

SKRIPSI

**IMPLEMENTASI FILTER SPASIAL LINEAR PADA VIDEO *STREAM*
MENGUNAKAN *FPGA HARDWARE ACCELERATOR***

Disusun dan diajukan oleh

**DENNY CHRISNANDA
H131 16 002**



**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

**IMPLEMENTASI FILTER SPASIAL LINEAR PADA VIDEO *STREAM*
MENGUNAKAN *FPGA HARDWARE ACCELERATOR***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada
Program Studi Sistem Informasi Departemen Matematika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar

DENNY CHRISNANDA

H131 16 002

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

April 2021

HALAMAN PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DENNY CHRISNANDA

NIM : H131 16 002

Program Studi : Sistem Informasi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

IMPLEMENTASI FILTER SPASIAL LINEAR PADA VIDEO *STREAM* MENGUNAKAN *FPGA HARDWARE ACCELERATOR*

Adalah benar hasil karya saya sendiri bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini merupakan hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 9 April 2021

DENNY CHRISNANDA

NIM. H131 16 002

IMPLEMENTASI FILTER SPASIAL LINEAR PADA VIDEO STREAM MENGGUNAKAN *FPGA HARDWARE* *ACCELERATOR*

Disusun dan diajukan oleh

DENNY CHRISNANDA
H131 16 002

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Sistem Informasi Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin dan dinyatakan
telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama

Dr. Eng. Armin Lawi, S.Si., M.Eng.
NIP. 197204231995121001

Supri Bin Hj Amir, S.Si., M.Eng.
NIP. 198805042019031012

Ketua Program Studi

Dr. Muhammad Hasbi, M.Sc
NIP. 196307201989031003

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : DENNY CHRISNANDA
NIM : H131 16 002
Program Studi : Sistem Informasi
Judul Skripsi : IMPLEMENTASI FILTER SPASIAL LINEAR PADA
VIDEO *STREAM* MENGGUNAKAN *FPGA HARDWARE ACCELERATOR*

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Sistem Informasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

Tanda Tangan

1. Ketua : Dr. Eng. Armin Lawi, S.Si., M.Eng. (.....)
2. Sekretaris : Supri Bin Hj Amir, S.Si., M.Eng. (.....)
3. Anggota : Dr. Hendra, S.Si., M.Kom. (.....)
4. Anggota : Nur Hilal A Syahrir, S.Si., M.Si. (.....)

Ditetapkan di : Makassar

Tanggal : 9 April 2021

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada *Rasulullah* Muhammad *Shallallahu Alaihi Wasallam*, yang merupakan teladan dalam menjalankan kehidupan dunia.

Alhamdulillah, skripsi dengan judul "IMPLEMENTASI FILTER SPASIAL LINEAR PADA VIDEO *STREAM* MENGGUNAKAN *FPGA HARDWARE ACCELERATOR*" yang disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana pada program studi Sistem Informasi fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin ini dapat diselesaikan. Walaupun adanya kendala-kendala yang dihadapi khususnya wabah Covid-19 ketika skripsi ini dikerjakan. Tetapi dalam penulisan skripsi ini, penulis mampu menyelesaikan pada waktu yang tepat berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak.

Ucapan terima kasih dan apresiasi yang tak terhingga kepada kedua orang tua penulis bapak **Sudarmin** dan ibu **Yuli Hadiyanti** yang tak kenal lelah dalam memanjatkan doa serta memberikan nasihat dan motivasi kepada penulis. Tak lupa juga kepada saudara-saudara penulis **Fitri Handayani, Tri Novianti, Jumadil Yusuf, Muhammad Fitrah, Adam Ramadhan** yang selalu menjadi motivasi bagi penulis untuk terus melangkah maju.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan dengan adanya bantuan, bimbingan, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan ucapan terima kasih dengan tulus kepada:

1. Rektor Universitas Hasanuddin, Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu** beserta jajarannya.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, **Dr. Eng. Amiruddin** beserta jajarannya.
3. Ketua Departemen Matematika FMIPA, **Dr. Nurdin, S.Si., M.Si**, dan juga **Dr. Muhammad Hasbi, M.Sc** sebagai ketua Program Studi Sistem Informasi Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Dr. Eng. Armin Lawi, S.Si., M.Eng** sebagai pembimbing utama yang

telah banyak memberikan arahan, ide, motivasi serta dukungan kepada penulis dalam banyak hal.

