

Rancang Bangun Energy Endpoint Monitoring (EPM) Prototipe di PT PLN (Persero) UP2D Sumatera Utara

Astri Floren Simatupang^{1,*}, Yanti Yusman², Khairul³

^{1,2,3} Sains dan Teknologi, Sistem Komputer, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

Email: ^{1,*}astri.floren1606@gmail.com, ²yantiyusman@gmail.com, ³khairul@dosen.pancabudi.ac.id

^{*)} Email Penulis Utama

Abstrak— Teknologi digitalisasi dalam distribusi energi telah menjadi elemen yang sangat penting dalam meningkatkan keandalan layanan kepada konsumen yang semakin beragam. Seiring dengan semakin tergantungnya dunia pada teknologi, langkah-langkah inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas layanan distribusi energi menjadi kebutuhan yang tak terhindarkan. Salah satu langkah signifikan yang diambil oleh PLN dalam mewujudkan visi besar melalui program moonshot digitalisasi adalah dengan menghadirkan aplikasi Energy Endpoint Monitoring (EPM). Sistem ini memanfaatkan teknologi digital dan Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, serta kualitas distribusi energi, terutama bagi pelanggan di ujung jaringan distribusi 20 kV dan acara VIP yang memerlukan kestabilan pasokan energi tinggi. EPM dirancang untuk memonitor kondisi pasokan energi secara real-time, memastikan energi yang disalurkan tidak hanya tersedia secara kontinu tetapi juga terjaga dalam kondisi yang optimal dan dapat memenuhi kebutuhan pelanggan dengan tepat waktu. Teknologi ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada laporan manual yang sering kali tidak efisien dan memperlambat respons terhadap gangguan pasokan energi. Dengan memanfaatkan EPM, PLN dapat memantau kondisi energi secara langsung tanpa harus menunggu laporan dari pelanggan, yang memungkinkan penanganan gangguan yang lebih cepat. Hasil pengujian aplikasi EPM menunjukkan dampak yang signifikan terhadap pengelolaan distribusi energi. Sebelum penerapan EPM, PLN sering menghadapi laporan gangguan berulang yang disebabkan oleh monitoring masih manual dan menunggu laporan dari pelanggan sehingga pemantauan kondisi pasokan yang tidak akurat. Data yang diperoleh selama Januari hingga Maret 2024 mencatatkan jumlah laporan berulang yang cukup tinggi, antara 7 hingga 25 laporan per bulan. Namun, setelah implementasi EPM pada April 2024, jumlah laporan berulang mengalami penurunan drastis. Pada April 2024, laporan berulang turun menjadi hanya 5 laporan, dan pada bulan-bulan berikutnya, jumlah laporan berulang menurun lebih jauh menjadi 0 hingga 3 laporan per bulan, dengan bulan Mei hingga Juli 2024 tercatat tidak ada laporan berulang sama sekali. Penurunan ini menunjukkan bahwa EPM efektif dalam meningkatkan akurasi monitoring kondisi pasokan energi dan mempercepat identifikasi serta penanganan gangguan. Keberhasilan sistem ini juga terlihat pada berkurangnya ketergantungan terhadap metode manual yang digunakan sebelumnya di *Distribution Control Center* (DCC), yang sering memperlambat respons terhadap gangguan. Penerapan EPM membawa perubahan signifikan dalam pengambilan keputusan yang lebih cepat dan berbasis data yang akurat, sehingga dapat merespons gangguan dengan lebih efisien dan tepat. EPM juga meningkatkan transparansi dan memperkuat kepercayaan pelanggan terhadap PLN. Pasokan energi yang lebih andal dan stabil meningkatkan rasa nyaman bagi pelanggan yang sangat bergantung pada kestabilan pasokan listrik. Dengan sistem EPM yang lebih efisien, PLN tidak hanya memperbaiki kualitas layanan operasional, tetapi juga menciptakan distribusi energi yang lebih responsif dan efisien. EPM telah terbukti menjadi langkah penting untuk memperkuat sistem distribusi energi, memastikan pasokan energi yang lebih stabil, dan mendukung kesuksesan berbagai kegiatan yang bergantung pada kestabilan pasokan listrik, seperti acara VIP. Dengan implementasi EPM, PLN semakin dekat dengan pencapaian misi moonshot digitalisasi yang bertujuan untuk menciptakan jaringan distribusi yang lebih cerdas, efisien, dan andal, demi memberikan layanan terbaik bagi seluruh pelanggan.

Kata Kunci: Digitalisasi distribusi energi, Energy Endpoint Monitoring (EPM), Smart energy management

Abstract— *Digital technology in energy distribution has become a crucial element in improving the reliability of services to an increasingly diverse range of consumers. As the world becomes more dependent on technology, innovative steps to enhance the efficiency and effectiveness of energy distribution services are becoming an unavoidable necessity. One significant step taken by PLN in realizing its grand vision through the moonshot digitalization program is the development of the Energy Endpoint Monitoring (EPM) application. This system leverages digital technology and the Internet of Things (IoT) to enhance the efficiency, reliability, and quality of energy distribution, especially for customers at the end of the 20 kV distribution network and for VIP events that require high energy supply stability. EPM is designed to monitor the energy supply conditions in real-time, ensuring that the energy delivered is not only continuously available but also maintained at optimal levels and capable of meeting customer needs promptly. This technology aims to reduce reliance on manual reporting, which is often inefficient and slows down the response to energy supply disruptions. By using EPM, PLN can monitor energy conditions directly without having to wait for reports from customers, allowing for quicker disruption resolution. The results of EPM system testing show a significant impact on energy distribution management. Before the implementation of EPM, PLN often faced recurring disruption reports caused by manual monitoring and the need to wait for reports from customers, resulting in inaccurate monitoring of energy supply conditions. Data collected from January to March 2024 recorded a relatively high number of recurring reports, ranging from 7 to 25 reports per month. However, after EPM was implemented in April 2024, the number of recurring reports drastically decreased. In April 2024, recurring reports dropped to just 5, and in the following months, the number of reports further decreased to between 0 and 3 per month, with May to July 2024 showing no recurring reports at all. This decline indicates that EPM has effectively improved the accuracy of energy supply monitoring and*

expedited the identification and handling of disruptions. The success of this system is also evident in the reduced dependence on the manual methods previously used at the Distribution Control Center (DCC), which often delayed response times to disruptions. The implementation of EPM has brought significant improvements in faster decision-making based on accurate data, enabling more efficient and precise responses to disruptions. Moreover, EPM enhances transparency and strengthens customer trust in PLN. More reliable and stable energy supply increases the sense of security for customers who heavily rely on the stability of their electricity supply. With a more efficient EPM system, PLN not only improves the quality of operational services but also creates a more responsive and efficient energy distribution network. EPM has proven to be a critical step in strengthening the energy distribution system, ensuring a more stable energy supply, and supporting the success of various events that depend on stable electricity supply, such as VIP events. With the implementation of EPM, PLN is moving closer to achieving its moonshot digitalization mission, which aims to create a smarter, more efficient, and reliable distribution network, providing the best service for all customers.

Keywords: Energy distribution digitalization, Energy Endpoint Monitoring (EPM), Smart energy management

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi digital dan Internet of Things (IoT), sektor distribusi energi telah mengalami transformasi yang signifikan. Perkembangan ini berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan layanan distribusi energi kepada berbagai konsumen yang semakin beragam [1]. Dalam dunia yang kian bergantung pada teknologi, kebutuhan akan solusi yang lebih efisien, transparan, dan responsif dalam pengelolaan distribusi energi menjadi semakin mendesak. Sektor energi, khususnya distribusi energi, memainkan peran vital dalam menjaga kelangsungan berbagai aktivitas ekonomi, sosial, dan industri. Oleh karena itu, langkah-langkah inovatif untuk meningkatkan kualitas dan keandalan pasokan energi sangat diperlukan. Teknologi digitalisasi dan IoT membuka peluang untuk memperbaiki dan mengoptimalkan pengelolaan distribusi energi, sehingga pelayanan kepada pelanggan dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien.

