

# Analisis Sistem Kontrol Distribusi Listrik Berbasis *Programmable Logic Controller* untuk Memonitoring Operasi Industri PT. Pupuk Kujang Cikampek

Razikin<sup>1\*</sup>, Arnisa Stefanie<sup>2</sup>, Reni Rahmadewi<sup>3</sup> Endri Raffyanto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Kec. Telukjambe Tim., Kab. Karawang, Jawa Barat, 41361, Indonesia

\*Penulis Korespondensi, e-mail: [2210631160106@student.unsika.ac.id](mailto:2210631160106@student.unsika.ac.id)

Received: 30/03/2026

Revised: 01/05/2026

Accepted: 14/05/2026

## ABSTRAK

Sistem distribusi tenaga listrik yang andal merupakan faktor penting dalam menjaga kontinuitas proses produksi pada industri skala besar seperti PT. Pupuk Kujang Cikampek. Kompleksitas sistem serta karakteristik operasi *continuous process* menuntut adanya sistem kontrol yang mampu melakukan monitoring dan pengendalian secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem kontrol distribusi tenaga listrik berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional industri. Metode yang digunakan adalah deskriptif-analitis dengan pendekatan studi kasus melalui observasi langsung, studi dokumentasi berupa *single line diagram* dan spesifikasi teknis, serta studi literatur yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem distribusi listrik mengintegrasikan sumber energi dari PLN sebagai sumber utama serta Gas Turbine Generator (GTG) dan generator set sebagai sumber cadangan, dengan distribusi energi melalui busbar 13,8 kV yang dikendalikan oleh PLC dan dimonitor melalui sistem SCADA. PLC berperan dalam monitoring parameter listrik, pengendalian *switching* otomatis, serta penerapan *load shedding* untuk menjaga kestabilan sistem, sementara sistem proteksi berupa relay digital dan circuit breaker mampu mendeteksi gangguan dan memutus aliran listrik secara cepat. Integrasi PLC, sistem proteksi, dan SCADA memungkinkan monitoring dan pengendalian secara real-time sehingga meningkatkan keandalan, efisiensi, dan keselamatan operasional sistem distribusi tenaga listrik.

**Kata Kunci:** *Programmable Logic Controller*, Distribusi Tenaga Listrik, SCADA, Sistem Proteksi, *Load Shedding*

## ABSTRACT

*A reliable power distribution system is a crucial factor in maintaining the continuity of production processes in large-scale industries such as PT. Pupuk Kujang Cikampek. The complexity of the system and the characteristics of continuous process operations require a control system capable of real-time monitoring and control. This study aims to analyze a power distribution control system based on a Programmable Logic Controller (PLC) in improving the reliability and operational efficiency of industrial systems. The method used is descriptive-analytical with a case study approach, involving direct observation, documentation studies in the form of single line diagrams and technical specifications, as well as relevant literature review. The results show that the power distribution system integrates energy sources from the national grid (PLN) as the main supply, along with Gas Turbine Generators (GTG) and generator sets as backup sources, with energy distributed through a 13.8 kV busbar controlled by PLC and monitored via a SCADA system. The PLC plays a role in monitoring electrical parameters, controlling automatic switching, and implementing load shedding to maintain system stability, while the protection system consisting of digital relays and circuit breakers is capable of detecting faults and disconnecting power quickly. The integration of PLC, protection systems, and SCADA enables real-time monitoring and control, thereby improving the reliability, efficiency, and operational safety of the power distribution system.*

**Keywords:** *Programmable Logic Controller, Power Distribution System, SCADA, Protection System, Load Shedding*

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

## 1. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik yang andal dan stabil merupakan salah satu faktor utama dalam menunjang kelangsungan dan efisiensi operasional di sektor industri, khususnya pada industri manufaktur dengan proses produksi berkelanjutan (*continuous process*)[1]. Industri pupuk, seperti yang beroperasi di PT. Pupuk Kujang Cikampek, memiliki karakteristik penggunaan peralatan vital seperti motor berdaya besar, pompa, kompresor, serta sistem kendali proses yang saling terintegrasi, sehingga sangat bergantung pada kontinuitas pasokan energi listrik. Gangguan pada sistem distribusi listrik, bahkan dalam skala kecil, dapat menyebabkan *downtime* produksi, kerugian finansial yang signifikan, serta potensi kerusakan peralatan[2].



Gambar 1: Dokumentasi pribadi terkait lingkungan di PT. pupuk kujang cikampek

Sistem distribusi tenaga listrik pada lingkungan industri berperan dalam menyalurkan energi listrik dari sumber utama, seperti jaringan PLN maupun pembangkit *Gas Turbine Generator* (GTG) atau generator diesel, menuju berbagai unit produksi dan fasilitas pendukung. Dengan meningkatnya kompleksitas sistem industri dan tuntutan efisiensi energi, sistem distribusi listrik juga mengalami peningkatan kompleksitas dalam hal pengaturan, proteksi, serta monitoring[3].

Pada umumnya, sistem kontrol distribusi listrik konvensional masih menggunakan panel kontrol manual dan relay elektromekanis. Sistem ini memiliki berbagai keterbatasan, seperti kurangnya kemampuan monitoring secara *real-time*, fleksibilitas yang rendah dalam pengaturan sistem, serta keterbatasan dalam mendeteksi dan mendiagnosis gangguan secara cepat dan akurat. Selain itu, sistem konvensional cenderung memerlukan perawatan intensif serta memiliki umur operasional yang terbatas[4].

