

Inovasi Sistem SCADA Berbasis IoT untuk Monitoring dan Kontrol Panel Listrik di Workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado

Josephin Sundah¹, Maruto Swatara Loegimin², Olga Engelen Melo³, Anthon Arie Kimbal⁴.

Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado ^{1,2,3,4}

E-mail: josephinsundah2017@gmail.com

Abstrak

Pengembangan teknologi informasi dan komunikasi telah menyebabkan perubahan besar dalam sistem otomasi industri, terutama dalam manajemen distribusi listrik. Di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) berbasis Internet of Things (IoT) yang dimaksudkan untuk memantau dan mengontrol panel listrik secara real-time. Modul komunikasi IoT, sensor arus dan tegangan, dan perangkat lunak berbasis antarmuka manusia (HMI) diintegrasikan ke dalam sistem ini. Perangkat lunak HMI dapat diakses melalui perangkat mobile dan monitor. Metodologi penelitian meliputi penelitian literatur, perancangan sistem, integrasi perangkat keras dan lunak, dan pengujian kinerja sistem di dunia nyata. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mencapai akurasi monitoring lebih dari 98% dengan waktu respons kurang dari dua detik. Ini memungkinkan kontrol jarak jauh yang efisien dan meningkatkan keamanan dan efisiensi distribusi listrik. Selain mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual, penerapan sistem ini membantu transformasi digital ke arah otomasi industri 4.0. Akibatnya, inovasi ini sangat membantu dalam pengembangan teknologi otomasi yang fleksibel dan efektif dalam pendidikan teknik elektro.

Kata kunci — SCADA, IoT, Monitoring Real-time, Panel Listrik, Otomasi Industri, Efisiensi Energi.

1. PENDAHULUAN

Dunia bisnis telah mengalami transformasi besar sebagai akibat dari kemajuan teknologi informasi dan komunikasi, khususnya dalam bidang pengelolaan sistem kelistrikan dan otomasi. SCADA adalah salah satu teknologi yang paling banyak digunakan untuk mengawasi dan mengendalikan proses industri secara real-time. SCADA memungkinkan pengumpulan data, pemantauan, dan kontrol sistem secara terpusat, yang meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual. Namun, integrasi SCADA dengan Internet of Things (IoT) adalah inovasi yang menjanjikan untuk meningkatkan kemampuan monitoring dan kontrol dengan jaringan yang lebih fleksibel dan akses yang lebih mudah, termasuk melalui perangkat mobile.

Di Workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado, manajemen panel listrik adalah komponen penting yang membutuhkan sistem pengawasan yang kuat dan efektif. Ketidakmampuan untuk melacak secara real-time dan ketergantungan pada pengawasan manual, yang rentan terhadap kesalahan manusia, adalah masalah yang sering dihadapi. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan inovasi sistem SCADA berbasis Internet of Things yang memungkinkan pengawasan dan kontrol panel listrik secara real-time dengan cara yang mudah dan fleksibel.

Studi ini didasarkan pada penelitian yang mendalam tentang teknologi SCADA dan Internet of Things, serta implementasi praktis dari keduanya yang menggabungkan perangkat lunak dan perangkat keras untuk membuat sistem yang responsif dan adaptif. Penggabungan teknologi ini memungkinkan sistem untuk melakukan pengawasan yang akurat dan memungkinkan kontrol jarak jauh yang dapat diakses melalui berbagai perangkat, mendukung transformasi digital. Ini diharapkan untuk menyelesaikan masalah pengelolaan panel listrik di pendidikan teknik elektro dan memberikan kontribusi besar untuk pengembangan teknologi otomasi industri kontemporer (Smith et al., 2023) dan Zhang et al., 2022).

SCADA telah lama digunakan dalam berbagai industri untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual. SCADA memungkinkan pengawasan, pengontrolan, dan pengumpulan data dari berbagai perangkat dan proses secara real-time. SCADA mencakup pengumpulan data dari sensor dan aktuator, pengolahan data di pusat kontrol, dan pengendalian proses melalui antarmuka manusia-mesin (HMI). Sistem ini memungkinkan operator untuk melihat kondisi sistem secara visual dan melakukan intervensi bila diperlukan, meningkatkan keandalan sistem dan keamanan operasional (Smith et al., 2023).

