

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Distribusi daya listrik merupakan bagian penting pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari sumber (Gardu induk) menuju ke beban akhir di berbagai sektor, termasuk sektor industri. Dalam lingkungan industri, sistem distribusi harus dirancang dan dioperasikan secara efisien untuk memastikan kontinuitas operasional, efisiensi energi, serta menghindari kerugian energi dan biaya operasional yang tinggi. Salah satu komponen penting dalam sistem distribusi ini adalah *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP) atau panel distribusi utama tegangan rendah.

PT. Petrokimia Gresik merupakan perusahaan pupuk nasional yang memiliki peran penting dalam mendukung ketahanan pangan Indonesia. Salah satu lini produksinya adalah pabrik Pupuk NPK, yang dalam proses produksinya membutuhkan pasokan listrik yang stabil, aman, dan efisien. Instalasi LVMDP berperan penting dalam mendistribusikan daya listrik ke berbagai unit mesin dan peralatan produksi yang terdapat pada pabrik ini. Oleh karena itu, analisis efisiensi distribusi daya pada LVMDP sangat penting untuk memastikan keandalan sistem listrik serta mendukung produktivitas pabrik.

Ketidakterpenuhinya kebutuhan listrik atau terganggunya aliran daya dapat menyebabkan kerugian besar dari sisi produktivitas, kualitas produk, hingga keselamatan kerja. Oleh karena itu, sistem distribusi daya listrik harus didesain dan dioperasikan secara efisien, khususnya dalam lingkungan industri besar seperti pabrik pupuk. Salah satu komponen utama dalam sistem distribusi tegangan rendah ini adalah *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP). LVMDP berfungsi sebagai pusat distribusi daya dari transformator ke berbagai beban seperti motor listrik, sistem kontrol, sistem pencahayaan, dan peralatan industri lainnya. Pada Pabrik

Pupuk NPK PT. Petrokimia Gresik, LVMDP memiliki peranan krusial karena mendistribusikan daya untuk mendukung proses produksi skala besar yang berjalan secara terus-menerus dan tanpa henti.

LVMDP adalah komponen utama dalam sistem distribusi listrik tegangan rendah dan biasanya menerima suplai tegangan dari trafo distribusi sebesar 20kV/400V-380V. Kemudian mendistribusikan daya ke subpanel atau beban akhir seperti motor, *heater*, *lighting*, dan peralatan kontrol. Di Pabrik Pupuk NPK PT. Petrokimia Gresik, LVMDP digunakan untuk mendukung operasional alat-alat berat dan proses kimia yang membutuhkan ketelitian dalam pengendalian energi. Kegagalan atau inefisiensi pada LVMDP dapat menyebabkan gangguan produksi yang berdampak pada kualitas dan kuantitas hasil produksi pupuk. Dalam praktiknya, sistem distribusi listrik yang berada di lingkungan industri seperti Pabrik Pupuk NPK PT. Petrokimia Gresik sering kali menghadapi sejumlah tantangan, diantaranya seperti Kerugian Daya (*losses*) akibat penghantar, koneksi dan peralatan yang tidak efisien. Lalu terdapat Kapasitas pemakaian daya yang tidak merata antar beban, sehingga terjadi *overloading* pada panel tertentu. Kemudian terdapat Penurunan tegangan (*Voltage Drop*) yang signifikan pada ujung jaringan, yang berdampak pada kinerja peralatan. Yang terakhir adalah Kurangnya sistem *monitoring* dan kontrol energi, sehingga manajemen energi sangat sulit dilakukan secara akurat. Penelitian yang dilakukan oleh Irsyam pada tahun 2023 menunjukkan bahwa pada sistem LVMDP PT. Musimmas Batam, ditemukan kerugian daya mencapai 3,16 kW dari total supply 8 kW akibat konfigurasi kabel penghantar sepanjang 500 meter dan ketidakseimbangan arus antar fase (Irsyam, 2023).