Perkembangan teknologi otomasi industri mendorong *penggunaan Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai solusi dalam meningkatkan performa sistem kontrol distribusi listrik. PLC merupakan perangkat kontrol berbasis komputer industri yang mampu melakukan pengendalian proses secara otomatis dan terprogram dengan tingkat keandalan tinggi[5]. Integrasi PLC dengan sistem *Human Machine Interface* (HMI) dan *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) memungkinkan proses monitoring dan pengendalian sistem dilakukan secara *real-time*, serta meningkatkan kemampuan dalam mendeteksi gangguan dan melakukan tindakan korektif secara cepat[6].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan PLC dan SCADA dalam sistem distribusi tenaga listrik. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan PLC dan SCADA dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi melalui monitoring terpusat dan kontrol otomatis. Penelitian lain juga menekankan pentingnya integrasi sistem kontrol dengan sistem proteksi digital untuk



meningkatkan keamanan dan kontinuitas suplai daya. Selain itu, terdapat studi yang membahas analisis keandalan sistem distribusi listrik industri menggunakan parameter reliabilitas seperti SAIDI dan SAIFI[7].

Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih membahas aspek sistem secara parsial, seperti hanya pada sisi monitoring, kontrol, atau proteksi saja. Analisis yang mengintegrasikan visualisasi *single line diagram*, logika kontrol berbasis PLC, serta mekanisme proteksi dalam satu sistem yang komprehensif masih terbatas. Padahal, integrasi ketiga aspek tersebut sangat penting dalam memahami keseluruhan kinerja sistem distribusi tenaga listrik industri secara menyeluruh[8].

Berdasarkan hal tersebut, terdapat kesenjangan penelitian (research gap) dalam kajian sistem distribusi tenaga listrik berbasis PLC yang terintegrasi secara komprehensif antara aspek visualisasi, kontrol, dan proteksi. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa analisis terintegrasi terhadap sistem kontrol distribusi tenaga listrik berbasis PLC yang mencakup struktur jaringan, logika kontrol, sistem *interlock*, serta mekanisme proteksi dalam satu kesatuan sistem[9].

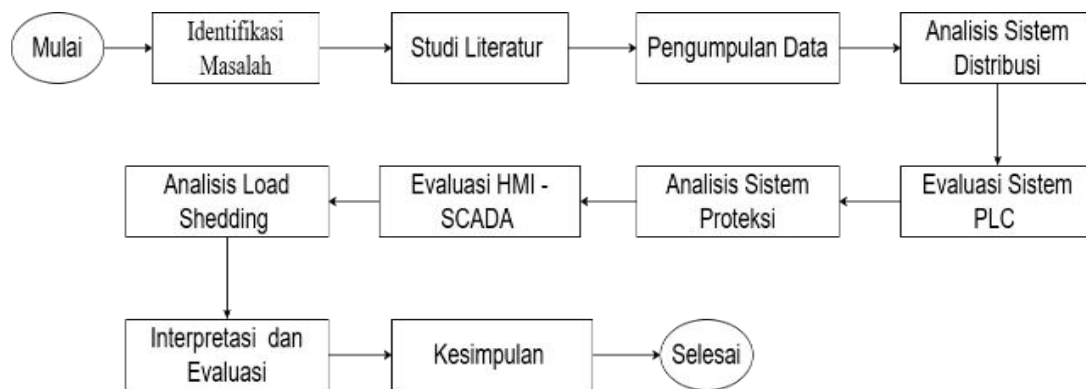
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem kontrol distribusi tenaga listrik berbasis PLC dalam mendukung keandalan dan efisiensi operasional industri di PT. Pupuk Kujang Cikampek. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi struktur dan topologi sistem distribusi tenaga listrik industri, menganalisis integrasi antara sumber daya listrik eksternal dan internal, mengkaji fungsi dan kinerja sistem kontrol berbasis PLC serta HMI-SCADA dalam monitoring dan pengendalian sistem, serta mengevaluasi peran sistem proteksi dalam menjaga kontinuitas suplai daya pada proses produksi yang bersifat *continuous process*[10]. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem kontrol distribusi tenaga listrik yang lebih andal, efisien, dan adaptif terhadap kebutuhan industri berskala besar.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif-analitis dengan pendekatan studi kasus pada sistem distribusi tenaga listrik berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) di PT. Pupuk Kujang Cikampek. Metode ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem kontrol distribusi listrik serta integrasi antar komponen dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional industri. Secara umum, tahapan penelitian dilakukan secara berurutan mulai dari pengumpulan data hingga analisis sistem. Proses penelitian diawali dengan pengumpulan data melalui observasi langsung terhadap sistem distribusi tenaga listrik dan tampilan *Human Machine Interface* (HMI) berbasis SCADA untuk memperoleh data kondisi operasional secara real-time[11]. Selanjutnya dilakukan studi dokumentasi berupa *single line diagram*, spesifikasi teknis peralatan, serta data sistem kelistrikan yang tersedia. Proses ini juga didukung dengan studi literatur terkait PLC, sistem distribusi tenaga listrik, dan sistem proteksi guna memperkuat dasar analisis[12].

Objek penelitian meliputi sistem distribusi tegangan menengah 13,8 kV, PLC *Modicon Quantum* sebagai sistem kontrol utama, sistem SCADA sebagai media monitoring, serta perangkat proteksi seperti relay digital, *circuit breaker*, transformator, *Current Transformer* (CT), dan *Potential Transformer* (PT). Selain itu, sistem pembangkit yang dianalisis mencakup suplai dari PLN, *Gas Turbine Generator* (GTG), dan genset[13]. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kinerja sistem, integrasi komponen, serta efektivitas pengendalian dalam mendukung keandalan dan efisiensi operasional industri melalui tahapan-tahapan terstruktur dalam bentuk blok diagram berikut.