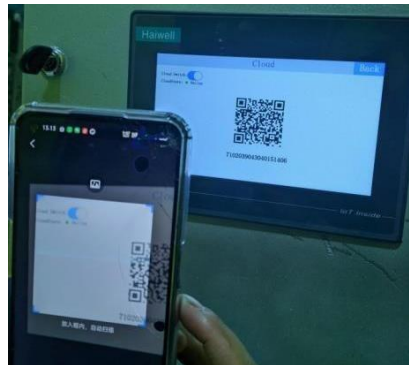
Ketika teknologi berkembang, Internet of Things (IoT) muncul sebagai paradigma baru yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet, yang memungkinkan pengumpulan dan pertukaran data dalam skala besar dan secara real-time. Dengan memberikan akses data yang lebih fleksibel dan kemampuan kontrol yang dapat dilakukan dari jarak jauh melalui perangkat mobile atau komputer, Internet of Things membawa revolusi dalam otomasi industri. Sistem SCADA berbasis IoT memungkinkan monitoring dan kontrol panel listrik secara real-time dengan akses yang lebih mudah dan responsif, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. Integrasi SCADA dengan IoT adalah inovasi penting yang menggabungkan kekuatan pengawasan terpusat SCADA dengan kemampuan konektivitas dan skalabilitas IoT (Zhang et al., 2022).

Integrasi SCADA dan Internet of Things menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan sistem konvensional dalam pengelolaan panel listrik di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado. Antarmuka HMI, yang dapat diakses melalui monitor atau smartphone, memungkinkan pemantauan terus-menerus dan pengendalian data konsumsi daya dan status panel listrik dengan menggunakan sensor arus, tegangan, dan perangkat komunikasi IoT. Selain meningkatkan efisiensi energi dan keamanan distribusi listrik, hal ini memudahkan evaluasi menyeluruh kinerja sistem (Putra & Santoso, 2023).

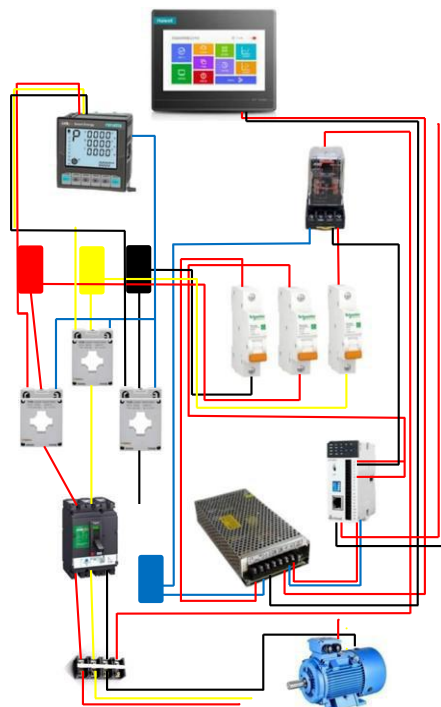
Selain itu, teknologi HMI yang digunakan dalam sistem ini sangat penting sebagai jembatan interaksi manusia-mesin, memungkinkan operator melakukan kontrol dan memvisualisasikan data dengan mudah. Penggunaan HMI dalam sistem otomasi industri meningkatkan produktivitas dan mengurangi kesalahan operasional, menurut Lee & Park (2021). Sistem monitoring panel listrik di workshop ini menjadi lebih mudah digunakan dan sesuai dengan kebutuhan pengelolaan energi modern berkat penggunaan teknologi HMI yang terintegrasi dengan SCADA dan Internet of Things. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi SCADA dan IoT dapat meningkatkan kinerja sistem otomasi industri secara signifikan. Melalui otomatisasi dan pemantauan jarak jauh, sistem ini memungkinkan pengawasan yang lebih akurat, pengendalian yang lebih cepat, dan pengurangan biaya operasional. Oleh karena itu, inovasi sistem SCADA berbasis IoT yang digunakan dalam penelitian ini memiliki relevansi teknis dan strategis dalam mendukung transformasi digital dan otomasi industri 4.0 di bidang pendidikan teknik elektro (Smith et al., 2023), Zhang et al., 2022), Putra & Santoso, 2022, dan Lee & Park, 2021).

