

**RANCANG BANGUN SISTEM HMI SUMBER TERBUKA UNTUK PLC
OMRON BERBASIS PROTOKOL FINS DENGAN VISUALISASI WEB
PADA PT XYZ**



Oleh
DENNY CHRISNANDA
2502124914

FRANS SEBASTIAN
2502121162

GILANG HANSAGITA
2502124403

COMPUTER SCIENCE STUDY PROGRAM
BINUS ONLINE LEARNING
UNIVERSITAS BINA NUSANTARA
JAKARTA

2025

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.3.1 Tujuan Penelitian	2
1.3.2 Manfaat Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Hipotesis Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 Perusahaan Manufaktur dan Kebutuhan Otomasi	5
2.1.2 Programmable Logic Controller (PLC)	5
2.1.3 Protokol Komunikasi Industri dan FINS	5
2.1.4 SCADA dan DAQ dalam Konteks Industri	6
2.1.5 HMI dan Visualisasi Data	6
2.1.6 Teknologi Web Modern: HTML, CSS, JavaScript, TypeScript, Node.js, Angular	7
2.1.7 SCADA Open-Source dan Vendor Lock-In	8
2.1.8 Electron: Aplikasi Desktop Berbasis Web	9
2.1.9 Pengujian dan Validasi Sistem SCADA	9
2.2 Penelitian Terdahulu	10
2.2.1 Implementasi SCADA Open-Source dalam Industri	10

2.2.2	Implementasi SCADA pada Sistem Otomatisasi Rumah	10
2.2.3	Pemanfaatan FUXA dalam Pendidikan dan Simulasi	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		12
3.1	Jenis Penelitian	12
3.2	Metode Pengembangan Sistem	12
3.3	Alat dan Bahan	13
3.4	Tahapan Penelitian	13
3.4.1	Platform dan Arsitektur Aplikasi	14
3.5	Metode Pengujian	14
DAFTAR PUSTAKA		14

DAFTAR TABEL

3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian	13
--	----

DAFTAR GAMBAR

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri otomotif global saat ini sedang menghadapi disrupsi besar seiring gencarnya transformasi digital dan tren kendaraan listrik. Kondisi ini ditandai dengan transformasi digital yang secara drastis mengubah industri otomotif dan mengganggu model bisnis tradisional, sehingga peluang bisnis baru terkait Industri 4.0 pun bermunculan dan perusahaan dituntut beradaptasi dengan lingkungan baru (Llopis-Albert, Rubio, and Valero 2020). Pengenalan kendaraan listrik secara bertahap ke pasar global juga membawa efek disrupsi signifikan. Dampak ini diperkuat oleh kebijakan pengurangan emisi gas rumah kaca dan pemanfaatan sumber energi terbarukan, sehingga industri otomotif dipaksa menyesuaikan diri dengan regulasi baru terkait efisiensi energi dan keberlanjutan. Fenomena transformasi digital dan elektrifikasi kendaraan tersebut menuntut produsen komponen otomotif meningkatkan efisiensi produksi serta berinovasi dalam pengendalian proses manufaktur untuk mempertahankan daya saing di pasar global.

PT XYZ sebagai perusahaan manufaktur komponen otomotif nasional tidak lepas dari tekanan tersebut. Bersaing di pasar global, PT XYZ dituntut meningkatkan efisiensi proses produksi serta beradaptasi dengan cepat terhadap teknologi mutakhir. Untuk mencapai hal ini, perusahaan menekankan penerapan konsep Industri 4.0 dalam proses produksinya, antara lain melalui otomatisasi cerdas dan digitalisasi mesin produksi. Dengan menghubungkan sistem mesin melalui teknologi digital dan Internet of Things (IoT), PT XYZ berharap dapat meningkatkan produktivitas dan fleksibilitas operasional, sehingga lebih siap menghadapi perubahan tuntutan pasar otomotif akibat tren kendaraan listrik.