Gambar 7: Diagram Blok Penelitian

## 2.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan langkah awal dalam penelitian yang bertujuan untuk menemukan dan merumuskan permasalahan yang terjadi. Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap kondisi nyata di lapangan, khususnya di PT Pupuk Kujang Cikampek, menghadapi sejumlah permasalahan yang krusial. Tingginya ketergantungan proses produksi terhadap kontinuitas suplai listrik menjadikan gangguan sekecil apa pun berpotensi menimbulkan downtime dan kerugian operasional yang signifikan. Di sisi lain, sistem kontrol distribusi listrik konvensional yang masih mengandalkan relay elektromekanis dan pengoperasian manual memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan respon, fleksibilitas, serta keandalan sistem[14]. Keterbatasan ini juga berdampak pada kurang optimalnya kemampuan monitoring secara *real-time*, sehingga proses deteksi dan penanganan gangguan menjadi kurang efektif. Selain itu, integrasi antara berbagai sumber energi listrik, seperti pasokan dari PLN, Gas Turbine Generator (GTG), dan generator diesel, belum sepenuhnya berjalan optimal dalam menjaga kestabilan dan kontinuitas daya. Permasalahan lain juga terlihat pada sistem proteksi dan diagnosa gangguan yang masih memiliki keterbatasan, sehingga berpotensi meningkatkan risiko kerusakan peralatan serta menurunkan tingkat keselamatan operasional. Oleh karena itu, diperlukan penerapan teknologi otomasi berbasis PLC yang terintegrasi dengan HMI dan SCADA guna meningkatkan efisiensi, keandalan, serta efektivitas pengelolaan sistem distribusi tenaga listrik secara keseluruhan[15].

## 2.2 Studi Literatur

Keandalan sistem tenaga listrik sangat penting dalam operasional industri berkelanjutan karena gangguan dapat menurunkan efisiensi dan merusak peralatan. Sistem distribusi modern memerlukan kontrol yang stabil dan adaptif, sehingga digunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) yang terintegrasi dengan HMI, SCADA, dan sistem proteksi untuk memungkinkan monitoring *real-time*, kontrol otomatis, serta deteksi gangguan yang cepat. Namun, kajian yang mengintegrasikan aspek distribusi, sumber energi, visualisasi sistem, logika kontrol, dan proteksi secara komprehensif masih terbatas, sehingga penelitian ini bertujuan menganalisis sistem kontrol distribusi berbasis PLC guna meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional industri[16].

## 2.3 Pengumpulan Data

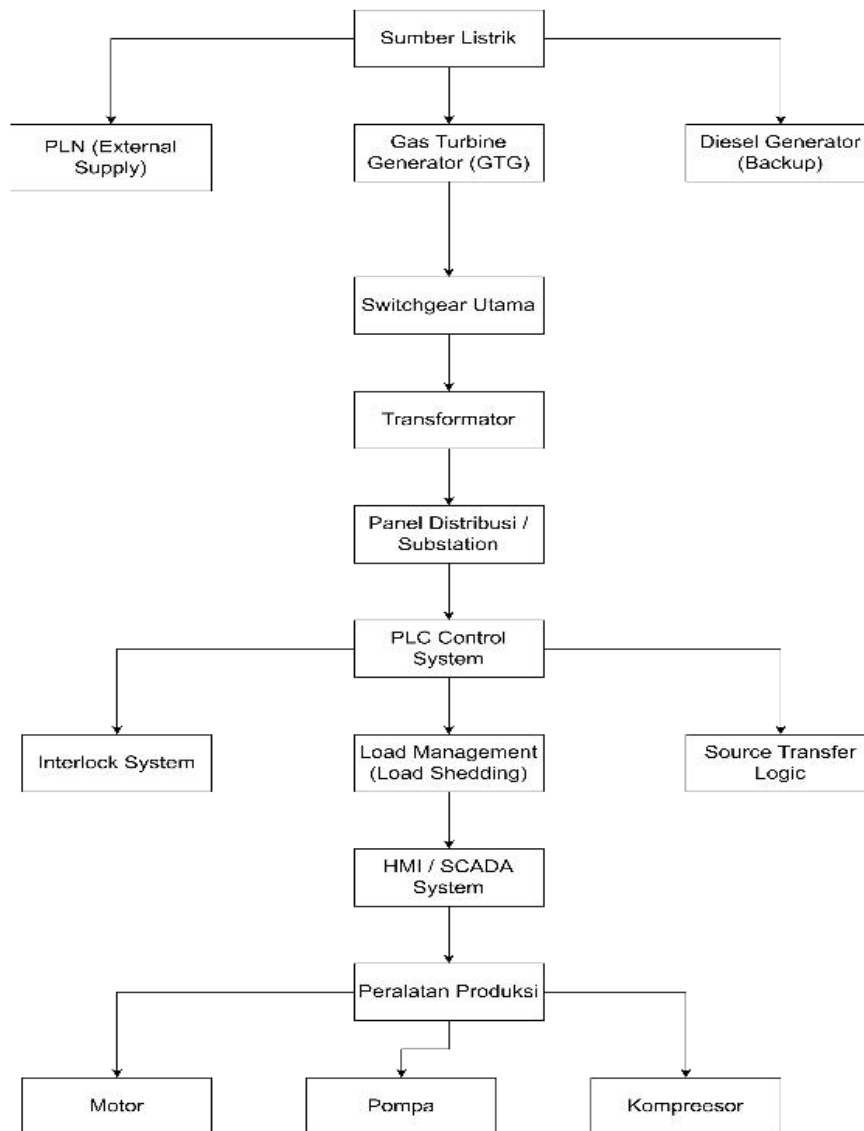
Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga pendekatan utama, yaitu observasi lapangan untuk memahami kondisi nyata sistem distribusi tenaga listrik berbasis PLC di PT Pupuk Kujang Cikampek