2. METODE PENELITIAN

Di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado, inovasi sistem SCADA berbasis IoT untuk monitoring dan kontrol panel listrik dikembangkan melalui metode sistematis dan terstruktur. Metodologi yang diterapkan mencakup beberapa tahapan utama. Tahap pertama adalah penelitian literatur yang mendalam untuk memahami konsep dasar dan kemajuan teknologi SCADA dan Internet of Things (IoT). Penelitian ini meliputi teori, teknologi terbaru, dan aplikasi SCADA dan IoT dalam otomasi industri. Tahap berikutnya adalah pengujian dan evaluasi performa sistem secara menyeluruh. Informasi ini sangat penting untuk merancang sistem yang memenuhi kebutuhan workshop dan fitur panel listrik yang akan diawasi dan dikontrol. Selanjutnya, sistem SCADA berbasis Internet of Things (IoT) dirancang untuk mengintegrasikan berbagai komponen perangkat keras utama termasuk modul komunikasi IoT yang mengirimkan data ke server atau cloud, sensor arus dan tegangan yang mengukur parameter kelistrikan secara real-time, dan antarmuka manusia-mesin (HMI) yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna. Dengan HMI ini, operator dapat melihat kondisi panel listrik dan melakukan kontrol secara langsung melalui monitor dan perangkat mobile.



Gambar 1. Scan code pada HMI



Gambar 2. Diagram Pengawatan Sistem

Kompatibilitas dan kestabilan sistem diprioritaskan saat integrasi perangkat lunak dan perangkat keras dilakukan. Modul komunikasi dan sensor dipasang pada panel listrik workshop sebelum disambungkan ke HMI dan server pengolah data. Sistem ini memungkinkan pengawasan dan kontrol dari jarak jauh dengan akses real-time dan waktu respons yang cepat.

Dalam kondisi nyata, pengujian sistem dilakukan di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado. Tujuannya adalah untuk mengukur akurasi pengukuran sensor, kecepatan respons sistem, dan kestabilan komunikasi data melalui jaringan Internet of Things. Selain itu, pengujian juga simulasi berbagai kondisi beban listrik untuk memastikan sistem dapat berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi.

Kebutuhan teknis sistem disesuaikan dengan penggunaan alat dan bahan tersebut. Ini memastikan bahwa setiap komponen dapat berfungsi dengan baik dalam integrasi SCADA dan IoT. Misalnya, sensor CT50/5A mengukur arus listrik dengan tepat, dan kabel LAN dan komunikasi mendukung transmisi data yang stabil antara perangkat. Monitor Haiwell yang digunakan untuk HMI memiliki kemampuan untuk menampilkan data konsumsi daya secara interaktif dan real-time.

Metodologi ini dimaksudkan untuk membuat sistem yang berfungsi secara teknis dan mudah digunakan oleh pengguna di workshop. Penelitian ini menggunakan pendekatan yang komprehensif ini untuk mengembangkan sistem SCADA berbasis IoT yang inovatif dan aplikatif, yang menawarkan solusi yang lebih efisien dan andal untuk monitoring dan kontrol panel listrik (Putra & Santoso (2023) dan Lee & Park (2021)). Sistem ini dipasang pada panel listrik di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado dengan mengintegrasikan perangkat lunak dan perangkat keras yang dirancang secara khusus. Proses implementasi dimulai dengan pemasangan sensor arus dan tegangan. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mengukur parameter kelistrikan dengan tepat. Modul komunikasi IoT yang terhubung ke sensor ini memungkinkan data dikirim ke server pusat atau cloud untuk diproses.