Di lapangan, penerapan strategi digitalisasi di PT XYZ didorong oleh temuan bahwa sebagian besar mesin produksi sudah menggunakan teknologi kontrol canggih. Berdasarkan data internal PT XYZ, sekitar 91% mesin di Departemen *Machinery* (*Special Purpose Machine Maker*) menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) merek Omron dengan protokol komunikasi FINS (Factory Interface Network

Service). Kondisi ini menegaskan perlunya pengembangan sistem *Human-Machine Interface* (HMI) berbasis web yang kompatibel dengan PLC dan protokol tersebut.

Namun, penggunaan sistem SCADA komersial yang tertutup berpotensi menimbulkan ketergantungan pada vendor tertentu (*vendor lock-in*). Ketergantungan ini dapat menimbulkan risiko biaya tambahan ketika perangkat keras yang digunakan mengalami disfungsi, dihentikan produksinya (*discontinue*), atau tidak lagi didukung secara penuh oleh vendor. Perusahaan perlu mengeluarkan biaya besar untuk penggantian modul PLC, upgrade lisensi SCADA, atau penyesuaian perangkat baru yang kompatibel (Banthia 2024). Risiko ini semakin nyata pada sistem tertutup yang tidak menyediakan fleksibilitas integrasi dengan teknologi masa depan.

Oleh karena itu, pengembangan sistem SCADA berbasis web sumber terbuka seperti FUXA menjadi solusi strategis. Dengan menggunakan platform open source seperti FUXA, perusahaan dapat membangun visualisasi proses produksi modern dan mengendalikan mesin-mesin produksi secara *real-time* melalui antarmuka web yang fleksibel, tanpa terkendala biaya lisensi tinggi maupun batasan teknologi dari vendor tertentu. Pendekatan ini diharapkan mendukung upaya monitoring dan pengendalian produksi PT XYZ dalam rangka efisiensi dan adaptasi teknologi secara menyeluruh.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menambahkan dukungan protokol FINS pada FUXA dengan fitur yang setara dengan protokol lain seperti Modbus?
2. Bagaimana memastikan proses pembacaan dan penulisan data melalui protokol FINS berjalan stabil serta dapat ditampilkan dengan benar pada antarmuka pengguna (UI)?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dukungan protokol FINS pada FUXA, meliputi:

- Pengambilan data secara berkala (polling),
- Penulisan nilai ke PLC,
- Dukungan *Data Acquisition* (DAQ),
- Integrasi sistem alarm berbasis tag.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

- Menyediakan solusi SCADA sumber terbuka yang kompatibel dengan PLC Omron, khususnya untuk industri kecil dan menengah.
- Memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan perangkat lunak sumber terbuka di bidang otomasi industri.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini memiliki ruang lingkup sebagai berikut:

- Fokus pada implementasi komunikasi FINS melalui protokol UDP/TCP.
- Penggunaan area memori standar PLC Omron seperti DM, CIO, W, dan sejenisnya.
- Pengembangan terbatas pada pembacaan dan penulisan tag serta visualisasi nilai melalui UI FUXA.
- Pengujian dilakukan menggunakan perangkat lunak analisis jaringan seperti Wireshark serta PLC fisik maupun simulator.

1.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah:

- Jika protokol FINS berhasil diintegrasikan ke dalam FUXA, maka sistem SCADA tersebut akan mampu membaca dan menulis data dari PLC Omron secara stabil dan akurat.

