systems" oleh C.L. Wadhwa, New Age International Publishers, 2012.