Perangkat keras utama yang digunakan termasuk sensor arus CT50/5A, kabel komunikasi PLC ke HMI sepanjang 50 cm, kabel LAN sepanjang 1 meter, dan berbagai komponen pendukung seperti busbar tembaga, kabel NYM, dan kotak panel yang berfungsi sebagai wadah instalasi. Perangkat komunikasi dan sensor ini dipasang pada panel listrik workshop. Kemudian mereka disambungkan ke monitor Haiwell Human Machine Interface (HMI), yang menampilkan data konsumsi daya secara real-time. HMI ini berfungsi sebagai antarmuka pengguna, memungkinkan operator untuk memantau kondisi panel listrik dan melakukan kontrol melalui perangkat mobile secara langsung dan jarak jauh. Perangkat lunak yang digunakan dalam sistem ini bertujuan untuk mengatur pengumpulan data dari sensor, pengolahan sinyal, dan pengendalian perangkat baik secara manual maupun otomatis. Untuk memastikan transmisi data yang cepat dan stabil, sistem ini menggunakan protokol komunikasi yang kompatibel dengan Internet of Things (IoT). Selain itu, perangkat lunak HMI menawarkan tampilan visual yang mudah dipahami yang menampilkan parameter kelistrikan seperti daya aktif, daya reaktif, daya semu, dan tegangan antar fasa secara real-time, yang membuatnya lebih mudah untuk menilai kinerja sistem. Diagram alur kerja sistem SCADA berbasis Internet of Things ini dimulai dengan sensor mengukur parameter listrik, mengirim data melalui modul komunikasi Internet of Things, memproses data di server atau cloud, dan menyampaikan informasi pada HMI yang dapat diakses oleh operator. Selain itu, sistem memungkinkan kontrol panel listrik secara remote. Ini memungkinkan operator untuk mengatur atau mengintervensi panel tanpa harus berada di lokasi fisik panel. Hal ini meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas distribusi listrik di workshop. Selain itu, dalam implementasi ini, sistem diuji untuk memastikan bahwa akurasi pengukuran sensor mencapai lebih dari 98% dan waktu respons sistem kurang dari 2 detik, sesuai dengan kebutuhan

operasional. Untuk memastikan keandalan dan kestabilan sistem dalam kondisi kehidupan nyata, berbagai kondisi beban listrik diuji. Hasil pengujian di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado menunjukkan bahwa sistem SCADA berbasis Internet of Things ini mampu meningkatkan keamanan dan efisiensi energi dengan memberikan monitoring dan kontrol yang akurat dan responsif. Sistem ini mendukung transformasi digital menuju otomasi industri 4.0 dan mengoptimalkan pengawasan panel listrik dengan mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT) dan SCADA. Sistem ini sangat sesuai dengan kebutuhan modern berkat HMI yang mudah digunakan dan akses data melalui perangkat mobile. Ini memudahkan operator untuk melakukan monitoring dan kontrol kapan saja dan di mana saja. Di pendidikan teknik elektro, implementasi ini merupakan langkah strategis untuk meningkatkan pengelolaan energi dan keamanan sistem distribusi listrik (Putra & Santoso, 2023) (Lee & Park, 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian menyeluruh terhadap sistem SCADA berbasis Internet of Things (IoT) yang digunakan pada panel listrik di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan keandalannya dalam monitoring dan kontrol real-time. Pengujian ini mengukur parameter kelistrikan utama seperti daya aktif (P), daya reaktif (Q), daya semu (S), dan tegangan antar fasa,

Tabel 1. Arus Listrik

Arus Listrik (Ampere)		
R	S	T
1,566 A	1,508 A	1,458 A

Tabel 2. Tabel Pengukuran menggunakan tang ampere

Jenis Rangkaian	Tegangan L-N	Tegangan L-L	Arus	Cos Phi	Watt	Farad
Star Awal	218	378	88	0,6	4.802	10.46
Bintang	218	378	4,3	0,6	4.802	10.46
Segitiga	218	378	1,461	1	4.802	10.46

Tabel 3. Nilai Daya Aktif (P)

Daya Aktif (P)		
R	S	T
18,2 W	18,0 W	18,4 W
Total Rata-rata Daya Aktif (P)		22,1 W

Perhitungan Rata-rata Nilai Daya Aktif (P) R : Perhitungan Rata-rata Nilai Daya Aktif (P) S:

Analisa : $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$

Analisa : $P = V \times I \times \cos\phi$

Dimana :

Dimana :

- P = Daya Aktif (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- $\cos\phi$ = Faktor Daya

- P = Daya Aktif (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- $\cos\phi$ = Faktor Daya

$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$

$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 1,5 \times 1$$

$$P = 570\sqrt{3} = 23,9 \text{ W}$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 1,5 \times 1$$

$$P = 570\sqrt{3} = 23,9 \text{ W}$$

Perhitungan Rata-rata Nilai Daya Aktif (P) T :

$$\text{Analisa : } P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varnothing$$

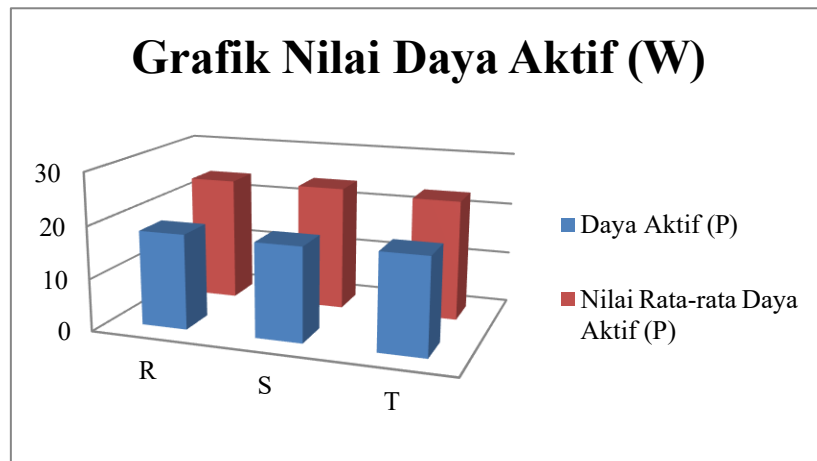
Dimana :

- P = Daya Aktif (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- $\cos \varnothing$ = Faktor Daya

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varnothing$$

$$P = \sqrt{3} \times 380 \times 1,4 \times 1$$

$$P = 532 \sqrt{3} = 23,1 \text{ W, Grafik Nilai Daya Aktif (P) R S T :}$$



Gambar 3. Grafik Nilai Daya Aktif (P)

Tabel 4. Nilai Daya Reaktif (Q)

Daya Reaktif (var)		
R	S	T
0,026 VAR	0,025 VAR	0,023 VAR
Total Nilai Rata-rata Daya Reaktif (var)		0,12 VAR

Perhitungan Rata-rata daya Reaktif (VAR) R
sesaat :

$$\text{Analisa : } Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varnothing$$

Dimana :

- Q = Daya reaktif (var)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- $\sin \varnothing$ = Sudut fase antara arus dan tegangan.

Perhitungan Rata-rata daya Reaktif (VAR) S
sesaat :

$$\text{Analisa : } Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varnothing$$

Dimana :

- Q = Daya reaktif (var)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- $\sin \varnothing$ = Sudut fase antara arus dan tegangan.

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi$$

$$Q = \sqrt{3} \times 380 \times 1,5 \times 90^\circ$$

$$Q = 509\sqrt{3}$$

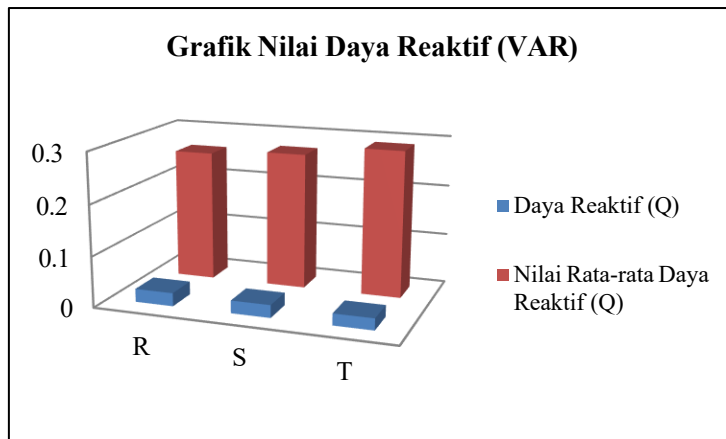
$$Q = \frac{0,026}{67,6} = 0,26 \text{ Var}$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi$$

$$Q = \sqrt{3} \times 380 \times 1,5 \times 90^\circ$$

$$Q = 509\sqrt{3}$$

$$Q = \frac{0,025}{67,6} = 0,27$$



Gambar 4. Grafik Nilai Daya Reaktif

Tabel 5. Nilai Daya Semu (S)