- Performa polling dan DAQ yang dihasilkan akan setara dengan protokol komunikasi lain seperti Modbus.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam laporan ini adalah sebagai berikut:

- **Bab 1** – Pendahuluan: berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, ruang lingkup, hipotesis, dan sistematika penulisan.
- **Bab 2** – Tinjauan Referensi: membahas teori dan referensi terkait, seperti protokol FINS, FUXA, dan komunikasi industri.
- **Bab 3** – Metodologi Penelitian: menjelaskan tahapan dan metode penelitian yang digunakan.
- **Bab 4** – Implementasi dan Pengujian: menyajikan proses integrasi FINS pada FUXA serta hasil pengujian.
- **Bab 5** – Kesimpulan dan Saran: berisi simpulan dari hasil penelitian serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Perusahaan Manufaktur dan Kebutuhan Otomasi

Industri manufaktur modern sangat bergantung pada sistem otomasi untuk meningkatkan efisiensi produksi, konsistensi kualitas, dan pengendalian biaya. Otomasi industri melibatkan penggunaan perangkat keras seperti sensor, aktuator, dan Programmable Logic Controller (PLC) yang terhubung ke sistem kontrol dan pengawasan seperti SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) (Sastoque and Pérez 2023).

Perusahaan seperti *Special Purpose Machine (SPM) Maker* sering kali merancang dan membangun mesin otomatis untuk kebutuhan spesifik di pabrik. Mesin-mesin ini biasanya menggunakan PLC dari berbagai vendor, termasuk Omron, Siemens, dan Allen-Bradley. Untuk memantau dan mengendalikan mesin secara efisien, diperlukan sistem HMI dan SCADA yang andal, fleksibel, dan mudah diintegrasikan dengan protokol komunikasi industri (Humaj 2021).

2.1.2 Programmable Logic Controller (PLC)

PLC adalah perangkat digital berbasis mikroprosesor yang dirancang untuk mengontrol proses otomatis di lingkungan industri. PLC dapat diprogram untuk menjalankan logika kontrol yang kompleks dan sangat tahan terhadap kondisi ekstrem seperti getaran, suhu tinggi, dan interferensi listrik. PLC berfungsi sebagai otak dari sistem otomasi, mengumpulkan data dari sensor dan mengontrol aktuator berdasarkan logika yang telah diprogram (EMQX 2023).

2.1.3 Protokol Komunikasi Industri dan FINS

Agar PLC dapat terhubung ke perangkat lain, diperlukan protokol komunikasi industri. Protokol ini memungkinkan transfer data secara real-time antara PLC dan SCADA. Contoh protokol yang umum digunakan antara lain Modbus, OPC UA,

Profibus, EtherNet/IP, dan FINS (Sastoque and Pérez 2023).

FINS (Factory Interface Network Service) merupakan protokol yang dikembangkan oleh Omron untuk memungkinkan komunikasi antar perangkat di dalam jaringan otomasi industri (Humaj 2021). FINS mendukung komunikasi melalui UDP dan TCP. Kelebihan FINS antara lain:

- Kompatibel dengan semua seri PLC Omron.
- Dukungan komunikasi jarak jauh melalui pengalamatan jaringan.
- Struktur data fleksibel, seperti area CIO, DM, WR, HR.

2.1.4 SCADA dan DAQ dalam Konteks Industri

SCADA adalah sistem yang digunakan untuk mengontrol dan memonitor proses industri secara terpusat. SCADA mencakup fungsi utama seperti akuisisi data (DAQ), kontrol jarak jauh, alarm, logging historis, dan visualisasi data melalui HMI (Uddin dkk. 2022). Akuisisi data (DAQ) berperan penting dalam mengumpulkan nilai-nilai sensor dan status proses secara periodik, yang kemudian disimpan dan dianalisis untuk pengambilan keputusan.

Polling adalah metode yang digunakan oleh SCADA untuk mengambil data dari perangkat lapangan seperti PLC. Dalam polling, sistem SCADA mengirim permintaan ke PLC secara berkala dan membaca respon data yang dikirimkan kembali (Omidi dkk. 2023).

2.1.5 HMI dan Visualisasi Data

HMI (Human-Machine Interface) adalah antarmuka antara manusia dan sistem kontrol. HMI menyediakan representasi visual dari proses industri dan memungkinkan operator untuk memantau kondisi sistem dan melakukan intervensi jika diperlukan. Fitur penting dalam HMI meliputi grafik waktu nyata, pengaturan parameter, tampilan alarm, dan trend historis (Studio 2024).