Namun, selama ini sering terjadinya laporan gangguan berulang dan pelanggan yang berada di ujung jaringan tidak termonitor dengan baik, terutama ketika gardu mengalami pemadaman. Hal ini menyebabkan laporan gangguan yang berulang-ulang dan kesulitan dalam penanganannya [2]. Di sisi lain, tanpa adanya sistem yang memadai seperti EPM (Energy Endpoint Monitoring), kualitas pelayanan PLN bisa terbilang kurang optimal karena gangguan baru akan ditindaklanjuti setelah pelanggan melapor, yang tentu saja menyebabkan adanya energi yang tidak terjual (*energy not sold*). Metode yang dilakukan selama ini masih bersifat manual dan mengandalkan laporan dari pelanggan, yang tentu memakan waktu dan kurang efisien [3]. Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah untuk memperbaiki pengelolaan distribusi energi ini.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan membangun aplikasi EPM. EPM bertujuan untuk memonitor kondisi pelanggan yang berada di gardu ujung jaringan secara real-time, sehingga dapat mengantisipasi dan menangani gangguan yang terjadi dengan lebih cepat dan akurat. Sistem EPM ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada laporan pelanggan dan meningkatkan kecepatan respons PLN dalam menangani gangguan. Dengan demikian, penerapan EPM tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memastikan kestabilan pasokan energi yang lebih baik bagi pelanggan, serta mencegah terjadinya pemborosan energi.

Salah satu terobosan teknologi yang dihadirkan oleh PLN dalam upaya mengimplementasikan misi digitalisasi distribusi adalah melalui moonshot digital dengan pengembangan sistem aplikasi yang dikenal sebagai Energy Endpoint Monitoring (EPM). EPM merupakan sebuah sistem inovatif yang diciptakan untuk memonitoring dan mengawasi kondisi pasokan energi secara lebih efektif, terutama bagi pelanggan yang mendapat layanan pada ujung jaringan distribusi jaringan 20 kV [4]. Dalam hal ini, EPM berfungsi untuk memastikan bahwa pasokan energi tidak hanya tersedia secara kontinu, tetapi juga terjaga dalam kondisi yang optimal. Hal ini penting untuk memastikan seluruh pelanggan dapat menikmati manfaat pasokan energi yang andal, efisien, dan berkualitas, tanpa terkecuali.

Sistem EPM yang diterapkan oleh PLN memiliki peran yang sangat penting, tidak hanya dalam meningkatkan kualitas layanan energi secara umum, tetapi juga dalam mengatasi tantangan yang muncul, terutama di lokasi-lokasi yang memerlukan kestabilan pasokan energi yang lebih tinggi [5]. Salah satu contohnya adalah penyelenggaraan acara VIP yang berskala besar dan memiliki tingkat kepentingan yang tinggi. Acara-acara tersebut bisa berskala lokal, nasional, atau internasional, yang sering kali menghadirkan tantangan dalam menjaga kestabilan dan kelancaran pasokan energi [6]. Dengan adanya EPM, PLN dapat memastikan bahwa pasokan energi untuk acara-acara penting tersebut tetap berjalan dengan lancar, tanpa adanya gangguan yang dapat merugikan pihak penyelenggara maupun pelanggan.

Penerapan EPM membawa banyak manfaat bagi PLN dan para pelanggan. Secara internal, teknologi ini memungkinkan PLN untuk memantau kondisi jaringan distribusi dengan lebih baik dan akurat, meminimalisir kemungkinan terjadinya gangguan, dan mempercepat proses identifikasi masalah yang timbul [7]. Kecepatan dalam mendeteksi masalah dan gangguan pada jaringan sangat penting untuk mengurangi dampak yang bisa ditimbulkan, baik bagi pelanggan maupun bagi operasional PLN itu sendiri [8]. Dengan pengelolaan distribusi

energi yang lebih baik dan terstruktur, PLN dapat merespons permasalahan dengan lebih cepat, melakukan perbaikan yang lebih efisien, dan memberikan informasi yang lebih transparan kepada pelanggan.

Salah satu keuntungan utama dari sistem EPM adalah kemampuannya untuk mengoptimalkan proses pengambilan keputusan yang lebih cepat dan berbasis data. Sebelumnya, dalam banyak kasus, pemantauan dan perbaikan masalah pada jaringan distribusi energi dilakukan dengan cara manual atau berdasarkan laporan lapangan yang memakan waktu cukup lama dan kurang efisien [9]. Namun, dengan EPM, PLN dapat melakukan pemantauan secara real-time dan memperoleh data yang lebih akurat mengenai kondisi pasokan energi di berbagai titik distribusi. Data ini sangat berguna untuk merumuskan kebijakan dan keputusan yang tepat, baik dalam hal penanganan masalah yang mendesak maupun dalam hal perencanaan pengembangan infrastruktur energi jangka panjang. Penerapan teknologi digitalisasi ini juga meningkatkan efisiensi dalam operasional PLN. Dalam setiap aspek distribusi energi, mulai dari pemantauan kondisi pasokan hingga manajemen pemeliharaan dan perbaikan, teknologi ini memungkinkan PLN untuk mengelola sumber daya dengan lebih optimal [10]. Selain itu, dengan adanya sistem yang canggih seperti EPM, PLN dapat menekan biaya operasional yang sebelumnya dikeluarkan untuk pemeliharaan dan perbaikan infrastruktur jaringan yang lebih sering dilakukan secara manual.

Salah satu faktor yang sangat mendasar dalam pengelolaan distribusi energi adalah meningkatkan kepercayaan pelanggan terhadap layanan yang diberikan [11]. Pasokan energi yang stabil dan andal menjadi tuntutan yang tidak bisa ditawar-tawar oleh pelanggan, baik itu pelanggan individu, bisnis, maupun industri. Dengan adanya sistem monitoring yang canggih seperti EPM, PLN tidak hanya mampu memastikan bahwa pasokan energi tetap terjaga dalam kondisi optimal, tetapi juga dapat menciptakan rasa aman dan kepercayaan yang lebih besar di antara para pelanggan. Kepercayaan ini sangat penting, terutama dalam era yang penuh dengan ketidakpastian dan tantangan, di mana kestabilan pasokan energi dapat memengaruhi berbagai sektor kehidupan.

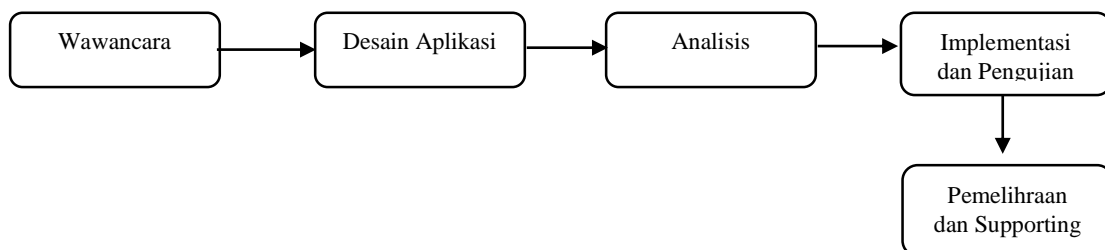
Selain itu, teknologi EPM juga memberikan fleksibilitas lebih dalam hal responsivitas terhadap kebutuhan energi yang beragam. PLN dapat menyesuaikan distribusi energi sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan spesifik pelanggan, baik itu untuk acara VIP, area industri, atau permukiman. Kemampuan untuk memonitor kondisi energi secara lebih detail memungkinkan PLN untuk mengatur distribusi energi dengan lebih presisi, dan memberikan pasokan energi yang lebih terjangkau dan efisien [12].