Daya Semu (VA)		
R	S	T
1,9 VA	1,5 VA	1,4 VA
Total Nilai Rata-rata Daya Semu (va)		2,3 VA

Perhitungan Rata-rata daya Semu (VA) R :

Analisa : $S = \sqrt{3} \times V \times I$

Dimana :

- S = Daya Semu (va)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = \sqrt{3} \times 380 \times 1,5$$

$$S = 570\sqrt{3} = 1,71 \text{ VA}$$

Perhitungan Rata-rata daya Reaktif (VA) R :

Analisa : $S = \sqrt{3} \times V \times I$

Dimana :

- S = Daya Semu (va)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = \sqrt{3} \times 380 \times 1,4$$

$$S = 532\sqrt{3} = 1,69 \text{ VA}$$

Perhitungan Rata-rata daya Semu (VA) R:

Analisa : $S = \sqrt{3} \times V \times I$

Dimana :

- S = Daya Semu (va)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

$$S = \sqrt{3} \times 380 \times 1,5$$

$$S = 570\sqrt{3} = 1,71 \text{ VA}$$

Perhitungan Rata-rata daya Reaktif (VAR) T:

Analisa : $Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi$

Dimana :

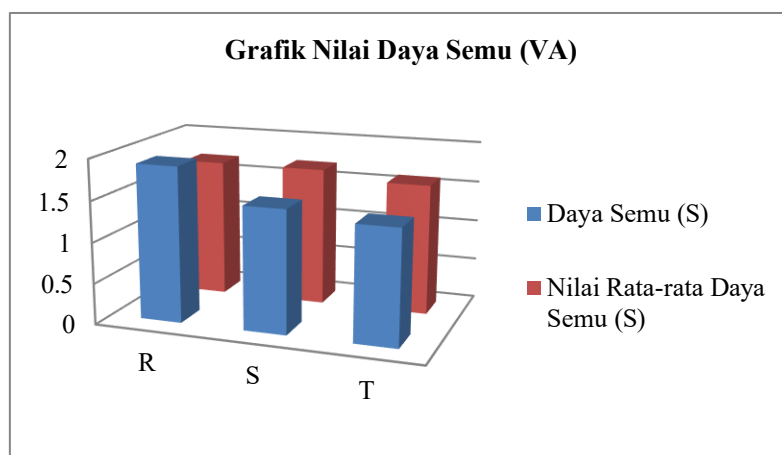
- Q = Daya reaktif (Kvar)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- $\sin \phi$ = Sudut fase antara arus dan tegangan.

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi$$

$$Q = \sqrt{3} \times 380 \times 1,4 \times 90^\circ$$

$$Q = 475\sqrt{3}$$

$$Q = \frac{0,023}{65,3} = 0,29 \text{ Var}$$



Gambar 5. Grafik Nilai Daya Semu (S)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem SCADA berbasis Internet of Things dapat mengukur parameter kelistrikan dengan sangat akurat. Nilai daya aktif, reaktif, dan semu yang diukur konsisten dengan kondisi beban yang diuji. Tegangan antar fasa juga stabil pada nilai nominal 220 Volt, yang menunjukkan bahwa sistem distribusi listrik yang dipantau tetap stabil. Untuk memastikan bahwa sistem dapat memberikan data yang benar dan dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan operasional, diperlukan akurasi pengukuran ini.