secara langsung, studi dokumentasi terhadap dokumen teknis seperti single line diagram, spesifikasi peralatan, dan konfigurasi sistem untuk menganalisis struktur jaringan serta komponen utama seperti switchgear, transformator, dan relay proteksi, serta studi literatur melalui kajian jurnal ilmiah, buku referensi, dan publikasi terkait sistem distribusi tenaga listrik, PLC, dan SCADA guna memperkuat landasan teori dan mendukung analisis penelitian secara keseluruhan.

## 2.4 Analisis Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik pada industri manufaktur seperti PT Pupuk Kujang Cikampek dirancang untuk menjamin kontinuitas suplai daya pada proses produksi yang bersifat *continuous process*. Berikut ini tahapan-tahapan terstruktur dalam bentuk diagram blok berikut:



Gambar 8: Diagram Blok Alur Distribusi Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik industri mengadopsi konsep multi-sumber yang terdiri dari pasokan PLN, Gas Turbine Generator (GTG), dan generator diesel sebagai cadangan untuk menjamin keandalan melalui redundansi, di mana energi listrik dikendalikan melalui switchgear sebelum disesuaikan tegangannya oleh



transformator dan dibagi ke berbagai unit produksi melalui panel distribusi yang dilengkapi sistem proteksi. Pengendalian operasi dilakukan oleh PLC yang mengatur switching otomatis, interlock, dan load shedding untuk menjaga stabilitas sistem, sementara pemantauan real-time dilakukan melalui HMI dan SCADA yang memungkinkan monitoring terpusat serta pengendalian jarak jauh. Keseluruhan sistem ini dirancang untuk memastikan suplai listrik yang stabil dan kontinu ke beban-beban kritis industri seperti motor, pompa, dan kompresor, sehingga keandalan dan keberlangsungan proses produksi tetap terjaga.

## 2.5 Evaluasi Sistem PLC

Sistem kontrol distribusi tenaga listrik berbasis PLC di PT Pupuk Kujang Cikampek mampu meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional melalui integrasi dengan HMI dan SCADA yang memungkinkan monitoring *real-time* serta pengendalian otomatis yang responsif, didukung fitur seperti interlock dan *load management* untuk menjaga kontinuitas suplai dan meminimalkan downtime. Meskipun menghadapi tantangan berupa biaya investasi awal, kebutuhan kompetensi SDM, dan potensi risiko teknis.

## 2.6 Analisis Sistem Proteksi

Sistem proteksi distribusi tenaga listrik di PT Pupuk Kujang Cikampek dirancang untuk menjaga kontinuitas suplai dan melindungi peralatan melalui integrasi relay digital, *circuit breaker*, dan kontrol berbasis PLC yang mampu mendeteksi gangguan seperti hubung singkat, arus lebih, dan ketidakstabilan tegangan dengan prinsip selektivitas. Integrasi PLC dengan SCADA memungkinkan monitoring dan pengendalian *real-time*, termasuk fitur *automatic transfer switching* dan *load shedding*, serta didukung multi-sumber listrik (PLN, GTG, dan generator diesel) untuk meningkatkan keandalan, meskipun kompleksitas sistem menuntut pengaturan proteksi yang tepat dan pemeliharaan berkala agar tetap optimal.

## 2.7 Evaluasi HMI/SCADA

Sebelum implementasi HMI/SCADA, sistem distribusi tenaga listrik masih menggunakan kontrol manual dan relay elektromekanis dengan monitoring lokal yang menyebabkan keterlambatan deteksi gangguan, respon lambat, serta tingginya potensi *human error* dan keterbatasan analisis akibat minimnya data historis. Setelah penerapan HMI/SCADA berbasis PLC, sistem mengalami peningkatan signifikan melalui monitoring *real-time* terpusat, visualisasi terintegrasi, alarm otomatis, pencatatan data, serta kontrol seperti *load shedding* dan interlock, sehingga meningkatkan kecepatan respon, efisiensi, dan keandalan sistem, meskipun membutuhkan dukungan jaringan komunikasi yang andal dan keamanan sistem yang baik.

TABEL I: PERBANDINGAN SEBELUM DAN SESUDAH HMI/SCADA

Aspek	Sebelum HMI/SCADA	Sesudah HMI/SCADA
Sistem Monitoring	Manual, lokal di panel	<i>Real-time</i> , terpusat ( <i>control room</i> )
Visualisasi Sistem	Terbatas, tidak terintegrasi	Single line diagram terintegrasi
Respon Gangguan	Lambat, bergantung operator	Cepat, berbasis alarm otomatis
Pengendalian Sistem	Manual ( <i>switching</i> langsung)	Otomatis (PLC, <i>interlock</i> , <i>load shedding</i> )
Risiko Human Error	Tinggi	Lebih rendah
Data Historis	Minim atau tidak terdokumentasi	Tersimpan dan dapat dianalisis
Efisiensi Operasional	Kurang optimal	Lebih efisien
Keandalan Sistem	Rentan gangguan	Lebih stabil dan andal
Ketergantungan Sistem	Rendah (tidak tergantung jaringan)	Tinggi (bergantung komunikasi data)
Keamanan Sistem	Relatif sederhana	Lebih kompleks (perlu <i>cybersecurity</i> )



Hasil ini menunjukkan bahwa implementasi HMI/SCADA berbasis PLC secara signifikan mampu meningkatkan visibilitas sistem, kecepatan respon terhadap gangguan, serta efisiensi dan keandalan operasional distribusi tenaga listrik, meskipun memerlukan dukungan infrastruktur komunikasi dan sistem keamanan yang memadai.