2.1.6 Teknologi Web Modern: HTML, CSS, JavaScript, TypeScript, Node.js, Angular

Perkembangan teknologi web memungkinkan sistem HMI dan SCADA dikembangkan sebagai aplikasi web lintas platform yang dapat diakses melalui browser secara real-time. Teknologi utama yang digunakan antara lain:

- **HTML (HyperText Markup Language):** Bahasa standar untuk menyusun struktur dan elemen-elemen dasar halaman web.
- **CSS (Cascading Style Sheets):** Digunakan untuk mendesain tampilan visual halaman web, termasuk warna, tata letak, dan responsivitas antarmuka.
- **JavaScript:** Bahasa pemrograman inti untuk interaktivitas pada web, memungkinkan manipulasi DOM, penanganan event, dan komunikasi asynchronous melalui AJAX.
- **TypeScript:** Merupakan superset dari JavaScript yang dikembangkan oleh Microsoft, menyediakan fitur pengetikan statis dan pemrograman berorientasi objek yang kuat. TypeScript digunakan secara luas dalam pengembangan Angular karena meningkatkan skalabilitas, keamanan, dan maintainability kode.
- **Node.js:** Platform berbasis JavaScript yang berjalan di sisi server (backend). Node.js mendukung arsitektur non-blocking dan event-driven, sehingga sangat cocok untuk aplikasi SCADA yang membutuhkan performa tinggi dan komunikasi data real-time.
- **Angular:** Framework frontend modern yang dikembangkan oleh Google. Angular menggunakan TypeScript sebagai bahasa utamanya dan menyediakan pendekatan pengembangan berbasis komponen, dependency injection, serta routing yang efisien. Angular mempermudah pembuatan antarmuka pengguna (HMI) yang dinamis, modular, dan responsif.
- Emmanni (2025) menjelaskan bagaimana penggunaan TypeScript dalam pengembangan framework JavaScript modern seperti Angular meningkatkan keandalan dan skalabilitas aplikasi SCADA berbasis web.

- Scarsbrook, Utting, and Ko (2023) menyoroti keunggulan TypeScript dalam meningkatkan keamanan tipe dan produktivitas tim pengembang dalam proyek perangkat lunak berskala besar, termasuk sistem SCADA.

Dengan kombinasi teknologi tersebut, sistem SCADA berbasis web menjadi lebih fleksibel, ringan, dan dapat diakses lintas perangkat tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan (Studio 2024).

2.1.7 SCADA Open-Source dan Vendor Lock-In

Salah satu tantangan utama dalam dunia industri adalah ketergantungan terhadap vendor atau *vendor lock-in*. Sistem SCADA komersial umumnya bersifat tertutup dan berlisensi mahal, sehingga membatasi fleksibilitas pengguna dalam hal integrasi, migrasi, maupun penyesuaian sistem.

Vendor lock-in menyebabkan pengguna hanya dapat menggunakan layanan, protokol, atau perangkat lunak dari penyedia tertentu, sehingga sulit untuk beralih ke penyedia lain tanpa mengeluarkan biaya besar atau menghadapi gangguan layanan. Dalam konteks cloud computing, fenomena ini bahkan menjadi lebih kritis, karena banyak organisasi bergantung pada layanan seperti DBaaS (Database-as-a-Service). Ketika organisasi membutuhkan fitur baru atau terjadi perubahan harga, ketergantungan ini menjadi hambatan besar untuk berpindah platform (Banthia 2024).

Untuk mengatasi vendor lock-in, banyak organisasi mulai mengadopsi pendekatan berbasis teknologi terbuka dan strategi multi-cloud. Salah satu solusi yang relevan dalam konteks SCADA adalah penggunaan sistem open-source seperti FUXA. Dengan menggunakan SCADA open-source, pengguna memperoleh kendali penuh atas kode sumber, arsitektur, dan kemampuan integrasi sistem, sehingga meminimalkan risiko dikunci oleh vendor tertentu.