Dalam penelitian skripsi ini, fokus permasalahan yang diambil adalah mengenai Analisis Efisiensi Distribusi Daya Listrik Pada Instalasi LVMDP, dengan mengukur dan menganalisis rugi-rugi daya aktif, jatuh tegangan, keseimbangan arus, dan efisiensi pemanfaatan energi. Yang mana mencakup perhitungan pada besar rugi-rugi daya (I^2R losses) pada konduktor, mengukur *drop* tegangan antara tegangan sumber dan tegangan

beban, mengkaji faktor daya dan arus netral, serta membandingkan kondisi *eksisting* dengan standar ideal Distribusi daya. Patria Julianto dan Nur Fadila pada tahun 2025, dalam penelitiannya di PT. Pertamina Hulu Indonesia menunjukkan bahwa simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP dapat menganalisis rugi-rugi daya dan jatuh tegangan secara detail, dengan hasil bahwa rugi-rugi daya saat beban malam mencapai 47 kW dan jatuh tegangan sebesar 10,02% (Julianto, 2025). Simulasi seperti ini sangat membantu dalam mengidentifikasi titik lemah sistem distribusi dan menjadi dasar rekomendasi perbaikan. Di sisi lain, menurut V. H. D. Hashmi yang dilakukan pada tahun 2022, ketidakseimbangan tegangan antar fase (*Voltage Unbalance Factor/VUF*) menyebabkan meningkatnya rugi-rugi daya, menurunnya efisiensi motor, dan mempercepat kerusakan peralatan (Hashmi, 2022). Mereka menyarankan penggunaan indikator PVUR (*Phase Voltage Unbalance Rate*) sebagai pendekatan praktis untuk mendeteksi *unbalance* pada sistem distribusi tegangan rendah. Keunggulan dari penelitian ini adalah pendekatannya yang komprehensif dan praktis, dilakukan langsung pada lingkungan industri nyata yaitu Pabrik Pupuk NPK PT. Petrokimia Gresik, bukan hanya berbasis simulasi atau model umum. Penelitian ini juga akan menggunakan data *real-time* dari pengukuran langsung di lapangan untuk menghitung parameter efisiensi dan kerugian daya. Dari sisi keterbaruan, penelitian ini menggabungkan pendekatan teknis pengukuran langsung, perhitungan matematis, dan studi pustaka berbasis jurnal terkini untuk menghasilkan analisis yang mendalam. Selain itu, terdapat rencana implementasi pengukuran indikator efisiensi seperti nilai rugi daya (P_{loss}), dan keseimbangan fase menggunakan data aktual.

Hipotesis dan capaian yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut, yang mana "*Terdapat efisiensi distribusi daya pada LVMDP di Pabrik Pupuk NPK PT. Petrokimia Gresik yang dapat diminimalisasi melalui pengukuran dan evaluasi menyeluruh terhadap sistem distribusi yang ada.*". Adapun capaian yang diharapkan adalah, data Distribusi daya aktual dari LVMDP (arus, tegangan, faktor daya), perhitungan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah perbaikan konfigurasi

beban, evaluasi kondisi arus sebagai indikator ketidakseimbangan beban, rekomendasi teknis perbaikan (misalnya redistribusi beban atau pemasangan kapasitor bank), dan peningkatan efisiensi minimal 5-10% berdasarkan perbandingan kondisi sebelum dan sesudah evaluasi. Penelitian ini tidak hanya memberikan manfaat bagi pengembangan keilmuan teknik elektro pada bidang sistem tenaga, tetapi juga diharapkan mampu memberikan masukan nyata bagi manajemen operasional pemeliharaan pabrik 2 PT. Petrokimia Gresik dalam mengoptimalkan penggunaan energi listrik secara efisien.