### **2.8 Analisis Load Shedding**

Load shedding merupakan strategi penting dalam menjaga kestabilan sistem tenaga listrik pada industri *continuous process* seperti PT Pupuk Kujang Cikampek, terutama dalam menghadapi gangguan seperti kehilangan sumber atau *overload*. Implementasi berbasis PLC memungkinkan pelepasan beban secara otomatis berdasarkan parameter utama seperti frekuensi, tegangan, dan daya, dengan klasifikasi beban menjadi kritis, semi-kritis, dan non-kritis agar proses berjalan bertahap dan terarah. Integrasi dengan HMI-SCADA mendukung monitoring *real-time*, kontrol, dan pencatatan data, sehingga meningkatkan keandalan sistem, mencegah *blackout*, mengurangi risiko kerusakan peralatan, serta meningkatkan efisiensi operasional.

### **2.9 Interpretasi dan Evaluasi**

Implementasi sistem kontrol distribusi tenaga listrik berbasis PLC di PT Pupuk Kujang Cikampek merupakan langkah strategis dalam meningkatkan keandalan dan fleksibilitas pada industri *continuous process*, melalui integrasi sumber listrik utama dan cadangan serta dukungan PLC-SCADA yang memungkinkan monitoring dan pengendalian *real-time*. Pemanfaatan *load shedding* dan visualisasi *single line diagram* pada HMI juga meningkatkan efektivitas operasional dengan memberikan pemahaman yang jelas kepada operator terkait alur distribusi daya dan logika kontrol sistem[17].

Meskipun memberikan peningkatan signifikan, sistem ini masih memiliki keterbatasan seperti kurangnya pengukuran kinerja secara kuantitatif, tantangan keamanan sistem (*cybersecurity*), serta risiko ketergantungan pada otomasi. Oleh karena itu, diperlukan penguatan mekanisme *backup* dan *fail-safe*, serta pengembangan lebih lanjut melalui integrasi teknologi seperti *predictive maintenance* dan IoT untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan kesiapan sistem menghadapi tantangan industri modern[18].

## **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **3.1 HASIL**

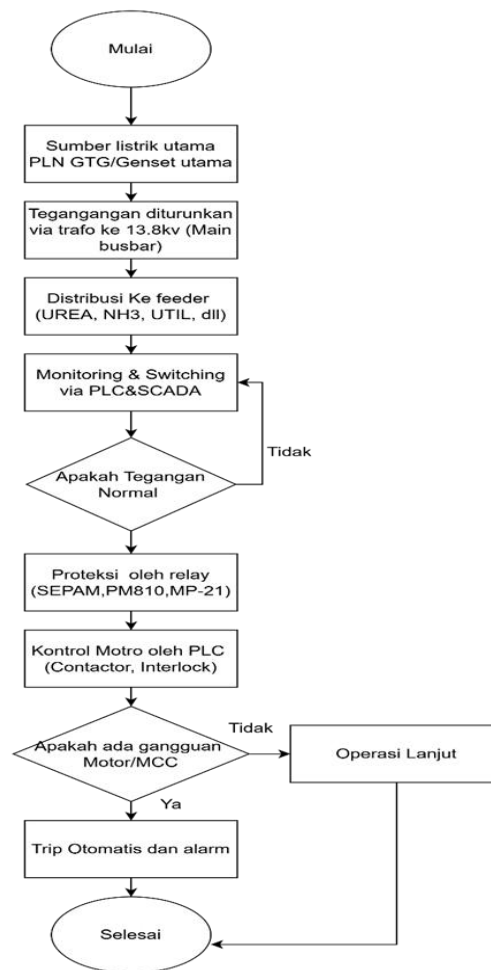
#### **A. Proses Analisis Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Sistem distribusi tenaga listrik pada fasilitas industri ini dirancang untuk menjamin kontinuitas pasokan energi listrik pada seluruh unit produksi. Sumber utama energi listrik berasal dari jaringan PLN dengan tegangan 150 kV yang kemudian diturunkan menggunakan transformator utama menjadi tegangan menengah sebesar 13,8 kV sebelum didistribusikan ke sistem internal pabrik.

Sistem kelistrikan industri ini menerima daya dari sumber utama PLN melalui GTG atau genset cadangan, kemudian tegangan diturunkan melalui transformator menuju level distribusi 13,8 kV yang disalurkan ke main busbar sebagai titik distribusi sentral ke seluruh area pabrik. Dari main busbar, daya didistribusikan ke berbagai feeder yang melayani unit proses seperti UREA,  $\text{NH}_3$ , dan utilitas, dengan seluruh proses distribusi diawasi secara *real-time* oleh PLC dan SCADA untuk memantau tegangan, arus, serta melakukan switching jalur secara otomatis maupun manual. Sistem kemudian melakukan pengecekan kondisi tegangan, di mana jika tegangan normal maka proteksi dijalankan oleh relay SEPAM, PM810, dan MP-21 untuk mendeteksi gangguan seperti arus lebih, hubung singkat, atau tegangan tidak seimbang, sedangkan jika tegangan tidak normal sistem langsung dialihkan ke prosedur operasi lanjut berupa peralihan ke sumber cadangan. Selanjutnya, motor-motor listrik di lapangan dikendalikan oleh PLC melalui kontaktor dan sistem interlock untuk memastikan operasi berurutan yang aman, dan apabila tidak ditemukan gangguan pada motor atau MCC maka sistem beroperasi normal, namun jika gangguan terdeteksi sistem



akan secara otomatis melakukan trip untuk memutus aliran daya ke peralatan bermasalah sekaligus mengaktifkan alarm ke operator di ruang kontrol hingga satu siklus operasi dinyatakan selesai.

