

JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

Design of a Real-Time Productivity Monitoring Dashboard System for CNC Machines at PT X

Ni Luh Saddhwi Saraswati Adnyani, Gregorius Bayu Candra, Fikri Abdulhakim

1 – 10

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A 144V/220AH LITHIUM BATTERY PACK FOR ELECTRIC VEHICLES

Egi Sunardi, Maria Bestarina Laili, Jelita Permatasari, Hanopa Abdul Hidayah, Diky Zakaria

11 – 22

Prototype Aplikasi Sistem Akses Terintegrasi dengan Kartu RFID dan Pengenalan Wajah Berbasis Mikrokontroler Esp32

Ni Ketut H.D, Muhammad Rafii Satrio

23 – 34

Implementation of Book Detection System Using YOLOv8

Maria Bestarina Laili, Raihan Alfariji, James Tri Septiono, Muhammad Farid Idlal, Egi Sunardi

35 – 43

Design and Development of the Drive System on GPR (Ground Penetrating Radar)

Putri Cahaya Lestari, Erwin Renda Wardana , Rendy Muslim Arifin, Zaki Fadillah, , Rizky Augusta Gozzal, Barokatun Hasanah

44 – 59

Analisis Quality Of Service (QoS) Jaringan Internet Berbasis Wireless Local Area Network di Gedung Fakultas Psikologi Unjani

Nivika Tiffany, Rendi Djuliansyah, Fauzia Haz, Atik Charisma

60- 71

Perancangan dan Realisasi Sistem Kendali Furnace Menggunakan Ratio Control Berbasis Distributed Control System Centum VP R05.04.20

Asep Najmurrokhman, Listi Restu Triani

72 - 88



Program Studi Teknik Elektro
Universitas Jenderal Achmad Yani

ISSN 1693-4989



Vol. 23, No. 1, Juni 2025

E-ISSN : 2745-5688 P-ISSN : 1693-4989

EPSILON : *Journal of Electrical Engineering and Information Technology* adalah jurnal penelitian dan pengkajian aplikasi teknologi dalam bidang teknik elektro dan teknologi informasi yang dikelola oleh Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani. Redaksi menerima tulisan para peneliti di lingkup perguruan tinggi dan lembaga penelitian. Tulisan bisa dalam Bahasa Inggris atau dalam Bahasa Indonesia. Makalah lengkap dikirim dalam bentuk *softcopy* ke alamat redaksi. Makalah akan dimuat apabila mengikuti panduan yang ditetapkan serta setelah mengalami penyuntingan dan penilaian dari redaksi ahli. Penilaian dari redaksi ahli dilaksanakan secara anonim.

PENGELOLA JURNAL

Penanggung Jawab

Dekan Fakultas Teknik Unjani

Pimpinan Umum

Ketua Program Studi Teknik Elektro Unjani

Pimpinan Redaksi

Dede Furqon Nurjaman, S.T., M.T. (Scopus ID : 57215826304)
Universitas Jenderal Achmad Yani

Tim Redaksi :

1. Fauzia Haz, S.T., M.T. (Scopus ID : 57215826492) Universitas Jenderal Achmad Yani
2. Nivika Tifanny Somantri, S.T., M.T. (Scopus ID : 7205030775) Universitas Jenderal Achmad Yani
3. Irvan Budiawan, S.T., M.T. (Scopus ID : 57205060472) Universitas Jenderal Achmad Yani
4. Naftalin Winanti, S.ST., M.T. (Scopus ID : 57200994613) Universitas Jenderal Achmad Yani
5. Salita Ulitia Prini, S.Kom., M.T. (Scopus ID : 57208581701) Unit Pusat Riset Elektronika & Telekomunikasi – BRIN
6. Griffani Megiyanto Rahmatullah, S.ST., M.T. (Scopus ID : 57215431443) National Taiwan University of Science and Technology
7. Adnan Raffi Al Tahtawi, S.Pd., M.T. (Scopus ID : 57188575833) Politeknik Negeri Bandung

Epsilon diterbitkan dua (2) kali dalam satu tahun
Alamat Redaksi dan Tata Usaha:
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Terusan Jenderal Sudirman PO Box 148 Cimahi 40533
Telp./Fax. 022 – 6642063
Website : www.unjani.ac.id
e-mail : jurnal_epsilon@unjani.ac.id