Selain itu, penting juga untuk memperhatikan regulasi dan standar teknis yang berlaku seperti SNI, IEEE Std. 141-1993, dan SPLN, yang menetapkan bahwa rugi-rugi daya dan jatuh tegangan harus dijaga di bawah ambang batas tertentu (umumnya $<10\%$ untuk tegangan dan $<5\%$ untuk *losses*). Penerapan sistem distribusi daya yang efisien tidak hanya berdampak pada pengurangan biaya energi, tetapi juga turut menjaga usia pakai peralatan, mengurangi biaya pemeliharaan, dan mencegah *downtime* operasional. Dengan kata lain, efisiensi energi listrik menjadi bagian penting dari sistem manajemen energi industri (ISO 50001), yang saat ini semakin banyak diterapkan di berbagai sektor manufaktur termasuk industri pupuk. Maka dari itu, hasil penelitian ini diharapkan juga dapat menjadi kontribusi bagi peningkatan efisiensi energi nasional melalui penerapan praktik kelistrikan yang lebih cerdas, hemat energi, dan berkelanjutan pada sektor industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini :

1. Bagaimana kondisi distribusi daya listrik dari LVMDP ke panel-panel beban di pabrik pupuk NPK PT. Petrokimia Gresik?
2. Berapa besar rugi-rugi daya (I^2R *losses*) yang terjadi pada sistem distribusi tersebut?

3. Seberapa efisien Distribusi daya listrik yang terjadi dalam sistem LVMDP?
4. Apa solusi teknis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi Distribusi daya tersebut?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kondisi aktual distribusi daya listrik dari LVMDP menuju ke panel-panel beban pada unit Pabrik Pupuk NPK PT. Petrokimia Gresik.
2. Menghitung besarnya rugi-rugi daya listrik (*losses*) yang terjadi pada instalasi distribusi LVMDP.
3. Menganalisis tingkat efisiensi distribusi daya listrik pada saat kondisi beban penuh dan beban parsial.
4. Memberikan rekomendasi teknis yang tepat untuk meningkatkan efisiensi distribusi daya listrik pada sistem LVMDP.

1.3.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya pada topik Efisiensi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Tegangan Rendah.
2. Menjadi referensi bagi penelitian lanjutan terkait Evaluasi Kinerja dan Optimasi Sistem Distribusi Listrik di Sektor Industri.
3. Memberikan informasi teknis yang akurat kepada pihak PT. Petrokimia Gresik mengenai kondisi efisiensi distribusi daya listrik di instalasi LVMDP.

4. Menyediakan dasar pertimbangan dalam pengambilan keputusan terkait perbaikan sistem distribusi listrik untuk mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan efisiensi energi.
5. Mendorong penerapan sistem distribusi yang lebih hemat energi, andal, dan sesuai standar kelistrikan industri.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu diperhatikan yakni :

1. Lingkup analisis ini hanya mencakup distribusi daya listrik dari LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*) ke panel-panel beban utama di Pabrik Pupuk NPK PT. Petrokimia Gresik.
2. Jenis data yang dianalisis terbatas pada data kelistrikan seperti arus, tegangan, daya, rugi-rugi daya (I^2R losses), dan diukur atau diamati secara langsung dari instalasi.
3. Analisis hanya dilakukan untuk kondisi operasi beban penuh dan beban parsial, tanpa membahas sistem cadangan (*backup power*), generator, atau UPS (*Uninterruptible Power Supply*).
4. Tidak membahas desain ulang sistem distribusi atau penggantian total instalasi, tetapi hanya memberikan analisis dan rekomendasi teknis perbaikan berdasarkan sistem *eksisting*.
5. Analisis efisiensi tidak mencakup aspek biaya ekonomi secara rinci, melainkan fokus pada parameter teknis efisiensi energi.
6. Simulasi dilakukan menggunakan *software* ETAP, dengan model sistem kelistrikan berdasarkan data aktual lapangan.
7. Penggunaan ETAP hanya difokuskan untuk mendukung hasil perhitungan teknis dan tidak mencakup studi Koordinasi Proteksi, *Short Circuit*, Harmonisa, *Arc Flash*, atau perencanaan kapasitas sistem.

8. Data input ETAP hanya menggunakan data yang tersedia dari pengukuran aktual di lapangan atau data dokumentasi teknis perusahaan, bukan asumsi atau estimasi spekulatif.

kondisi, yaitu pada saat kondisi beban penuh (*peak*) dan pada saat kondisi beban parsial (*off-peak/normal*).