Di samping itu, pengembangan teknologi IoT dalam distribusi energi memberikan kontribusi besar dalam menghubungkan berbagai perangkat yang ada dalam jaringan distribusi. Setiap perangkat yang terpasang di lapangan dapat saling berkomunikasi dan memberikan informasi secara langsung ke Distribution Control Center, memungkinkan PLN untuk menganalisis data secara lebih cepat dan tepat [13]. Data yang dikumpulkan dari berbagai sensor dan perangkat IoT dapat diolah menjadi informasi yang berguna dalam mengambil langkah-langkah strategis yang lebih akurat dalam pengelolaan energi. Dengan penerapan teknologi ini, PLN dapat menjawab tantangan masa depan dalam distribusi energi yang semakin kompleks, memastikan keberlanjutan pasokan energi yang lebih baik, efisien, dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian

Pada Gambar 1, digambarkan tahapan penelitian dimana metode penelitian yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kualitatif dengan tujuan untuk membangun aplikasi Energy Endpoint Monitoring (EPM) dengan memanfaatkan teknologi Google Data Studio. Dengan memanfaatkan teknologi ini, diharapkan dapat mengurangi biaya operasional aplikasi dan mengurangi kebutuhan akan perangkat keras server yang mahal. Selain itu, penggunaan Google Data Studio memberikan keuntungan dalam visualisasi data secara real-time, memungkinkan analisis yang lebih cepat dan efektif dalam pemantauan konsumsi energi. Teknologi ini juga memungkinkan integrasi dengan berbagai sumber data secara langsung, yang memudahkan proses pengambilan keputusan dan meningkatkan efisiensi operasional. Peneliti mengumpulkan data melalui observasi langsung terhadap proses pemantauan energi yang dilakukan pada pelanggan, untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang desain dan implementasi aplikasi EPM. Seluruh tahapan penelitian dilaksanakan secara terstruktur, logis, dan sistematis. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan penulis adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

1. Wawancara.

Langkah awal yang penulis lakukan dalam penelitian ini yakni melakukan wawancara terkait dengan permasalahan yang sedang diteliti. Wawancara ini melibatkan petugas pengatur distribusi . Tujuan dari wawancara tersebut adalah untuk mengidentifikasi kendala-kendala yang dihadapi oleh petugas pengatur distribusi dalam memonitoring distribusi energi di pelanggan paling ujung pada jaringan 20kV dan memonitoring keandalan suplay energi saat acara – acara VIP baik lokal,nasional maupun international.

2. Desain Aplikasi.

Selanjutnya penulis melakukan desain aplikasi yaitu dengan membuat prototife antarmuka pengguna. Dalam proses ini penulis mendesain tampilan – tampilan dashbord Energi Endpoint Monitoring (EPM) yang akan digunakan petugas operator pengatur distribusi dalam memonitoring distribusi energi pada pelanggan yang ada diujung jaringan maupun acara VIP. Pada tahap ini penulis mendesain aplikasi dengan memanfaatkan program google datastudio. Penulis memilih menggunakan google datastudio sebagai desain aplikasi karena akan lebih mudah diakses oleh petugas pengatur distribusi baik yang di ruang kontrol room maupun petugas lapangan karena tidak harus ketergantungan jalur komunikasi data VPN.

3. Analisis

Data hasil dari wawancara dan desain aplikasi, kemudian penulis menganalisa kebutuhan aplikasi untuk menemukan solusi atas permasalahan yang sedang diteliti.

4. Pengujian dan Implementasi

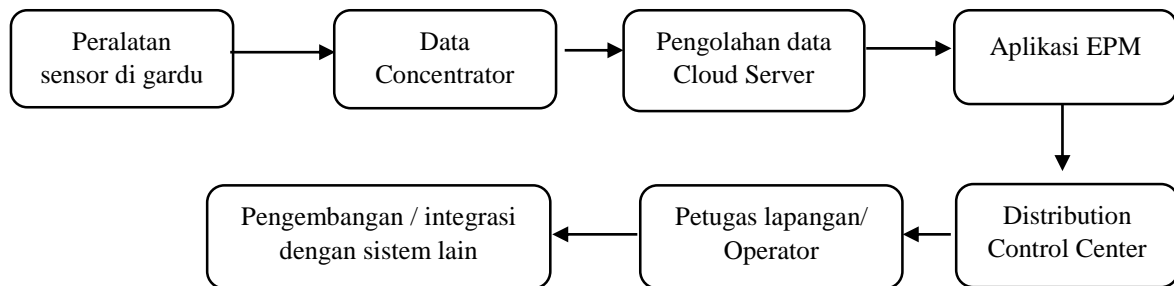
Untuk mencoba hasil dari desain aplikasi sistem yang telah dilakukan oleh penulis, dilakukan implementasi dan pengujian kepada user khususnya petugas pengatur distribusi pengguna, yang akan memberikan feedback atas hasil pengujian sistem yang sudah di desain oleh penulis.

5. Pemeliharaan dan Supporting

Penulis mengidentifikasi kebutuhan pemeliharaan dan supporting dari penggunaan aplikasi Energi Endpoint Monitoring (EPM) guna pengembangan maupun penyesuain kebutuhan sistem disaat ini ataupun dimasa yang akan datang.

2.2 Arsitektur Aplikasi EPM

Pada Gambar 2, di tampilkan arisitektur aplikasi EPM beserta penjelasannya.



Gambar 2. Arsitektur Aplikasi EPM

1. Sensor di gardu distribusi, pada gardu distribusi dipasang perangkat sensor bersis Internet of Things (IoT) untuk memantau kondisi pasokan energi secara real-time. Perangkat ini mengukur berbagai parameter seperti tegangan, arus sehingga dapat memberikan informasi terkini mengenai kondisi jaringan.
2. Data Concentrator merupakan data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor pada gardu distribusi kemudian dikirimkan ke server atau platform cloud untuk diproses lebih lanjut. Platform ini memastikan bahwa data yang diterima adalah akurat dan up-to-date.
3. Pengolahan Data (Cloud/Server) data akan diterima dan diproses menggunakan teknologi seperti big data dan machine learning. Proses ini memungkinkan untuk menganalisis kondisi jaringan secara mendalam dan mendeteksi potensi gangguan atau masalah yang mungkin terjadi.
4. Energy Endpoint Monitoring akan menampilkan data yang sudah dianalisa melalui aplikasi EPM yang interaktif, dengan memanfaatkan Google Data Studio. EPM ini menyajikan informasi dalam bentuk grafik dan laporan visual yang memudahkan petugas atau operator DCC untuk memantau kondisi distribusi energi secara langsung dan membuat keputusan yang cepat.
5. Distribution Control Center merupakan pusat pengendali, operator dapat mengintegrasikan dan mengelola seluruh data yang diterima untuk merespons gangguan pada jaringan distribusi energi. Ini memungkinkan pemecahan masalah yang cepat dan tepat, guna memastikan kelancaran pasokan energi ke pelanggan.
6. Petugas lapangan/ operator untuk melaksanakan fungsi tugas dilapangan berdasarkan data yang telah dianalisis, keputusan untuk mengelola energi dan melakukan perbaikan pada jaringan dapat diambil

secara cepat dan berbasis data yang akan mengurangi waktu respons dan meningkatkan efektivitas dalam menangani masalah.

7. Pengembangan / Integrasi dengan Sistem Lain dimana EPM dapat terintegrasi dengan sistem manajemen lain seperti EAM (Enterprise Aset Manajemen). Integrasi ini memungkinkan pengelolaan data dan alur informasi yang lebih efisien di seluruh proses distribusi energi.