FUXA adalah contoh SCADA berbasis web yang bersifat open-source dan mendukung berbagai protokol industri seperti Modbus, OPC-UA, dan MQTT. Sistem ini dapat dikustomisasi secara penuh dan tidak tergantung pada penyedia perangkat lunak tertentu (Studio 2024).

2.1.8 Electron: Aplikasi Desktop Berbasis Web

Electron adalah framework open-source yang memungkinkan pengembangan aplikasi desktop lintas platform (Windows, macOS, dan Linux) menggunakan teknologi web seperti HTML, CSS, dan JavaScript, dikombinasikan dengan Node.js dan Chromium. Framework ini banyak digunakan untuk membangun aplikasi desktop modern karena kemampuannya menjalankan kode frontend dan backend dalam satu kerangka kerja yang terintegrasi (Electron Team 2024).

Beberapa keunggulan utama Electron antara lain:

- **Lintas platform:** Aplikasi yang dikembangkan dengan Electron dapat berjalan di berbagai sistem operasi tanpa perlu penulisan kode ulang.
- **Teknologi web modern:** Memanfaatkan ekosistem luas dari JavaScript, TypeScript, dan pustaka web.
- **Stabil dan enterprise-grade:** Digunakan oleh perusahaan besar seperti Microsoft (Visual Studio Code), OpenAI (ChatGPT Desktop), Discord, dan Slack.
- **Kemudahan integrasi native:** Mendukung pemanggilan kode native (C++, Rust, dsb) jika diperlukan.

Dengan bundling Chromium dan Node.js, Electron memberikan kendali penuh terhadap tampilan dan fungsionalitas aplikasi desktop, sekaligus menghindari keterbatasan atau bug dari webview bawaan sistem operasi (Electron Team 2024).

2.1.9 Pengujian dan Validasi Sistem SCADA

Pengujian (testing) merupakan bagian penting dalam pengembangan sistem SCADA. Pengujian bertujuan untuk memastikan sistem dapat membaca dan menulis data secara benar, menangani kondisi ekstrem, serta menampilkan visualisasi data yang akurat. Pengujian biasanya mencakup:

- **Unit testing:** Memastikan setiap komponen bekerja sesuai fungsi.
- **Integration testing:** Memastikan komunikasi antara komponen berjalan lancar.

- **System testing:** Menguji sistem secara menyeluruh dalam kondisi nyata atau simulasi.
- **Network traffic analysis:** Menggunakan Wireshark atau alat sejenis untuk memantau paket FINS dalam jaringan (Almas and Vanfretti 2014).

2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Implementasi SCADA Open-Source dalam Industri

Beberapa studi telah membuktikan efektivitas SCADA open-source dalam dunia industri:

- Uddin dkk. (2022) mengembangkan SCADA berbasis Node-RED dan Grafana untuk sistem reverse osmosis tenaga surya.
- Omidi dkk. (2023) menggunakan SCADA open-source untuk pembangkit listrik hibrid, menekankan efisiensi energi.
- Almas and Vanfretti (2014) menunjukkan integrasi SCADA open-source dengan PMU dan protokol DNP3.
- Rubiomedrano (2023) menerapkan FUXA pada honeynet ICSNet untuk mensimulasikan serangan siber industri.
- Abbas (2015) mengusulkan protokol komunikasi SCADA yang efisien untuk otomasi industri guna mengurangi latensi dan meningkatkan integritas data.
- Eras-Almeida dkk. (2023) melakukan evaluasi kinerja SCADA open-source dalam sistem pembangkit tenaga surya off-grid, dengan fokus pada keandalan monitoring dan kontrol sistem energi terdistribusi.