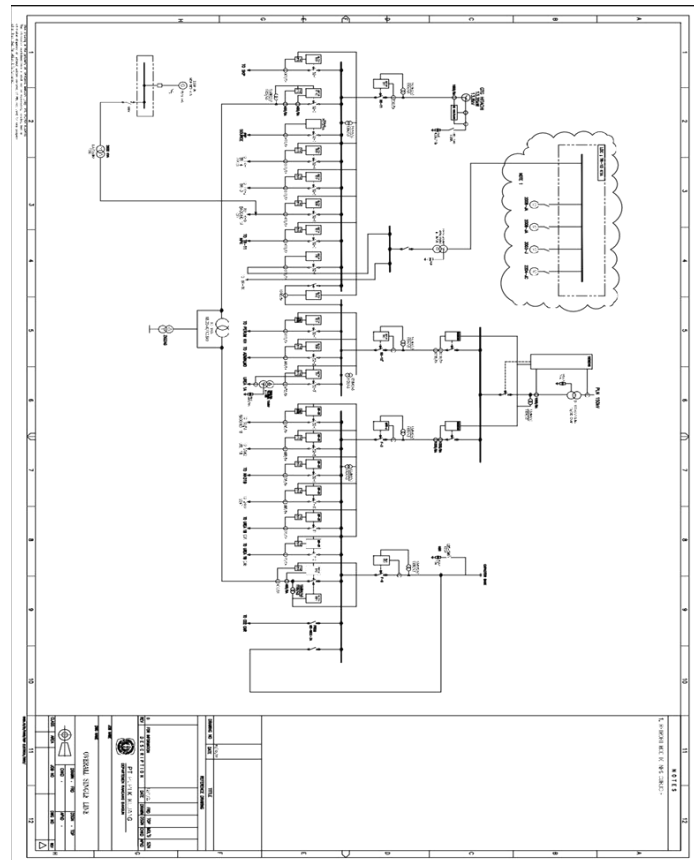


Gambar 9: Diagram Alir Distribusi Listrik

## B. Skematik Komponen Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik pada fasilitas ini mengintegrasikan sumber energi utama dari jaringan PLN 150 kV yang diturunkan melalui transformator step-down menjadi 13,8 kV, didukung oleh Gas Turbine Generator (GTG) Hitachi berkapasitas 13,35 MW pada tegangan 13,8 kV sebagai sumber alternatif apabila terjadi gangguan pada suplai PLN, di mana keduanya disalurkan menuju busbar utama 13,8 kV sebagai pusat distribusi listrik ke seluruh area pabrik. Untuk mendukung sistem pengukuran dan proteksi, digunakan Current Transformer (CT) yang menurunkan arus besar untuk keperluan pengukuran dan proteksi, serta Potential Transformer (PT) yang menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan yang aman bagi sistem kontrol dan monitoring, dengan sinyal keduanya dijadikan input bagi relay proteksi digital SEPAM dan GE Multilin untuk mendeteksi berbagai jenis gangguan dan mengirimkan perintah trip kepada circuit breaker, sementara Load Break Switch (LBS) tipe SM6 berkapasitas 630 A memberikan fleksibilitas pemutusan jalur distribusi tanpa mengganggu sistem secara keseluruhan.

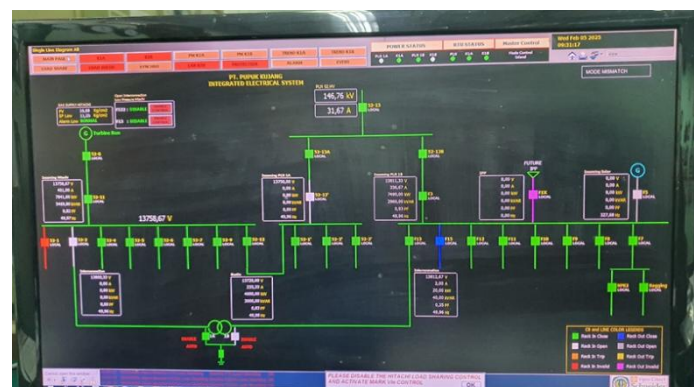




Gambar 10: Overall Single Line Diagram Model

Sistem juga dilengkapi dengan Neutral Grounding Resistor (NGR) berspesifikasi 400 A/10 s dan Zig-Zag Grounding Transformer untuk menyediakan titik netral buatan pada sistem tegangan menengah, guna memastikan keamanan sistem grounding secara keseluruhan. Distribusi energi listrik ke berbagai unit produksi dilakukan melalui transformator distribusi yang menurunkan tegangan dari 13,8 kV menjadi tegangan operasional yang sesuai dengan kebutuhan beban seperti motor listrik industri dan peralatan produksi pada unit UREA, BAGGING, PPCO, NPK, serta area administrasi, sehingga seluruh unit produksi dapat menerima suplai energi listrik yang stabil dan sesuai dengan spesifikasi peralatan yang digunakan.