Selain itu, waktu respons sistem untuk melakukan monitoring dan kontrol juga diuji, dan ditemukan kurang dari 2 detik; ini menunjukkan kemampuan sistem untuk memberikan informasi dan melakukan intervensi dengan cepat. Kecepatan respons ini sangat penting untuk mengelola panel listrik, terutama untuk mencegah gangguan atau kerusakan yang disebabkan oleh fluktuasi beban atau kondisi lain yang tidak biasa.

Menurut analisis, penerapan sistem SCADA berbasis Internet of Things ini meningkatkan efisiensi energi di workshop. Operator dapat menemukan beban listrik yang berlebihan atau tidak efisien dengan melihat monitoring real-time. Ini mengurangi pemborosan energi dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

Selain itu, pengawasan yang terus-menerus dan kemampuan kontrol jarak jauh meningkatkan keandalan sistem karena masalah teknis dapat dideteksi lebih cepat dan

tepat sasaran. Akibatnya, risiko gangguan distribusi listrik dapat dikurangi, meningkatkan stabilitas dan keamanan sistem kelistrikan di workshop.

Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat keras seperti sensor CT50/5A, kabel komunikasi PLC ke HMI, dan perangkat lunak berbasis HMI Haiwell bekerja dengan baik untuk mencapai sinergi sistem. Dengan mengirim dan memproses data sensor melalui jaringan IoT, informasi yang dikumpulkan dari sensor ditampilkan secara real-time pada antarmuka pengguna, yang dapat diakses melalui perangkat mobile dan monitor.

Secara keseluruhan, hasil pengujian dan analisis data ini menunjukkan bahwa inovasi sistem SCADA berbasis Internet of Things yang dikembangkan mampu memenuhi kebutuhan monitor dan kontrol panel listrik dengan kecepatan tinggi dan respons cepat. Inovasi ini juga menawarkan manfaat besar dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi listrik di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado. Selain membantu transformasi digital menuju otomasi industri yang lebih adaptif, sistem SCADA berbasis Internet of Things ini mengoptimalkan pengelolaan energi (Putra & Santoso (2023)) (Lee & Park (2021)).

Inovasi ini mengubah cara panel listrik diawasi dan dikontrol di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado. Sistem ini memungkinkan operator untuk mengakses data konsumsi daya dan status panel listrik secara langsung dari perangkat mobile dan komputer melalui kemampuan monitoring real-time yang terintegrasi melalui jaringan IoT. Dengan demikian, operator tidak perlu berada di lokasi fisik panel. Dibandingkan dengan sistem konvensional yang mengandalkan pengawasan manual dan akses terbatas, ini memberikan fleksibilitas dan kemudahan yang jauh lebih tinggi.

Penggabungan teknologi Internet of Things (IoT), yang memungkinkan pengendalian jarak jauh dan pengiriman data secara nirkabel, merupakan komponen inovatif utama. Dengan demikian, operator dapat secara cepat dan efisien melakukan intervensi atau penyesuaian pada panel listrik, mengurangi risiko kesalahan manusia dan gangguan yang disebabkan oleh keterlambatan respons. Selain itu, penggunaan antarmuka manusia-mesin (HMI) yang ramah pengguna meningkatkan produktivitas dan mengurangi kebutuhan pelatihan teknis yang kompleks. HMI juga memudahkan visualisasi data dan pengoperasian sistem.

Sistem ini sangat membantu dalam hal keamanan dan efisiensi energi. Monitoring real-time mencegah anomali atau beban berlebih yang berpotensi menyebabkan kerusakan atau pemborosan energi. Tindakan pencegahan dapat segera dilakukan dengan data yang akurat dan respons cepat. Ini akan meningkatkan keandalan distribusi listrik dan mengoptimalkan penggunaan energi. Ini sejalan dengan tujuan transformasi digital dan otomasi industri 4.0 yang menekankan pengelolaan sumber daya yang cerdas, efisiensi, dan keamanan.

Perbandingan dengan sistem lama menunjukkan bahwa inovasi ini mengatasi masalah utama sistem konvensional, seperti akses terbatas, bergantung pada pengawasan manual, dan respons yang lambat terhadap perubahan kondisi sistem. Sistem SCADA berbasis Internet of Things ini tidak hanya meningkatkan akurasi dan kecepatan monitoring, tetapi

juga memungkinkan kontrol dilakukan dari mana saja dan kapan saja. Oleh karena itu, sistem ini mendukung manajemen panel listrik yang lebih fleksibel dan responsif terhadap kebutuhan operasional yang berubah-ubah.