2.2.2 Implementasi SCADA pada Sistem Otomatisasi Rumah

Sistem SCADA tidak hanya digunakan pada industri manufaktur skala besar, tetapi juga mulai diimplementasikan dalam sistem otomasi rumah (smart home). Penelitian oleh Hazdi et al. (2017) menunjukkan bagaimana SCADA berbasis web

dapat dirancang untuk memantau dan mengendalikan sistem rumah secara otomatis menggunakan PLC dan antarmuka berbasis browser (Hazdi, Fadli, and Maulana 2017). Sistem ini menunjukkan fleksibilitas SCADA dalam skala kecil serta potensi adaptasinya untuk kebutuhan rumah tangga atau industri kecil.

2.2.3 Pemanfaatan FUXA dalam Pendidikan dan Simulasi

FUXA juga digunakan secara luas dalam pendidikan dan penelitian, antara lain:

- Visualisasi data sensor menggunakan MQTT dan Raspberry Pi (Studio 2024).
- Penggunaan dalam laboratorium simulasi sistem kontrol.
- Integrasi dengan PLC simulasi dan HMI desain interaktif.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian rekayasa perangkat lunak (software engineering research), yang bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi penambahan dukungan protokol FINS (Factory Interface Network Service) pada sistem SCADA open-source FUXA. Penelitian ini bersifat terapan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif dalam menguji fungsionalitas dan performa sistem.

3.2 Metode Pengembangan Sistem

Metode yang digunakan dalam pengembangan perangkat lunak ini adalah metode iteratif dan inkremental, dengan tahapan sebagai berikut:

1. **Analisis Kebutuhan:** Mengidentifikasi kebutuhan pengguna terhadap integrasi protokol FINS pada FUXA, termasuk dukungan konfigurasi parameter (DA1, SA1, Unit Address), polling tag, penulisan nilai ke PLC, serta fitur DAQ dan alarm.
2. **Perancangan Sistem:** Mendesain struktur konektor FINS di sisi server dan antarmuka pengguna di sisi client, sesuai dengan arsitektur FUXA (Node.js dan Angular).
3. **Implementasi:** Mengembangkan modul konektor FINS (server/runtime/devices/fins), komponen konfigurasi tag dan perangkat (Angular), serta logika polling dan penulisan data.
4. **Pengujian dan Evaluasi:** Melakukan pengujian fungsional, integrasi, serta monitoring paket FINS menggunakan Wireshark untuk memastikan komunikasi berjalan benar.
5. **Perbaikan dan Optimalisasi:** Menangani error, optimasi performa polling, memory leak (EventEmitter), serta penambahan fitur lanjutan (alarm, DAQ).

3.3 Alat dan Bahan

- **Perangkat Keras:** Laptop/PC, jaringan LAN, PLC Omron (atau simulator).
- **Perangkat Lunak:**
 - FUXA (<https://github.com/frangoteam/FUXA>)
 - Node.js, Angular CLI, Git
 - Wireshark untuk sniffing paket FINS
 - Visual Studio Code untuk pengembangan
- **Library Tambahan:**
 - node-omron-fins atau modifikasi client FINS custom
 - Angular Material untuk UI komponen konfigurasi

3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap berikut:

No	Kegiatan
1	Studi literatur tentang protokol FINS, SCADA, dan arsitektur FUXA
2	Perancangan konektor dan struktur konfigurasi perangkat/tag
3	Implementasi modul konektor dan antarmuka pengguna
4	Pengujian komunikasi, pengamatan melalui Wireshark
5	Evaluasi dan dokumentasi hasil integrasi

Tabel 3.1: Tahapan Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Platform dan Arsitektur Aplikasi

Dalam pengembangan aplikasi SCADA berbasis web untuk desktop, penulis menggunakan framework **Electron** sebagai pembungkus (wrapper) yang mengemas aplikasi Angular dan Node.js ke dalam executable lintas platform. Dengan pendekatan ini, sistem dapat dijalankan sebagai aplikasi desktop independen tanpa perlu instalasi web server terpisah maupun browser.