5. Almarhum bapak **Dr. Diaraya, M.Ak** dan bapak **Supri Bin Hj. Amir, S.Si., M.Eng** sebagai pembimbing pertama yang senantiasa memberikan masukan kepada penulis.
6. Bapak **Dr. Hendra, S.Si., M.Kom** dan Ibu **Nur Hilal, S.Si., M.Si** sebagai tim penguji atas saran dan masukan pada penelitian yang telah dilakukan oleh penulis.
7. Seluruh Bapak dan Ibu dosen FMIPA Universitas Hasanuddin yang telah mendidik dan memberikan ilmunya sehingga penulis mampu menyelesaikan program sarjana. Serta para staf yang telah membantu dalam pengurusan berkas administrasi.
8. Saudara-saudara **Ramsis Squad (Sultan, Muh Rizaldi, Sangereng Dewa Raja, Hajrin, Badaruddin Hidayat, Hamzah Julianto Nugraha, Muh Naim, Achmad Husein Nyompa)** sebagai keluarga semasa tinggal di Ramsis sejak menjadi mahasiswa baru, saling berbagi dalam banyak hal, saling membantu dan bahkan saling merepotkan.
9. Saudara-saudara **Sunu Squad** dan **SSC Squad (Akbar, Muh Fikri Satria A, Andi Rezki Muh Nur, Muhammad Akbar Atori, Baharuddin Kasim, Andi Yaumil Falakh, Nur Ikhwan Putra Pratama, Bagas Prasetyo, Zinedine Kahlil Gibran Zidane, Rio Mukhtarom, Marfiandhi Putra, Abdul Aziz Mubarak, Mutawally Syarawy, Fatur Rahman, Fitriadi Syawal Mustafa)** yang telah menemani penulis selama perkuliahan, saling memberi motivasi dan bantuan, meluangkan waktu dan berbagi suka-duka serta kebersamaan selama menuntut ilmu.
10. Saudari **Suci Rahmadana Anwar** dan **Sri Juliana** yang senantiasa menemani, memberi nasihat, menjadi tempat bertanya, serta dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
11. Keluarga besar **Ilmu Komputer Unhas 2016** yang setia menemani dan membantu penulis selama menjalani pendidikan. Serta kakak-kakak dan adik-adik **Ilmu Komputer 2014, 2015, 2017, 2018** yang telah banyak

membantu, semoga tetap semangat dalam mengejar impian.

12. Keluarga besar **HIPERMAWA Koperti Unhas** yang senantiasa memberikan naungan kekeluargaan dan dukungan.
13. Rekan-rekan **KKN Internasional Jepang Unhas Gel. 102** yang telah menjadi keluarga baru selama KKN dan menjadikan KKN sebagai momen yang berkesan.
14. Serta semua pihak yang telah banyak berpartisipasi, baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini yang tidak sempat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga tulisan ini memberikan manfaat kepada semua pihak yang membutuhkan dan terutama untuk penulis.

Makassar, 9 April 2021

DENNY CHRISNANDA

NIM. H13116002

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DENNY CHRISNANDA
NIM : H131 16 002
Program Studi : Sistem Informasi
Departemen : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Prediktor Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas tugas akhir saya yang berjudul:

”IMPLEMENTASI FILTER SPASIAL LINEAR PADA VIDEO *STREAM* MENGUNAKAN *FPGA HARDWARE ACCELERATOR*”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal diatas, maka pihak Universitas Hasanuddin berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar pada 9 April 2021

Yang menyatakan

(DENNY CHRISNANDA)