Berdasarkan point – point tersebut , maka secara keseluruhan arsitektur aplikasi EPM menunjukkan setiap komponen dalam sistem EPM saling terhubung untuk meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan distribusi energi yang akan memberikan dampak respon gangguan lebih cepat serta penanganan permasalahan yang lebih cepat guna menwujutkan layanan energi yang efisien, andal dan berkualitas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi dan Pengujian

Perancangan aplikasi dari hasil analisis untuk mendukung sistem *Energy Endpoint Monitoring* (EPM) yang bertujuan memudahkan pemantauan kondisi pasokan energi pada gardu ujung jaringan dan acara VIP. Aplikasi ini memanfaatkan teknologi IoT dan *Google Data Studio* untuk mendukung integrasi berbagai database IoT. Penelitian ini berfokus pada pembuatan aplikasi EPM dan untuk perangkat IoT dipasang digardu distribusi untuk pengukuran energi pada ujung jaringan sebagai data collector hanya sebagai informasi dalam penelitian ini. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh wawancara dengan petugas operator *Distribution Control Center* (DCC), yang mengungkapkan bahwa selama ini belum ada sistem yang memadai untuk memonitor kondisi gardu ujung jaringan maupun acara VIP, yang hanya bergantung pada metode manual dan laporan pelanggan. Hal ini menyebabkan laporan yang berulang dari pelanggan cukup banyak karena tidak adanya aplikasi untuk memonitor langsung kondisi ini. Aplikasi EPM ini telah dipergunakan sejak April 2024, Berikut adalah gambaran menu dan fungsi yang digunakan dalam aplikasi tersebut dalam bentuk screenshot:

3.2 Hasil Pengujian Aplikasi EPM

Hasil pengujian aplikasi *Energy Endpoint Monitoring* (EPM) menunjukkan dampak positif yang signifikan terhadap efisiensi pemantauan kondisi pasokan energi di gardu ujung jaringan dan acara VIP. Hal ini dapat dilihat dari data yang tersaji pada Tabel 1, yang mengilustrasikan penurunan yang signifikan dalam jumlah laporan berulang yang diterima setelah aplikasi ini diuji coba pada April 2024. Sebelumnya, laporan berulang yang disebabkan oleh kesalahan deteksi atau ketidakakuratan informasi dalam pengawasan kondisi pasokan energi sering kali menjadi masalah yang memerlukan perhatian lebih.

Tabel 1. Jumlah Laporan Berulang Sebelum Pengujian

Uraian	Tahun	Bulan			
		Jan	Feb	Mar	Apr
Jumlah Laporan Berulang	2024	7	25	9	5

Sejak diimplementasikannya aplikasi EPM, tampak jelas bahwa sistem ini berhasil mengurangi ketergantungan pada metode manual yang sebelumnya digunakan oleh petugas di *Distribution Control Center* (DCC). Dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk pengukuran data energi secara real-time di gardu ujung jaringan, aplikasi EPM mampu menyediakan informasi yang lebih akurat dan tepat waktu. Hal ini memungkinkan petugas untuk segera mengidentifikasi dan menanggulangi potensi gangguan sebelum menjadi masalah besar, yang pada gilirannya mengurangi jumlah laporan berulang yang biasanya diterima dari pelanggan dapat dilihat pada Tabel 2, dimana dari jumlah laporan berulang sebelum bulan april 2024 sebesar 25 kali menjadi 1 kali hingga desember 2024.

Tabel 2. Jumlah Laporan Berulang Setelah Pengujian

Uraian	Tahun	Bulan								
		Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
Jumlah Laporan Berulang	2024	5	1	0	0	2	0	3	1	1

Keberhasilan ini juga memperlihatkan bagaimana integrasi berbagai sumber data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT dengan platform analitik seperti *Google Data Studio* dapat memberikan manfaat besar dalam hal transparansi dan pengambilan keputusan yang lebih cepat. Dengan adanya aplikasi EPM, sistem pemantauan menjadi lebih otomatis dan efektif, mengurangi ketergantungan pada laporan manual dari pelanggan yang sering kali tidak lengkap atau terlambat. Seiring dengan waktu, diharapkan penurunan jumlah laporan berulang ini akan terus berlanjut, menciptakan sistem yang lebih efisien dan responsif dalam menangani masalah pasokan energi di gardu ujung jaringan dan acara VIP.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa aplikasi EPM tidak hanya meningkatkan akurasi data dan kecepatan respons terhadap masalah pasokan energi, tetapi juga berpotensi mengurangi biaya operasional yang sebelumnya dikeluarkan untuk menangani laporan berulang yang disebabkan oleh sistem yang kurang efektif.

3.3 Menu – menu aplikasi

Untuk mempercepat interaksi antara petugas pengatur distribusi dengan aplikasi Energy Endpoint Monitoring (EPM) maka dibuat menu – menu aplikasi yang sudah dikelompokkan untuk kemudahan operasi seperti Gambar 3.



Gambar 3. Menu – Menu Aplikasi EPM

3.3.1 Menu Daftar Gardu

Gambar 4, menampilkan menu yang menyediakan informasi dasar mengenai seluruh gardu distribusi yang terpantau dalam sistem EPM. Menu ini bertujuan untuk memberikan gambaran tentang jumlah gardu yang sudah termonitoring di aplikasi EPM dari seluruh gardu distribusi yang ada pada jaringan distribusi PLN. Informasi rinci mengenai setiap gardu distribusi yang sudah terpantau oleh aplikasi, terdiri dari elemen-elemen sebagai berikut:

- a. Nama Unit UP3
Informasi mengenai Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) menunjukkan area operasional yang bertanggung jawab atas distribusi energi Listrik. Setiap gardu distribusi yang dimonitoring akan dikaitkan dengan unit UP3 yang bertanggung jawab di area mana gardu distribusi tersebut terpasang.
- b. Nama Unit ULP
Selain unit UP3, gardu distribusi juga terhubung dengan Unit Layanan Pelanggan (ULP), yang bertanggung jawab langsung untuk memberikan pelayanan dan pengelolaan teknis di tingkat lokal. Unit ULP ini akan terkait langsung dengan gardu distribusi yang berada dalam wilayah pelayanannya, sehingga memudahkan pemantauan dan pengelolaan gardu distribusi dalam pendistribusian pasokan energi.
- c. Nama Gardu
Setiap gardu distribusi diberi nama yang sesuai dengan lokasi atau identifikasi tertentu dalam jaringan distribusi PLN. Nama gardu sangat penting dalam memberikan informasi yang jelas terhadap gardu yang terpantau, serta memudahkan pencarian dan referensi pada aplikasi EPM.
- d. Alamat Gardu
Selain nama gardu juga disajikan informasi tentang alamat gardu yang akan memberikan informasi fisik mengenai lokasi gardu yang menjadi titik distribusi energi. Ini sangat membantu dalam proses

pemeliharaan dan perbaikan jika diperlukan, serta untuk memudahkan tim teknis PLN dalam mencari lokasi gardu yang sedang bermasalah.

e. Titik Koordinat Gardu

Salah satu fitur yang sangat penting dalam Daftar Gardu adalah informasi mengenai titik koordinat geografis (latitude dan longitude) gardu. Fitur ini memungkinkan petugas lapangan untuk melacak posisi gardu secara digital dengan menggunakan peta atau sistem informasi geografis (GIS). Titik koordinat ini juga mendukung proses perencanaan, pemantauan, dan pemeliharaan gardu dengan lebih efisien.

f. Jumlah Pelanggan

Pada menu ini juga ditampilkan data mengenai jumlah pelanggan yang dilayani oleh masing-masing gardu distribusi. Setiap gardu memiliki cakupan pelanggan tertentu, yang bisa berupa rumah tangga, bisnis, atau industri. Jumlah pelanggan ini memberikan gambaran mengenai skala pelayanan yang dilakukan oleh gardu dan juga dapat menjadi dasar untuk manajemen distribusi energi yang lebih efisien.

g. Kapasitas Gardu Distribusi

Setiap gardu distribusi memiliki kapasitas yang menggambarkan daya maksimal yang dapat disalurkan oleh gardu tersebut ke pelanggan yang terhubung. Kapasitas ini penting dalam menentukan batas daya yang dapat diterima oleh gardu, dan untuk memonitor apakah ada penurunan kualitas atau gangguan pada pasokan energi yang disebabkan oleh beban berlebih.

h. Nama Penyulang

Penyulang adalah jalur utama distribusi energi listrik hingga ke gardu distribusi baru ke pelanggan. Dalam menu Daftar Gardu, setiap gardu yang terpantau akan terkait dengan nama penyulang yang menjadi saluran distribusi energi. Data penyulang ini berguna untuk memantau keandalan pasokan energi dari sumbernya, serta memudahkan petugas PLN dalam merencanakan perbaikan jika terjadi gangguan di sepanjang jalur distribusi.

i. Rekap Jumlah Gardu per UP3

Salah satu fitur tambahan dalam Daftar Gardu adalah rekap jumlah gardu per UP3, yang memberikan informasi mengenai jumlah gardu yang terpantau dalam masing-masing wilayah operasional UP3. Hal ini sangat berguna untuk memantau distribusi gardu dan memberikan gambaran tentang tingkat pemantauan yang telah dilakukan oleh EPM di setiap unit pelaksana.