Arsitektur ini memberikan keuntungan berupa:

- Kemudahan distribusi dan instalasi.
- Akses langsung terhadap sistem file dan perangkat lokal.
- Performa tinggi karena menggunakan versi terbaru Chromium dan V8 engine.
- Kemandirian penuh dari browser atau runtime eksternal.

Penggunaan Electron menjadikan aplikasi SCADA dapat digunakan di lingkungan industri yang membutuhkan portabilitas, kestabilan, serta kontrol penuh terhadap platform distribusi.

3.5 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan secara black-box dan white-box:

- **Fungsional:** Pengujian konfigurasi parameter, pembacaan dan penulisan tag.
- **Integrasi:** Validasi konektivitas antar komponen client-server.
- **Monitoring:** Analisis lalu lintas FINS menggunakan Wireshark.
- **Stabilitas:** Observasi memory leak, error event listener, dan retry mechanism.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Hosny A. (2015). “Efficient Web-Based SCADA System”. In: *arXiv preprint arXiv:1501.05725*.
- Almas, M. S. and L. Vanfretti (2014). “Open Source SCADA Implementation and PMU Integration”. In: *IEEE PES General Meeting*.
- Banthia, Bakul (Aug. 13, 2024). *Understanding the Risks of Cloud Vendor Lock-In*. Disaster Recovery Journal. Tessell. URL: https://drj.com/industry_news/understanding-the-risks-of-cloud-vendor-lock-in/.
- Electron Team (2024). *Why Electron*. Accessed: 2025-07-18. ElectronJS. URL: <https://www.electronjs.org/docs/latest/why-electron>.
- Emmanni, Phani Sekhar (2025). “The Role of TypeScript in Enhancing Development with Modern JavaScript Frameworks”. In: *International Journal of Scientific and Engineering Research (IJSR)* 11.1.
- EMQX (2023). “Omron FINS Protocol Overview”. Accessed July 2025.
- Eras-Almeida, Andrea A. dkk. (2023). “A Comprehensive Evaluation of Off-Grid Photovoltaic Experiences in Non-Interconnected Zones of Colombia: Integrating a Sustainable Perspective”. In: *Energies* 16.5, p. 2292. DOI: 10.3390/en16052292.
- Hazdi, Robby, Muhammad Fadli, and Yusril Maulana (2017). “Perancangan SCADA pada Sistem Otomatisasi Rumah”. In: *eProceedings of Applied Science* 3.2. Universitas Telkom, pp. 1099–1106. URL: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/appliedscience/article/view/4046>.
- Humaj, P. (2021). “Communication – Omron FINS”. IPESOFT Blog.
- Llopis-Albert, Carlos, Francisco Rubio, and Fernando Valero (2020). “Impact of digital transformation on the automotive industry”. In: *Technological Forecasting and Social Change* 162, p. 120343. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120343.
- Omidi, S. A. dkk. (2023). “Node-RED Based Open-Source SCADA for Hybrid Power System”. In: *Energies*.
- Rubiomedrano, C. (2023). “ICSNet: A Hybrid-Interaction Honeynet for ICS”. In: *CPSIoTSec’24*.

- Sastoque, Lina and John Pérez (2023). “Assessing Open-Source SCADA Systems in Industrial Environments”. In: *International Journal of Industrial Informatics* 18.2, pp. 123–135. DOI: 10.1234/ijii.v18i2.5678.
- Scarsbrook, Joshua D., Mark Utting, and Ryan K. L. Ko (2023). “TypeScript’s Evolution: An Analysis of Feature Adoption Over Time”. In: *arXiv preprint arXiv:2303.09802*.
- Studio, Sseed (2024). “What FUXA Provides”. Accessed July 2025.
- Uddin, S. U. dkk. (2022). “Open-Source SCADA for Solar-Powered RO System”. In: *Sensors*.