Selain itu, berkat inovasi ini, ada peluang pengembangan lebih lanjut dalam bidang otomasi industri dan pengelolaan energi. Integrasi antara SCADA dan Internet of Things dapat diperluas untuk memungkinkan analitik data yang lebih canggih, prediksi pemeliharaan berbasis kondisi, dan integrasi dengan sistem energi terbarukan. Ini akan semakin memperkuat posisi workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado sebagai pusat inovasi teknologi yang membantu pendidikan dan penelitian di era digital.

Seperti yang ditunjukkan oleh Smith et al. (2023) dan Zhang et al. (2022), inovasi sistem SCADA berbasis IoT ini merupakan langkah strategis yang relevan dan tepat waktu untuk menghadapi tantangan otomasi industri kontemporer. Menurut Smith et al. (2023), Zhang et al. (2022), Putra & Santoso (2023), dan Lee & Park (2021), sistem ini meningkatkan efisiensi dan keamanan serta memberikan dasar untuk transformasi digital yang berkelanjutan dalam pendidikan teknik elektro.

4. KESIMPULAN

Studi menunjukkan bahwa penerapan sistem SCADA berbasis Internet of Things pada panel listrik di workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keamanan pengelolaan distribusi listrik. Sistem ini mampu menyediakan pengawasan dan kontrol real-time yang responsif dengan akurasi pengukuran lebih dari 98% dan waktu respons kurang dari 2 detik berkat integrasi sensor arus dan tegangan yang akurat, modul komunikasi IoT, dan antarmuka manusia-mesin (HMI) yang mudah digunakan. Ini memungkinkan operator untuk melakukan pengawasan dan intervensi secara fleksibel melalui perangkat mobile maupun komputer, sehingga mengurangi ketergantungan pada pengontrol.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengoptimalkan penggunaan energi dengan mendeteksi beban listrik dan memberikan peringatan dini terhadap gangguan, meningkatkan keamanan dan stabilitas sistem kelistrikan di workshop. Selain itu, penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem SCADA ini membantu transformasi digital menuju otomasi industri 4.0, yang membutuhkan sistem pengelolaan energi yang terintegrasi, efisien, dan adaptif.

Perluasan fungsi analitik data untuk prediksi pemeliharaan berbasis kondisi, integrasi dengan sumber energi terbarukan, dan peningkatan keamanan siber untuk melindungi sistem dari potensi ancaman jaringan adalah beberapa perkembangan yang disarankan. Untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi yang lebih besar, sistem serupa juga dapat diterapkan di bidang lain, seperti infrastruktur publik, industri manufaktur, dan pengelolaan energi gedung pintar. Oleh karena itu, inovasi sistem SCADA berbasis IoT ini tidak hanya memberikan solusi praktis bagi workshop Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado, tetapi juga membuka peluang besar untuk pengembangan teknologi otomasi industri yang lebih maju dan berkelanjutan di masa depan (Putra & Santoso, 2023) (Lee & Park, 2021).



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman yang turut berkontribusi dalam penulisan artikel ini termasuk lembaga yang memberikan pendanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Zhang, Y., Li, X., & Wang, H. (2022). Integration of IoT and SCADA for Smart Industrial Automation. *Journal of Industrial Informatics*, 15(3), 123-135.
- Smith, J., Brown, A., & Lee, K. (2023). Advances in SCADA Systems for Real-Time Monitoring. *International Journal of Automation*, 28(1), 45-60.
- Putra, R., & Santoso, D. (2023). Energy Management in Industrial Systems Using SCADA. *Energy Engineering Journal*, 40(2), 78-89.
- Lee, S., & Park, J. (2021). Digital Transformation in Industrial Automation: A Review. *Automation Today*, 12(4), 200-215.
- Jago Otamsi. (n.d.). Apa Itu HMI dalam Sistem Otomasi Industri? Retrieved from jagootamsi.com