MITRA BESTARI

- Reviewers : 1. Dr. Asep Najmurokhman, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 55919091000)
2. Handoko Rusian Iskandar, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57194219446)
3. Giri Angga Setia S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57215919610)*
4. Dede Irawan Saputa, S.Pd., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57215833890)
5. M. Reza Hidayat, S.T., M.T. Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57188573208)
6. Hajiar Yuliana, S.T., M.T. Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57194007789)*
7. Atik Charisma, S.T., M.T. Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57188567470)
8. Yurika, S.T., M.T. (Politeknik TEDC Bandug, SINTA ID : 6109670)
9. Antrisha Daneraici Setiawan, S.T., M.T. (University of Electro-Communications, Scopus ID : 57188573899)
10. Hanny Madiawati, S.ST., M.T. (Politeknik Negeri Bandung, Scopus ID : 57193823758)*
11. Barokatun Hasanah S.T., M.T. (Institut Teknologi Kalimantan, Scopus ID : 57188567669)
12. Imil Hamda Imran, M.Sc, P.hD (King Fahd University of Petroleum and Minerals, Scopus ID : 57199736015)
13. Nurul Fahmi Arief, S.T., M.T. (Universitas Pendidikan Indonesia, SINTA ID : 6725597)*
14. Anugrah Adiwilaga S.ST., M.T (Universitas Pendidikan Indonesia, Scopus ID : 57194714935)
15. Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T. (Universitas Diponegoro, SINTA ID : 6720123)
16. Christiono, S.T., M.T. (Institut Teknologi PLN, Scopus ID : 6679673)
17. Andi Junaidi, S.T., M.T. (Institut Teknologi PLN, Scopus ID : 57200986174)*
18. Imam Taufiqurrohman, S.Pd., M.T. (Universitas Siliwangi, Scopus ID : 53980722100)*
19. Agus Ramelan, S.Pd., M.T. (Universitas Negeri Solo, Scopus ID : 57203956839)*
20. Steven Humena, S.T., M.T. (Universitas Ichsan Gorontalo, Scopus ID : 57192240068)
21. Ayu Latifah, S.T., M.T. (Institut Teknologi Garut, Scopus ID : 57203959221)
22. Fachrur Razy Rahman, S.T.,M.T. (Politeknik Industri Logam Morowali, Scopus ID : 57280529800)
23. Martin, S.T., M.T. (Politeknik Negeri Bandung, Scopus ID : 7202782870)
24. Dinda Ayu Permatasari, S.S.T., M.T. (Politeknik Negeri Malang, Scopus ID : 57209274119)
25. C. Bambang Dwi Kuncoro, Ph.D (National Chin-Yi University of Technology (NCUT), Taiwan, Scopus ID : 56168013600)*
-

DAFTAR ISI

Design of a Real-Time Productivity Monitoring Dashboard System for CNC Machines at PT X

Ni Luh Saddhwi Saraswati Adnyani, Gregorius Bayu Candra, Fikri Abdulhakim 1 – 10

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A 144V/220AH LITHIUM BATTERY PACK FOR ELECTRIC VEHICLES

Egi Sunardi, Maria Bestarina Laili, Jelita Permatasari, Hanopa Abdul Hidayah, Diky Zakaria
11 – 22

Prototype Aplikasi Sistem Akses Terintegrasi dengan Kartu RFID dan Pengenalan Wajah Berbasis Mikrokontroler Esp32

Ni Ketut H.D, Muhammad Rafii Satrio 23 – 34

Implementation of Book Detection System Using YOLOv8

Maria Bestarina Laili, Raihan Alfariji, James Tri Septiono, Muhammad Farid Idlal, Egi Sunardi
35 – 43

Design and Development of the Drive System on GPR (Ground Penetrating Radar)

Putri Cahaya Lestari, Erwin Renda Wardana , Rendy Muslim Arifin, Zaki Fadillah, , Rizky Augusta Gozzal, Barokatun Hasanah
44 – 59

Analisis Quality Of Service (QoS) Jaringan Internet Berbasis Wireless Local Area Network di Gedung Fakultas Psikologi Unjani