### C. Operasi Single Line Sistem Distribusi



Gambar 11: Single Line Diagram Model



Distribusi energi listrik pada sistem ini berasal dari beberapa sumber energi yaitu PLN, Gas Turbine Generator (GTG), dan sumber energi surya. Energi listrik tersebut disalurkan melalui sistem distribusi tegangan menengah sebesar 13,8 kV menuju berbagai beban di area pabrik.

Sumber pertama berasal dari jaringan PLN melalui jalur PLN 1A dan PLN 1B yang terhubung ke sistem menggunakan circuit breaker. Tegangan dari PLN kemudian diturunkan menjadi sekitar 13,75 kV hingga 13,81 kV sebelum didistribusikan ke sistem internal. Sumber kedua berasal dari Gas Turbine Generator (GTG) Hitachi yang menghasilkan tegangan sekitar 13,758 kV dengan arus sekitar 401 A. Generator ini menghasilkan daya aktif sekitar 7011,60 kW dengan daya reaktif sebesar 5469,80 kVAR dan faktor daya sekitar 0,82. Sumber ketiga berasal dari sistem pembangkit energi surya. Namun pada kondisi pengamatan sistem ini tidak sedang beroperasi sehingga daya yang dihasilkan bernilai 0 kW.

Seluruh sumber energi yang aktif terhubung ke busbar utama melalui circuit breaker masing-masing sehingga busbar menjadi titik distribusi utama untuk menyalurkan energi listrik ke seluruh sistem. Distribusi listrik menuju berbagai beban dilakukan melalui jalur distribusi yang ditandai dengan circuit breaker bernomor 52-1 hingga 52-12 serta jalur distribusi lainnya seperti F3, F13, dan F15. Status operasi setiap circuit breaker ditampilkan dalam diagram sistem menggunakan indikator warna, di mana warna hijau menunjukkan kondisi aktif atau tertutup dan warna merah menunjukkan kondisi terbuka atau trip.

#### D. Pemantauan Sistem Distribusi Menggunakan HMI SCADA



Gambar 12: Human Machine Interface (HMI)

Pemantauan sistem distribusi tenaga listrik dilakukan melalui tampilan *Human Machine Interface* (HMI) yang terintegrasi dengan sistem SCADA berbasis PLC, memungkinkan operator memonitor kondisi sistem secara real-time serta melakukan pengendalian operasi distribusi listrik dari ruang kontrol. Berdasarkan data yang ditampilkan pada HMI, generator GTG Hitachi berada dalam kondisi aktif dengan daya operasi sebesar 8.489,10 kW dari kapasitas maksimum 9.120 kW, menunjukkan bahwa sistem sedang beroperasi dalam mode islanding di mana seluruh kebutuhan energi listrik pabrik ditopang oleh pembangkit internal tanpa mengambil daya dari jaringan PLN. Selain status pembangkit, HMI juga menampilkan informasi mengenai status beban beserta tingkat prioritasnya dalam sistem load shedding, di mana beban-beban dikelompokkan berdasarkan tingkat kepentingannya guna menjaga kestabilan sistem distribusi listrik ketika terjadi keterbatasan kapasitas daya.



### 3.2 PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan, sistem distribusi tenaga listrik industri di PT Pupuk Kujang Cikampek dirancang dengan tingkat keandalan tinggi melalui integrasi multi-sumber energi yang terdiri dari PLN, *Gas Turbine Generator* (GTG) Hitachi dengan kapasitas operasi tertentu, serta genset cadangan, di mana sistem switching otomatis berbasis PLC mampu mengalihkan suplai ke sumber cadangan dalam waktu kurang dari beberapa detik guna mencegah interupsi proses produksi. Busbar utama bertegangan 13,8 kV berfungsi sebagai pusat distribusi yang menyalurkan daya ke seluruh feeder dengan parameter tegangan, arus, dan frekuensi yang dipantau secara real-time melalui sistem SCADA, sementara relay proteksi digital SEPAM dan GE Multilin dikonfigurasi untuk mendeteksi gangguan seperti arus lebih dengan setting threshold tertentu, gangguan tanah, overvoltage, dan undervoltage dengan waktu respons trip dalam orde milidetik guna mencegah kerusakan peralatan yang lebih besar. Sistem load shedding berbasis PLC mengklasifikasikan beban berdasarkan tingkat prioritas secara otomatis melepaskan beban non-kritis ketika kapasitas pembangkit turun di bawah ambang batas yang telah ditentukan, sehingga beban kritis seperti motor, pompa, dan kompresor tetap mendapatkan suplai dengan tegangan stabil pada rentang  $\pm 5\%$  dari tegangan nominal. Secara keseluruhan, integrasi antara sistem proteksi, kendali PLC, HMI, dan SCADA memberikan kemampuan monitoring parameter teknis secara komprehensif dan pengendalian real-time yang memungkinkan operator mendeteksi anomali, mengeksekusi tindakan korektif, serta memastikan stabilitas frekuensi sistem pada 50 Hz dan kontinuitas operasi tenaga listrik industri secara keseluruhan.

### 4. KESIMPULAN

Sistem distribusi tenaga listrik pada industri skala besar seperti pabrik pupuk dirancang dengan struktur berlapis yang mengintegrasikan sumber energi utama dari PLN 150 kV yang diturunkan menjadi 13,8 kV serta sumber cadangan berupa *Gas Turbine Generator* (GTG) dan genset yang dikendalikan secara otomatis melalui PLC dan SCADA. Tegangan pada busbar utama 13,8 kV kemudian didistribusikan ke berbagai *feeder* proses produksi seperti *UREA*, *BAGGING*, *NPK*, *UTILITY*, dan area administrasi, sehingga kontinuitas pasokan daya ke seluruh beban industri dapat terjamin.