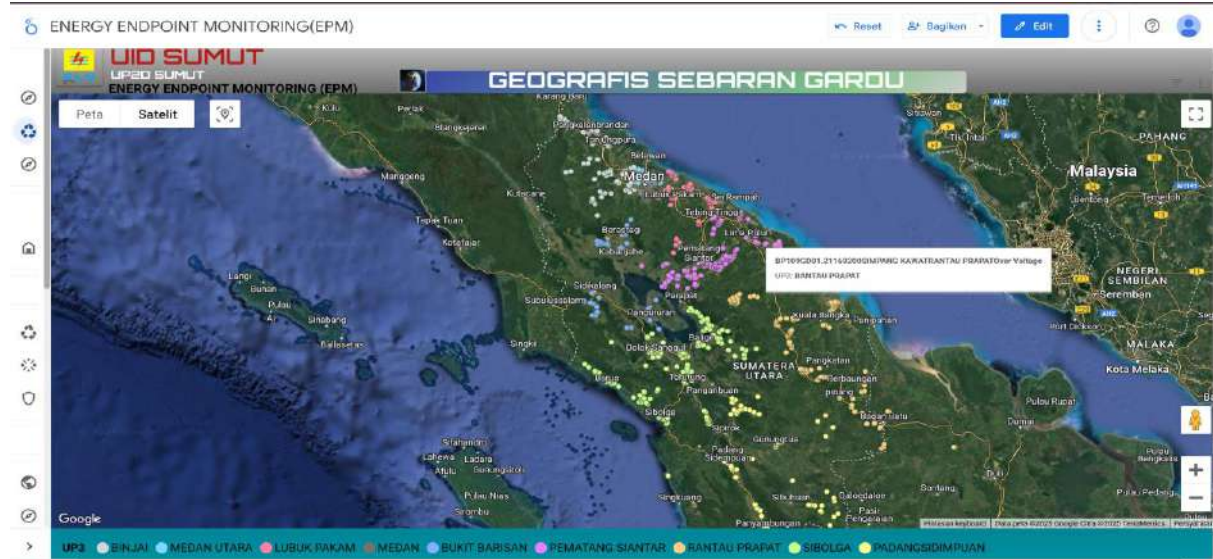


Gambar 4. Daftar Gardu

3.3.2 Menu Geografis Gardu

Menu Geografis Gardu pada Gambar 5, memanfaatkan teknologi peta dan geolokasi untuk menampilkan lokasi semua gardu dalam jaringan distribusi PLN. Dengan tampilan peta interaktif yang terhubung langsung dengan data gardu, pengguna dapat dengan mudah mengakses informasi mengenai posisi geografis setiap gardu listrik. Fitur Geografis Gardu juga mendukung analisis berbasis lokasi. Dengan informasi lokasi yang jelas, PLN dapat lebih mudah melakukan analisis dan perencanaan terkait pengembangan jaringan distribusi energi. Misalnya, jika terdapat area yang sering mengalami gangguan atau kebutuhan energi yang lebih tinggi, informasi geografis ini dapat menjadi dasar untuk memprioritaskan pembangunan infrastruktur baru atau melakukan pembaruan pada gardu yang ada. Selain itu, menu ini juga dapat membantu PLN dalam mengidentifikasi daerah-daerah dengan

permintaan energi yang sangat tinggi, sehingga dapat menyiapkan langkah-langkah mitigasi yang tepat untuk menjaga kestabilan pasokan energi.



Gambar 5. Infogeografis Gardu

3.3.3 Menu Power Quality Gardu

Menu Power Quality Gardu pada Gambar 6, dalam aplikasi Energy Endpoint Monitoring (EPM) adalah fitur penting yang dirancang untuk memantau dan memastikan kualitas pasokan energi yang diterima oleh pelanggan dari gardu distribusi. Kualitas daya (power quality) sangat mempengaruhi keberlangsungan dan kestabilan pasokan energi. Oleh karena itu, pemantauan kualitas daya secara real-time sangat penting untuk menjaga keberlangsungan operasional industri, bisnis, dan rumah tangga yang bergantung pada energi listrik. Melalui menu ini, petugas pengatur distribusi maupun petugas lapangan dapat melakukan pengawasan secara menyeluruh terhadap kualitas energi yang dipasok oleh setiap gardu distribusi yang sudah dimonitoring melalui aplikasi EPM yaitu tegangan antar fasa dan status gardu yang memberikan gambaran mengenai kondisi umum dari pasokan energi di titik distribusi tersebut.



Gambar 6. Power Quality Gardu

a. Tegangan Antar Fasa

Tegangan antar fasa adalah parameter yang sangat penting dalam menentukan kualitas daya yang disalurkan melalui sistem distribusi PLN. Pada menu Power Quality Gardu, aplikasi EPM memantau tegangan yang terjadi di antara ketiga fasa yang ada dalam sistem distribusi listrik. Tegangan antar fasa yang tidak seimbang atau berada di luar batas normal dapat menyebabkan gangguan pada peralatan listrik dan perangkat elektronik yang digunakan oleh pelanggan.

Beberapa hal yang diperhatikan dalam pengukuran tegangan antar fasa adalah:

1. Keseimbangan Tegangan Antar Fasa
Idealnya, tegangan antar fasa dalam sistem distribusi harus seimbang, yaitu tidak ada perbedaan yang signifikan antar ketiga fasa. Ketidakseimbangan tegangan antar fasa dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan pelanggan dan menurunkan efisiensi operasional sistem distribusi. Sistem EPM memantau secara real-time tegangan antar fasa dan memberi peringatan jika ada ketidakseimbangan yang terdeteksi, sehingga petugas operator dapat segera melakukan tindakan preventif.
 2. Tegangan Normal
Tegangan yang berada dalam rentang yang diharapkan dan disepakati oleh standar teknis, yang sesuai dengan kebutuhan operasional pelanggan, terutama untuk industri dan bisnis yang sangat bergantung pada kestabilan daya. Pemantauan tegangan antar fasa ini memastikan bahwa pelanggan menerima pasokan energi dengan kualitas yang optimal dan stabil.
 3. Tegangan Lebih (Over Voltage)
Over voltage atau tegangan lebih terjadi ketika tegangan antar fasa melebihi batas normal yang diizinkan. Hal ini bisa mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik dan bahkan menurunkan masa pakai perangkat elektronik yang terhubung. Jika sistem EPM mendeteksi adanya over voltage, PLN dapat segera melakukan langkah korektif untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.
 4. Tegangan Rendah (Under Voltage)
Under voltage atau tegangan rendah terjadi ketika tegangan antar fasa berada di bawah batas minimum yang diperlukan untuk menjaga operasional peralatan listrik dengan aman. Tegangan rendah dapat menyebabkan perangkat dan peralatan listrik tidak berfungsi dengan baik atau bahkan rusak. Pemantauan tegangan rendah di setiap gardu distribusi sangat penting untuk memastikan pelanggan menerima daya yang stabil dan aman.
- b. Status Gardu
- Selain memantau tegangan antar fasa, menu Power Quality Gardu juga menampilkan status gardu distribusi yang memberikan informasi tentang kondisi operasional setiap gardu yang terpantau. Status gardu ini sangat penting untuk mengetahui apakah gardu berfungsi dengan baik atau mengalami gangguan yang perlu segera ditangani. Berikut adalah empat status yang dapat ditampilkan oleh menu Power Quality Gardu:
1. Normal
Status ini menunjukkan bahwa gardu distribusi berfungsi dengan baik dan pasokan energi berjalan dengan normal. Tegangan antar fasa berada dalam batas toleransi tegangan sesuai SPLN No. 72 Tahun 1987 yaitu +5% dan -10% [14], dan tidak ada gangguan yang terdeteksi. Dengan status normal, maka dapat dipastikan bahwa seluruh pelanggan yang terhubung dengan gardu tersebut mendapatkan pasokan energi yang stabil dan berkualitas.
 2. Over Voltage
Status ini menunjukkan bahwa gardu mengalami over voltage, yaitu tegangan yang disalurkan melebihi batas normal yang diizinkan. Jika status gardu menunjukkan kondisi over voltage, maka petugas dapat segera melakukan pemeriksaan dan perbaikan untuk menormalkan tegangan ke kondisi yang aman dan stabil, sehingga risiko kerusakan pada peralatan pelanggan dapat dihindari.
 3. Under Voltage
Ketika status gardu menunjukkan under voltage, ini berarti tegangan yang disalurkan berada di bawah level yang aman untuk operasi peralatan listrik. Gangguan ini perlu segera ditangani, karena tegangan rendah dapat menyebabkan kegagalan fungsi pada peralatan listrik dan bahkan membahayakan kelancaran operasional industri atau bisnis yang sangat bergantung pada kualitas daya. Melalui EPM, PLN dapat memantau dan mengidentifikasi kondisi under voltage dengan cepat dan melakukan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan.
 4. Padam
Status padam menunjukkan bahwa gardu mengalami pemadaman atau gangguan total pada pasokan energi. Hal ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kerusakan pada peralatan gardu, gangguan jaringan, atau keadaan darurat lainnya. Ketika status gardu berada dalam kondisi padam, PLN dapat segera mengirimkan tim teknis untuk menangani gangguan dan memulihkan pasokan energi secepat mungkin. Status padam ini sangat penting untuk merespons gangguan secara cepat, mengurangi dampak pemadaman, dan mempercepat pemulihan sistem.

Dengan dibuatkannya menu Power Quality Gardu pada aplikasi EPM maka didapatkan sejumlah kemudahan dan keuntungan bagi PLN dalam pengelolaan dan pemantauan distribusi energi:

1. Pemantauan Kualitas Energi Secara Real-Time
Dengan adanya fitur pemantauan tegangan antar fasa dan status gardu secara real-time, PLN dapat memantau kualitas daya yang disalurkan ke pelanggan secara terus-menerus. Hal ini membantu

memastikan bahwa pasokan energi tetap berada dalam kondisi yang optimal, sehingga pelanggan dapat menikmati energi yang stabil dan efisien.

2. Deteksi Masalah Secara Dini

Menu Power Quality Gardu memungkinkan untuk mendeteksi permasalahan kualitas daya, seperti over voltage, under voltage, dan gangguan padam, lebih cepat. Dengan informasi yang cepat dan akurat, maka dengan segera merespons masalah dan mengambil tindakan perbaikan untuk mencegah gangguan yang lebih besar atau kerusakan pada perangkat pelanggan.

3. Pencegahan Kerusakan Peralatan Pelanggan

Dengan memantau tegangan antar fasa dan status gardu, dapat dilakukan pencegahan kerusakan peralatan pelanggan yang disebabkan oleh over voltage atau under voltage. Pemantauan kualitas daya ini juga mengurangi potensi kerugian yang dapat dialami oleh pelanggan akibat kerusakan pada peralatan elektronik atau mesin industri.

4. Peningkatan Keandalan Layanan Energi

Dengan menggunakan menu Power Quality Gardu, keandalan dan kestabilan pasokan energi kepada pelanggan dapat ditingkatkan. Ini sangat penting untuk sektor industri dan komersial yang bergantung pada daya yang stabil untuk menjalankan operasionalnya. Status gardu yang menunjukkan kondisi normal atau terdeteksi adanya gangguan akan memberi gambaran mengenai keandalan dan kualitas layanan yang diberikan.

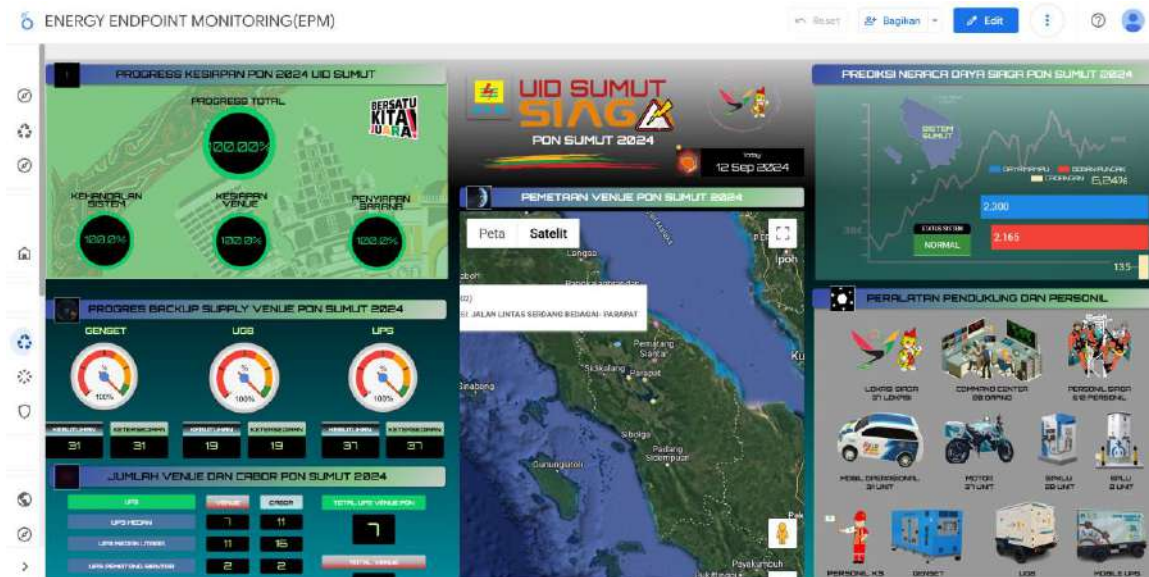
5. Optimalisasi Operasional Distribusi

Aplikasi EPM yang terintegrasi dengan pemantauan kualitas daya di setiap gardu memungkinkan PLN untuk mengelola sumber daya dengan lebih efisien. Dengan informasi yang lengkap tentang kualitas daya dan status gardu, PLN dapat merencanakan perbaikan, pengelolaan pemeliharaan, dan pengaturan aliran energi secara lebih tepat dan terkoordinasi.

3.4 Menu Acara VIP

3.4.1 Menu Infografis Acara VIP

Pada Gambar 7, ditampilkan menu infografis terkait acara VIP, yang mencakup informasi penting mengenai skala acara, lokasi, dan kebutuhan pasokan energi yang disesuaikan dengan acara tersebut. Infografis ini memberikan gambaran visual yang jelas tentang energi yang dibutuhkan untuk mendukung kelancaran acara, baik berskala lokal, nasional, maupun internasional. Menu ini memungkinkan PLN untuk merencanakan dan mengalokasikan sumber daya energi dengan lebih baik.