Nivika Tiffany, Rendi Djuliansyah, Fauzia Haz, Atik Charisma 60- 71

Perancangan dan Realisasi Sistem Kendali Furnace Menggunakan Ratio Control Berbasis Distributed Control System Centum VP R05.04.20

Asep Najmurrokhman, Listi Restu Triani 72 - 88

DARI REDAKSI

Puji syukur kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kelimpahan rahmat-Nya sehingga kami bisa menerbitkan Jurnal EPSILON : *Journal of Electrical Engineering and Information Technology* Vol. 23 No.1 Juni 2025. Pada edisi ini menerbitkan 7 (tujuh) artikel di bidang Teknik Elektro. Artikel tersebut yakni : (1) SettingsDesign of a Real-Time Productivity Monitoring Dashboard System for CNC Machines at PT X (2) DESIGN AND DEVELOPMENT OF A 144V/220AH LITHIUM BATTERY PACK FOR ELECTRIC VEHICLES (3) Prototype Aplikasi Sistem Akses Terintegrasi dengan Kartu RFID dan Pengenalan Wajah Berbasis Mikrokontroler Esp32 (4) Implementation of Book Detection System Using YOLOv8 (5) Design and Development of the Drive System on GPR (Ground Penetrating Radar) (6) Analisis Quality Of Service (QoS) Jaringan Internet Berbasis Wireless Local Area Network di Gedung Fakultas Psikologi Unjani (7) Perancangan dan Realisasi Sistem Kendali Furnace Menggunakan Ratio Control Berbasis Distributed Control System Centum VP R05.04.20

Tim redaksi mengucapkan terimakasih kepada peneliti-peneliti yang berkenan mempublikasikan hasil penelitiannya di Jurnal EPSILON : *Journal of Electrical Engineering and Information Technology* Vol. 23 No. 1 Juni 2025. Kami juga mengucapkan terimakasih kepada mitra bestari yang terlibat dalam proses *review* artikel-artikel pada edisi ini. Terimakasih kami ucapkan kepada Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani yang telah mendukung penerbitan artikel-artikel. Besar harapan kami kepada para peniliti, perekayasa dan para fungsional lainnya untuk mempublikasikan hasil penelitiannya pada jurnal kami demi pengembangan ilmu pengetahuan teknologi khususnya di bidang teknik elektro. Kami menerima kritik dan saran untuk kemajuan jurnal EPSILON.

Cimahi, Juni 2025

Dewan Redaksi

Perancangan Sistem Dashboard Pemantau Produktivitas secara Real-Time pada Mesin CNC di PT X

Ni Luh Saddhwi Saraswati Adnyani ^{1*)}, Gregorius B. C. Kirana ²⁾, Fikri Abdulhakim ³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Teknik Industri
Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha No. 10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia, 40132

^{*)} Korespondensi: saddhwi@itb.ac.id

Abstrak

PT X merupakan suatu perusahaan *contract manufacturer* yang memproduksi *item* berbahan dasar logam dan telah menjalin kontrak dengan beberapa produsen sehingga terdapat variasi pada permintaan *item* yang diproduksi. Permintaan terhadap seluruh *item* dapat dipenuhi dengan adanya 4 departemen yang dimiliki oleh PT X, yaitu departemen *cutting*, *milling*, *Computer Numerical Control* (CNC), dan *press*. Dari keempat departemen tersebut, departemen CNC menjadi departemen dengan persentase produktivitas terendah pada tahun 2023. Hal tersebut disebabkan karena tidak adanya alat atau *dashboard* yang dapat memantau kondisi mesin CNC secara *real-time*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dirancang sebuah sistem *dashboard* untuk memantau produktivitas pada mesin CNC. Metode yang digunakan dalam perancangan *dashboard* pada penelitian ini adalah metode Vilarinho, yang dimulai dengan melakukan diagnosis terhadap area produktif, dilanjutkan dengan merencanakan dan mengidentifikasi kebutuhan sistem, mengembangkan sistem, serta diakhiri dengan menguji dan mengimplementasikan sistem yang telah dirancang. Sistem *dashboard* dikembangkan dengan menggunakan *software* Node-Red dan diimplementasikan secara langsung pada 2 mesin CNC. Sistem *dashboard* dilengkapi dengan tampilan *dashboard* yang dapat menyajikan data dan informasi yang menggambarkan produktivitas mesin CNC di PT X. *Dashboard* akan digunakan untuk keperluan pemantauan dan pengambilan keputusan bagi pihak manajerial dan *staff* produksi terhadap proses produksi di mesin CNC.