Keandalan sistem distribusi ditopang oleh sistem proteksi multi-level yang mencakup *Current Transformer* (CT), *Potential Transformer* (PT), relay proteksi digital SEPAM, MP-21, PM810, dan GE Multilin, serta perangkat pendukung seperti *Neutral Grounding Resistor* (NGR), Zig-Zag Transformer, dan *capacitor bank*. Mekanisme *load shedding* berbasis PLC turut berperan dalam menjaga stabilitas sistem dengan memprioritaskan beban kritis pada saat kapasitas pasokan daya terbatas, sehingga risiko pemadaman total dapat diminimalkan.

Pemantauan sistem secara *real-time* melalui *Human Machine Interface* (HMI) yang terintegrasi dengan SCADA memungkinkan operator mendeteksi anomali operasi, termasuk kondisi "*Mode Mismatch*" antara GTG dan sistem distribusi yang berpotensi mengganggu stabilitas. Meskipun demikian, fleksibilitas *switching* serta pengendalian otomatis yang diterapkan pada sistem membuktikan bahwa sistem distribusi ini mampu beroperasi secara stabil, ahkan dalam kondisi islanding atau tetap beroperasi dan menyuplai beban secara mandiri, tanpa suplai dari jaringan PLN.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Multidisiplin and S. Volume, "Analisis indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik menggunakan metode," vol. 10, no. 9, pp. 1–13, 2026.
- [2] N. Oktober, D. Irawan, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Gresik, "Analisis Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa Pada Sistem Kelistrikan



- PT . Petrokimia Gresik Pabrik Utilitas 1A Wahid Julianto nantinya dapat membuat suatu sistem koordinasi proteksi yang handal untuk menyeleksi," vol. 2, no. 2, 2023.
- [3] S. D. Wirayanto, E. Zondra, J. Yos, and S. Rumbai, "Analisis Sistem SCADA Pada Jaringan Distribusi PT . PLN ( Persero ) UP2D Pekanbaru," vol. 16, pp. 123–129, 2022.
- [4] S. S. Khairullah and A. Sharkawy, "Design and Implementation of a Reliable and Secure Controller for Smart Home Applications Based on PLC," vol. 3, no. 5, pp. 614–621, 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i5.15972.
- [5] S. Supratno and M. Khairudin, "Jurnal Nasional Teknik Elektro An Integrated SCADA – PLC – HMI Model for Low-Cost Control and Real-Time Monitoring of Three-Phase AC Motors," vol. 3, 2025.
- [6] N. L. Marpaung, E. Ervianto, R. Amri, and H. Illahi, "Analysis of SCADA Application on Distribution System Reliability," vol. 3, no. 2, pp. 46–52, 2020.
- [7] L. Gu and F. Wang, "International Journal of Electrical Power and Energy Systems Integration and optimisation analysis of PLC and SCADA-HMI – IPC systems in intelligent power distribution monitoring," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 175, no. January, p. 111597, 2026, doi: 10.1016/j.ijepes.2026.111597.
- [8] G. S. O. V, A. Karthikeyan, K. Karthikeyan, P. Sanjeevikumar, S. Karapparambil, and A. Babu, "Critical review Of SCADA And PLC in smart buildings and energy sector," *Energy Reports*, vol. 12, no. March, pp. 1518–1530, 2024, doi: 10.1016/j.egy.2024.07.041.
- [9] A. Simion, C. Bira, and I. Technology, "A review of redundancy in PLC-based systems".
- [10] H. Priyatman, S. D. Panjaitan, and M. R. Frizky, "PLC Control System Implementation with IoT Based Industrial SCADA Development," vol. 14, no. 4, pp. 298–306, 2025, doi: 10.22146/jnteti.v14i4.21506.
- [11] D. A. N. Industri, *Pengantar Teknik Mesin Dan Industri*.
- [12] E. M. Sartika, R. Sarjono, and R. S. Restianto, "Simulasi Sistem Otomasi Load Shedding menggunakan Prediksi Beban," vol. 7, no. 1, 2019.
- [13] H. Sisintito, M. Facta, and W. Sinuraya, "Studi Penyambungan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Dengan Ke Jala-Jala Sistem Distribusi 20 Kv Jawa Tengah," vol. 10, no. 4, pp. 664–669, 2021.
- [14] H. Article, "Jurnal Teknik Elektro & Teknologi Informasi," vol. 1, no. 1, pp. 27–35, 2025.
- [15] H. Susanto and N. Lysbetti, "Analisa Penerapan Sistem Scada Pada Pengendalian Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv Pt . Pln Area," pp. 1–9.
- [16] R. Dwi, J. Kartika, and Y. Chusna, "Rancang Bangun Elektronik Motor Relay Sebagai Proteksi Berbagai Gangguan Motor Listrik," vol. 4, no. 2, 2022.
- [17] D. Widjajanto and N. Nadhiroh, "Integrasi Komunikasi PLC-HMI-SCADA dalam Sistem Pengendalian Kecepatan Motor 3 fasa Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Volume 11 Tahun 2025," vol. 11, 2025.
- [18] D. B. Paillin, "Pengaruh Penggunaan Sistem Scada Pada Keandalan Jaringan Distribusi Pt . Pln Area Masohi," vol. 12, no. 1, 2018.