ABSTRAK

Berbagai macam akselerator telah dikembangkan dalam meningkatkan kinerja dan efisiensi energi untuk menangani komputasi berat, salah satu diantaranya yaitu FPGA. FPGA mampu menangani beban komputasi yang begitu berat sehingga dapat digunakan untuk *Digital Signal Processing*, *Image Processing*, *Neural Network*, dan sebagainya. Pada penelitian ini penulis mencoba mengkaji kinerja yang dimiliki ARM prosesor dan FPGA pada *FPGA Development Board* Xilinx PYNQ Z2 dalam penerapan filter spasial linear pada video *stream*. Kernel filter yang digunakan pada penelitian ini yaitu *average blur*, *gaussian blur*, *laplacian*, *sharpen*, *sobel horizontal* dan *sobel vertical*. Parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja ARM prosesor dan FPGA yaitu waktu komputasi, *frame rate* (FPS), penggunaan CPU, penggunaan *memory*, *resident memory* (RES), *shared memory* (SHR) dan *virtual memory* (VIRT). Rata-rata waktu komputasi yang dibutuhkan untuk menerapkan filter spasial linear pada 200 frame dengan ARM prosesor adalah 29.06 detik sedangkan dengan FPGA rata-rata hanya dibutuhkan 3.32 detik. Waktu komputasi dengan FPGA 88.85% lebih baik dibandingkan dengan ARM prosesor. Video hasil filter dengan ARM prosesor memperoleh rata-rata 6.95 fps sedangkan dengan FPGA rata-rata 60.37 fps. FPS dengan FPGA 88.49% lebih baik lebih baik dibandingkan ARM prosesor. Penggunaan CPU pada FPGA 14.89% lebih baik, penggunaan *memory* pada FPGA 2.02% lebih baik, penggunaan *resident memory* 2.07% lebih baik, dan penggunaan *shared memory* 4.08% lebih baik dibandingkan dengan ARM prosesor. Sedangkan penggunaan *virtual memory* pada ARM prosesor 0.03% lebih baik dibandingkan FPGA.

Kata Kunci : filter spasial linear, FPGA, ARM prosesor, video *stream*, video *processing*

ABSTRACT

Various kinds of accelerators have been developed to improve performance and energy efficiency to handle heavy computations, one of which is FPGA. FPGA is capable of handling such a heavy computational load that it can be used for Digital Signal Processing, Image Processing, Neural Networks, etc. In this study, the authors tried to examine the performance of the ARM processor and the FPGA on the Xilinx PYNQ Z2 FPGA Development Board in applying a linear spatial filter to the video stream. Kernel filters used in this study are the average blur, Gaussian blur, Laplacian, sharpen, Sobel horizontal, and Sobel vertical. The parameters used to measure the performance of ARM processors and FPGAs are runtime, frame rate (FPS), CPU usage, memory usage, resident memory (RES), shared memory (SHR), and virtual memory (VIRT). The average computation time required to apply linear spatial filters to 200 frames with an ARM processor is 29.06 seconds, while the average FPGA takes only 3.32 seconds. Compute time with FPGA is 88.85% better than ARM processor. The filtered video with the ARM processor gets an average of 6.95 fps while the FPGA average is 60.37 fps. FPS with FPGA is 88.49% better than ARM processor. CPU usage on FPGA is 14.89% better, memory usage on FPGA is 2.02% better, usage of resident memory is 2.07% better, and usage of shared memory is 4.08% better than ARM processor. While the use of virtual memory on ARM processors is 0.03% better than FPGA.

Keywords : linear spatial filter, FPGA, ARM processor, video stream, video processing

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KEOTENTIKAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.3.1 Tujuan Penelitian	2
1.3.2 Manfaat Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5 Hipotesis Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Landasan Teori	4
2.1.1 Perusahaan Manufaktur dan Kebutuhan Otomasi	4
2.1.2 Programmable Logic Controller (PLC)	4
2.1.3 Protokol Komunikasi Industri dan FINS	4
2.1.4 SCADA dan DAQ dalam Konteks Industri	5
2.1.5 HMI dan Visualisasi Data	5
2.1.6 Teknologi Web Modern: HTML, CSS, JavaScript, Node.js, Angular	5
2.1.7 SCADA Open-Source dan Vendor Lock-In	6
2.1.8 Pengujian dan Validasi Sistem SCADA	6
2.2 Penelitian Terdahulu	7
2.2.1 Implementasi SCADA Open-Source dalam Industri	7
2.2.2 Pemanfaatan FUXA dalam Pendidikan dan Simulasi	7
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	8
3.1 Jenis Penelitian	8
3.2 Metode Pengembangan Sistem	8
3.3 Alat dan Bahan	9
3.4 Tahapan Penelitian	9
3.5 Metode Pengujian	9
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	11
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	12
5.1 Kesimpulan	12
5.2 Saran	12
DAFTAR PUSTAKA	12
LAMPIRAN	12