Kata kunci: CNC, produktivitas, *dashboard*, *real-time*

Abstract

PT X is a contract manufacturing company that produces metal-based items and has established contracts with several manufacturers, resulting in variations in item demand. The demand for all items can be met through the company's four departments: cutting, milling, Computer Numerical Control (CNC), and press. Among these departments, the CNC department recorded the lowest productivity percentage in 2023. This was due to the absence of tools or dashboards capable of monitoring CNC machine conditions in real time. To address this issue, a dashboard system was designed to monitor the productivity of CNC machines. The design method used in this study is the Vilarinho method, which begins with diagnosing the productive area, followed by planning and identifying system requirements, developing the system, and concluding with system testing and implementation. The dashboard system was developed using Node-Red software and implemented directly on two CNC machines. The dashboard includes a display that presents data and information reflecting the productivity of CNC machines at PT X. This dashboard will serve as a tool for monitoring and decision-making for both managerial staff and production personnel regarding the CNC machine production process.

Keywords: CNC, productivity, dashboard, real-time

I. PENDAHULUAN

Persaingan antar perusahaan yang bergerak di industri manufaktur menjadi semakin kompetitif seiring dengan adanya perkembangan teknologi dan globalisasi. Kini, perusahaan-perusahaan manufaktur tidak hanya bersaing dalam skala lokal, tetapi juga harus bersaing dalam skala global guna mempertahankan dan meningkatkan pangsa pasar mereka. Salah satu faktor kunci yang dapat menentukan keberhasilan suatu perusahaan manufaktur dalam bersaing dengan perusahaan kompetitornya adalah peninjauan dan peningkatan produktivitas. Dalam konteks manufaktur, produktivitas dapat diartikan sebagai suatu tolak

Info Makalah:

Dikirim : 04-16-2025;

Revisi 1 : 06-25-2025;

Revisi 2 : -

Diterima : 06-25-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-XXX-XXX

e-mail : saddhwi@itb.ac.id

ukur efisiensi dan efektivitas dalam penggunaan sumber daya seperti tenaga kerja, mesin, dan material guna menghasilkan *output* yang maksimal [1]. Produktivitas menjadi salah satu indikator utama yang dapat menentukan keberhasilan operasional sebuah perusahaan manufaktur, sebab produktivitas yang tinggi turut memberikan kontribusi terhadap pengurangan biaya produksi, peningkatan kualitas produk, dan peningkatan kapasitas produksi yang secara langsung memungkinkan perusahaan untuk menawarkan harga yang lebih kompetitif kepada pasar dan meningkatkan profitabilitas. Oleh sebab itu, tidak dapat dipungkiri bahwa seluruh perusahaan manufaktur terus

mengupayakan penjagaan serta peningkatan produktivitas guna mempertahankan dan meningkatkan pangsa pasar mereka, tidak terkecuali PT X.

PT X merupakan suatu perusahaan *contract manufacturer* (CM) yang memproduksi komponen atau *item* berbahan dasar logam. CM merupakan perusahaan yang tidak memiliki produk atau merek dagang sendiri. CM menjalankan produksinya ketika perusahaan lain yang berperan sebagai produsen melakukan kontrak dan *outsourcing* kepada CM untuk memproduksi *item-item* dengan desain dan spesifikasi sesuai keinginan produsen [2]. PT X telah menjalin kontrak dengan beberapa produsen, seperti produsen otomotif, produsen elektronik, dan produsen peralatan konstruksi, sehingga *item* yang harus diproduksi oleh PT X memiliki spesifikasi dan desain yang bervariasi. Untuk memenuhi permintaan produksi masing-masing produsen, PT X memiliki 4 departemen yang dibedakan berdasarkan jenis prosesnya, yaitu departemen *cutting*, CNC, *milling*, dan *press*. Setiap akhir tahun, PT X membuat rekapan data persentase produktivitas masing-masing departemen untuk mengevaluasi performa serta kinerja masing-masing departemen. Persentase produktivitas dihitung berdasarkan rata-rata perbandingan antara *cycle time* dan jumlah produksi dengan waktu produksi. Departemen CNC memiliki persentase produktivitas terendah, baik dalam semester pertama maupun semester kedua pada tahun 2023, apabila dibandingkan dengan departemen lainnya. Hal tersebut menjadi sebuah masalah mengingat departemen CNC berisi mesin CNC yang segala prosesnya telah terotomatisasi apabila dibandingkan dengan departemen lain yang prosesnya masih membutuhkan kendali dan pengawasan operator secara ketat. Dengan proses pada mesin CNC yang telah terotomatisasi secara menyeluruh, seharusnya departemen CNC memiliki persentase produktivitas paling tinggi dibandingkan dengan departemen lain.