Gambar 7. Infografis Acara VIP

3.4.2 Menu Validasi Venue

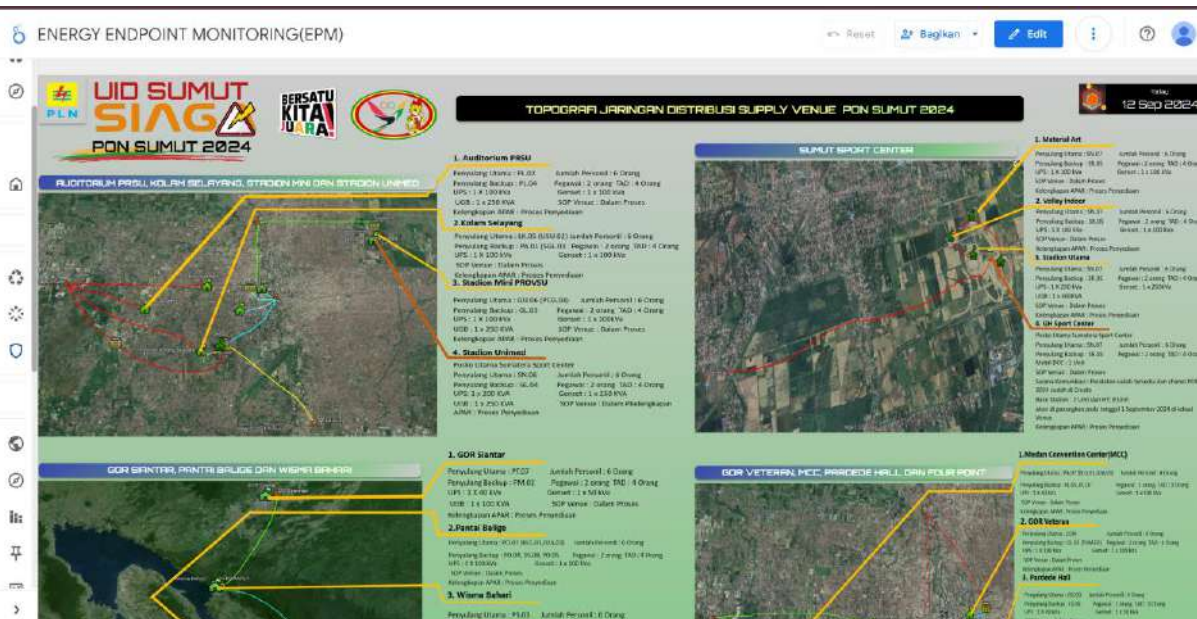
Validasi venue pada Gambar 8, berfungsi untuk memverifikasi dan memastikan bahwa venue tempat acara VIP berlangsung memiliki fasilitas yang memenuhi syarat dari segi kebutuhan energi. Proses validasi ini melibatkan pemeriksaan infrastruktur dan kesiapan pasokan energi di venue, guna memastikan bahwa tidak ada gangguan dalam pasokan energi selama acara berlangsung.



Gambar 8. Validasi Venue Acara VIP

3.4.3 Menu Topografi Venue

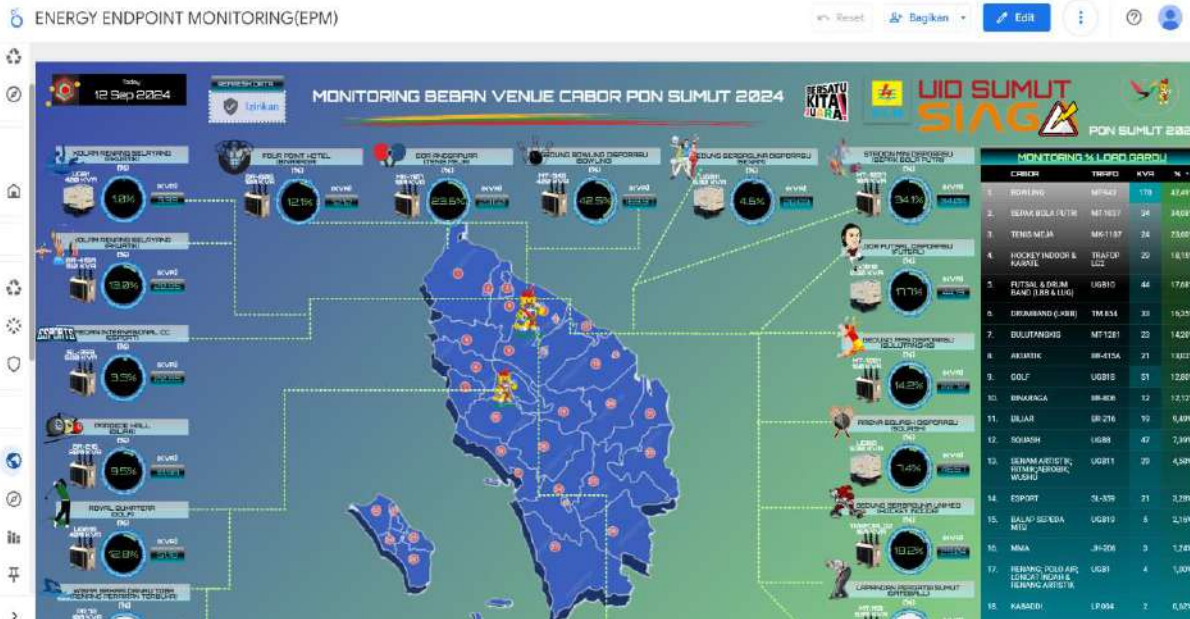
Peta topografi venue pada Gambar 9, berfungsi untuk memberikan informasi kondisi geografis dan struktur fisik lokasi acara. Informasi ini sangat berguna dalam merencanakan distribusi energi yang efisien, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kemiringan tanah, jarak distribusi energi, serta potensi gangguan yang mungkin terjadi. Topografi ini juga membantu memprediksi area-area yang mungkin membutuhkan perhatian khusus.



Gambar 9. Topografi Venue

3.4.4 Menu Beban Venue

Gambar 10. menampilkan data pemakaian beban listrik di venue acara VIP. Pengguna dapat memantau beban listrik secara real-time, mengidentifikasi apakah konsumsi energi melebihi batas yang ditetapkan, serta mengatur penyesuaian distribusi energi sesuai kebutuhan. Dengan data ini, pasokan energi untuk acara VIP dapat dimonitor agar tetap stabil dan tidak terjadi pemadaman maupun gangguan.



Gambar 10. Beban Venue

3.4.5 Menu Power Quality Venue

Gambar 11, Power Quality Venue untuk monitoring kualitas daya (power quality) di venue acara VIP. Parameter seperti tegangan dan beban venue akan dipantau untuk memastikan bahwa pasokan energi di venue tidak terganggu. Kualitas daya yang terjaga dengan baik sangat penting untuk kelancaran acara VIP yang membutuhkan kestabilan dan keandalan pasokan energi.



Gambar 11. Powere Quality Venue

Dengan memanfaatkan aplikasi EPM tidak hanya memungkinkan PLN untuk memantau dan mengelola distribusi energi secara lebih efektif, tetapi juga memberikan solusi inovatif dalam menjaga kualitas, stabilitas, dan responsivitas terhadap kebutuhan energi di berbagai sektor, termasuk dalam penyelenggaraan acara VIP dan pemeliharaan gardu distribusi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian aplikasi Energy Endpoint Monitoring (EPM), dapat disimpulkan bahwa aplikasi ini memberikan dampak positif yang signifikan dalam meningkatkan pengelolaan distribusi energi,

terutama dalam pemantauan kondisi pasokan energi di gardu ujung jaringan dan acara VIP. Aplikasi ini terbukti tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memastikan bahwa pasokan energi tetap andal, berkualitas, dan kontinu, yang merupakan hal yang sangat penting dalam memastikan kepuasan pelanggan dan kelancaran berbagai aktivitas. Keberhasilan implementasi aplikasi ini menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi IoT dan analitik data dapat memberikan solusi canggih yang mempermudah proses pemantauan, mendeteksi gangguan lebih cepat, dan mengurangi ketergantungan pada laporan manual dari pelanggan.

Dengan adanya aplikasi EPM, PLN mampu melakukan monitoring secara real-time dan lebih transparan, yang membantu petugas dalam mengambil tindakan yang lebih cepat dan berbasis data untuk mencegah gangguan yang lebih besar. Selain itu, kecepatan dalam merespons masalah pasokan energi juga menunjukkan adanya peningkatan dalam kualitas layanan, yang secara langsung berdampak pada pengurangan jumlah laporan berulang, serta meningkatkan efisiensi pengelolaan energi secara keseluruhan.