DAFTAR TABEL

3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian	9
--	---

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Masalah

FUXA merupakan salah satu perangkat lunak SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sumber terbuka yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Namun, hingga saat ini FUXA belum secara resmi mendukung protokol *Factory Interface Network Service* (FINS) yang dikembangkan oleh Omron.

Di sisi lain, industri manufaktur yang mengandalkan *Programmable Logic Controller* (PLC) dari Omron memerlukan sistem visualisasi data secara *real-time* yang kompatibel dengan protokol komunikasi FINS. Ketidadaan dukungan ini menyebabkan keterbatasan integrasi antara sistem SCADA open-source dan perangkat keras dari Omron.

Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan modul komunikasi FINS pada FUXA agar sistem SCADA ini mampu berkomunikasi secara efektif dengan PLC Omron, sehingga dapat digunakan secara luas oleh industri dan komunitas pengembang perangkat lunak terbuka.

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).

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.

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.

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.

FINS (Factory Interface Network Service) merupakan protokol yang dikembangkan oleh Omron untuk memungkinkan komunikasi antar perangkat di dalam jaringan otomasi industri. 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. 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.

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.

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

Perkembangan teknologi web memungkinkan HMI dan SCADA dikembangkan sebagai aplikasi web lintas platform. Teknologi yang digunakan antara lain:

- **HTML (HyperText Markup Language):** Bahasa dasar untuk struktur halaman web.
- **CSS (Cascading Style Sheets):** Digunakan untuk mempercantik dan mengatur tampilan halaman.
- **JavaScript:** Bahasa pemrograman yang memungkinkan interaktivitas dan manipulasi DOM secara dinamis.
- **Node.js:** Platform berbasis JavaScript untuk backend yang mendukung I/O non-blocking, cocok untuk aplikasi SCADA real-time.
- **Angular:** Framework frontend modern dari Google yang digunakan untuk membangun antarmuka pengguna berbasis komponen yang dinamis dan responsif.

Dengan menggunakan stack teknologi tersebut, sistem SCADA menjadi lebih fleksibel, ringan, dan mudah diakses melalui browser tanpa instalasi tambahan.

2.1.7 SCADA Open-Source dan Vendor Lock-In

Salah satu tantangan dalam dunia industri adalah ketergantungan terhadap vendor atau *vendor lock-in*. Sistem SCADA komersial biasanya memiliki lisensi yang mahal dan tertutup, membuat pengguna sulit untuk melakukan kustomisasi. Oleh karena itu, SCADA open-source seperti FUXA menjadi alternatif menarik.

FUXA adalah sistem SCADA berbasis web yang dikembangkan secara open-source. Dengan menggunakan FUXA, pengguna dapat menghindari ketergantungan vendor, menghemat biaya lisensi, serta bebas memodifikasi sistem sesuai kebutuhan spesifik industri.

2.1.8 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.

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 et al. (2022)** mengembangkan SCADA berbasis Node-RED dan Grafana untuk sistem reverse osmosis tenaga surya.
- **Omidi et al. (2023)** menggunakan SCADA open-source untuk pembangkit listrik hibrid, menekankan efisiensi energi.
- **Almas dan Vanfretti (2014)** menunjukkan integrasi SCADA open-source dengan PMU dan protokol DNP3.
- **Rubiomedrano et al. (2023)** menerapkan FUXA pada honeynet ICSNet untuk mensimulasikan serangan siber industri.

2.2.2 Pemanfaatan FUXA dalam Pendidikan dan Simulasi

FUXA juga digunakan secara luas dalam pendidikan:

- Visualisasi data sensor menggunakan MQTT dan Raspberry Pi.
- 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-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

3.5 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.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

5.2 Saran

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

LAMPIRAN