Berikut adalah poin-poin yang diambil setelah implementasi dan pengujian aplikasi EPM:

1. Implementasi dan pengujian aplikasi Energy Endpoint Monitoring (EPM) menunjukkan penurunan yang signifikan dalam jumlah laporan berulang terkait gangguan pasokan energi, dengan penurunan dari 25 laporan berulang pada Februari 2024 menjadi hanya 1 laporan pada Desember 2024. Ini mengindikasikan bahwa aplikasi EPM efektif dalam mengurangi ketergantungan pada laporan manual dan meningkatkan akurasi pemantauan kondisi energi.
2. Penurunan jumlah laporan berulang dan peningkatan efisiensi operasional dapat dipandang sebagai indikator kepuasan end-user yang lebih tinggi. Keberhasilan dalam menangani gangguan lebih cepat dan akurat berdampak pada peningkatan layanan kepada pelanggan.
3. Sistem EPM berhasil memastikan bahwa pasokan energi dapat dipantau secara real-time dan tetap andal, berkualitas, dan kontinu, terutama di gardu ujung jaringan dan acara VIP. Dengan pemanfaatan teknologi IoT dan analitik berbasis Google Data Studio, petugas operator di DCC dapat mengidentifikasi gangguan lebih awal, mengurangi waktu respons, dan meningkatkan kestabilan pasokan energi.
4. Penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) untuk memantau kondisi pasokan energi secara real-time sangat memungkinkan petugas operator di DCC untuk mendeteksi masalah lebih cepat dan secara otomatis. Integrasi data sensor ke platform analitik memfasilitasi identifikasi gangguan yang lebih cepat untuk penanganan gangguan.
5. Sistem EPM mampu menyediakan data yang lebih akurat dan tepat waktu mengenai kondisi jaringan distribusi energi. Dengan visualisasi yang disajikan oleh Google Data Studio, informasi yang diperoleh lebih transparan dan dapat diakses secara real-time, memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat dan berbasis data, serta mengurangi kemungkinan kesalahan yang dapat terjadi saat monitoring masih menggunakan sistem manual.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian untuk pengembangan sistem Energy Endpoint Monitoring (EPM) ini. Pertama, kami sampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh tim di PT PLN (Persero) UP2D Sumut yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan kerja kerasnya dalam merancang dan mengimplementasikan sistem ini. Tanpa dedikasi dan dukungan seluruh pihak, pencapaian dan penelitian ini tidak akan terwujud.

Kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam proses pengujian dan evaluasi sistem EPM, yang telah memastikan bahwa setiap komponen dan fitur sistem dapat bekerja dengan baik dan memenuhi kebutuhan pengguna. Tanpa upaya dan kerjasama yang solid dari seluruh pihak, pengembangan sistem ini tidak akan berjalan lancar. Dengan adanya sistem EPM ini, penulis berharap dapat memberikan manfaat nyata bagi PLN dan seluruh pelanggan, serta memperbaiki kualitas pengelolaan distribusi energi. Semoga teknologi ini dapat membantu PLN untuk menjaga kestabilan dan keberlanjutan pasokan energi, serta meningkatkan pelayanan pada pelanggan dalam menikmati layanan yang lebih andal, efisien dan berkualitas.

REFERENCES

- 1] V. B. Zacqualine and R. Takaya, "Inovasi Berkelanjutan: Kunci Sukses Dalam Manajemen Persaingan Bisnis Di Era Digital," vol. 11, no. 8, 2024. <https://ejournal.warunayama.org/index.php/musytarineraca/article/download/8294/7440>
- [2] N. Harahap and K. Kartika, "Deteksi Gas Pada Minyak Transformator Berbasis Mikrokontroler," vol. 23, no. 1, 2023. <https://journals.ums.ac.id/index.php/emitor/article/download/20977/8286>

- [3] M. Diono, E. Saputra, and W. Styorini, "Rancang Bangun Alat Voltage Loss Detector Pada Transformator Percabangan," vol. 8, no. 1, 2022. <https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer/article/view/5375/1971>
- [4] R. Rauf, "Perencanaan Dan Operasi Sistem Tenaga Listrik," 2023. https://repo.unespada.ac.id/eprint/414/1/ISBN%20Buku%20Perencanaan%20dan%20Operasi%20Sistem%20Tenaga%20Listrik_compressed.pdf
- [5] A. N. Awaliah and L. Nirawati, "Aplikasi PLN Mobile Sebagai Sarana Komunikasi Digital dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Pelayanan Pelanggan Di PT PLN (Persero) UP3 Surabaya Barat , vol. 6, no. 6, 2024. <https://journal-laaroiba.com/ojs/index.php/alkharaj/article/download/1743/996>
- [6] R. Rauf, "Pembangkit Energi Listrik: Instalasi dan Prinsip Kerja," 2024. Diakses dari https://repo.unespada.ac.id/eprint/415/1/FullBook%20Pembangkit%20Energi%20Listrik-%20Instalasi%20dan%20Prinsip%20Kerja_compressed.pdf
- [7] H. Utomo, "SISTEM MONITORING DAN PENGAMANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI JARINGAN LISTRIK TEGANGAN RENDAH PLN BERBASIS IOT," 2024. Diakses dari <http://eprints.umpo.ac.id/14483/2/HALAMAN%20DEPAN.pdf>
- [8] F. Luthfiani, Y. Yuhefizar, "Pengaruh E-Service Quality dan E-Trust Terhadap Kepuasan Pelanggan Pada Pengguna Aplikasi PLN Mobile Kota Padang Panjang," vol. 19, no. 1, 2024. <https://akuntansi.pnp.ac.id/jam/index.php/jam/article/download/263/153>
- [9] M. Sahar, A. Gunawan, and H. Novia, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan Monitoring Beban 3 Phasa Pada Panel Distribusi Berbasis Internet Of Things," vol. 10, no. 1, 2024. <https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer/article/view/6235/2161>
- [10] R. Rudi, E. Y. Susanti, and R. Efendi, "Rancang Bangun Sistem Informasi Beban Trafo Berbasis Web pada PT. PLN (Persero) ULP Sitiung," vol. 9, no. 1, 2024. <https://ejournal-binainsani.ac.id/index.php/ITBI/article/download/2549/1777>
- [11] R. Simanjuntak and S. Helmi, "Peranan Kualitas Layanan pada Aplikasi PLN Mobile dan Harga terhadap Kepuasan Pelanggan di PT. PLN (Persero) UP3 Palembang ULP Rivai," vol. 4, no. 2, 2024. https://e-journal.uingsdur.ac.id/velocity/article/download/8750/2131?__cf_chl_tk=NCDAAAb3RQ_QOpI.G0j1H0P8IsXmx0xd9hL0qgnGEdu-1737507430-1.0.1.1-52Tk7J.YDu5xtVrYTxmab1eQevoqRiLyj.kyCD3M6UM
- [12] D. F. Iman, P. Khaerunnisa, and H. M. Fitri, "Analisis Operasional Sistem Distribusi Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah di Gardu Induk Serang," vol. 7, no. 2, 2024. <http://jepca.unbari.ac.id/index.php/jec/article/download/119/82>
- [13] A. Kiswanto and M. I. Saifullah, "Kendali Beban Pintar: Mengoptimalkan Efisiensi Energi Dengan IoT," vol. 2, no. 1, 2024. <https://ejournal.ubhara.ac.id/intertech/article/download/1057/256>
- [14] E. R. Daniati, Z. Tharo, and S. Anisah, "Analisis Penambahan Trafo Sisip Pada Jaringan 20 Kv Dalam Meningkatkan Mutu Tegangan," vol. 7, no. 2, 2024. <https://journal.ipm2kpe.or.id/index.php/INTECOM/article/download/9820/5916>