Salah satu penyebab masalah yang berdampak pada rendahnya tingkat produktivitas mesin CNC PT X berada pada faktor mesin, yaitu *item* yang dihasilkan oleh mesin mengalami *defect* dan *item* yang dihasilkan mesin melebihi *cycle time* ideal atau terhenti. *Item defect* yang dihasilkan oleh mesin CNC salah satunya disebabkan oleh adanya variasi pada performa mesin CNC. Variasi performa yang terjadi pada mesin CNC disebabkan oleh kesalahan pengaturan alat pada mesin CNC dan tidak adanya pemantauan yang konsisten terhadap performa mesin CNC. Lalu, permasalahan waktu produksi *item* yang melebihi *cycle time* ideal atau terhenti disebabkan oleh mesin CNC yang tidak berjalan sesuai dengan kecepatan optimal serta mesin CNC yang terkadang mengalami kerusakan secara mendadak. Mesin CNC yang tidak berjalan sesuai dengan kecepatan optimal karena pemeliharaan mesin CNC yang tidak teratur dan adanya *unplanned downtime* yang tidak terdeteksi secara cepat.

Tidak adanya pemantauan yang konsisten terhadap performa mesin CNC serta *unplanned downtime* yang tidak terdeteksi secara cepat dapat disebabkan oleh tidak adanya sistem *monitoring* yang berjalan secara *real-time* untuk memberikan visibilitas secara langsung terhadap kondisi mesin CNC. Dengan demikian, dibutuhkan sebuah sistem *monitoring* berupa *dashboard* yang dapat memantau serta mengawasi kondisi mesin CNC secara *real-time* dan terus menerus. Sistem *monitoring* yang tepat dengan *dashboard* sebagai media yang dapat menampilkan data serta informasi dapat membantu perusahaan dalam mengidentifikasi penyebab masalah dari mesin CNC berdasarkan data yang tepat dan akurat sehingga perusahaan juga dapat mengambil tindakan serta keputusan dengan tepat. *Dashboard* dapat didefinisikan sebagai visualisasi dari sekumpulan data yang telah dikonsolidasikan untuk tujuan tertentu, yang memungkinkan pengguna melihat apa yang sedang terjadi dan mengambil tindakan [3]. *Dashboard* dirancang untuk mengkomunikasikan suatu informasi kepada *stakeholders* perusahaan dengan menggambarkan data secara ringkas yang mudah dimengerti secara cepat [4]. *Dashboard* membantu *stakeholders* tetap fokus

pada tujuan dan sasaran dengan memberikan panduan mengenai aktivitas mana yang penting dan memerlukan perhatian, serta mendukung pengambilan keputusan yang berkualitas [5]. Dengan begitu, dapat dikatakan bahwa *dashboard* merupakan sebuah alat atau fasilitas yang dapat menampilkan status dan kondisi mesin saat proses produksi yang dapat digunakan untuk melakukan *monitoring* terhadap produktivitas mesin.

Meskipun *dashboard* tidak dapat menjadi solusi langsung dalam menyelesaikan masalah pada produktivitas, *dashboard* dapat menjadi sebuah alat yang dapat menyediakan data serta informasi yang diperlukan untuk mengambil tindakan yang tepat. Pengambilan tindakan semakin baik apabila data serta informasi mengenai produktivitas dapat terbaru secara *real-time*, sehingga perusahaan dapat mengetahui kondisi proses produksi pada mesin secara langsung dan perusahaan juga dapat langsung mengambil tindakan berdasarkan kondisi tersebut. Hal tersebut terbukti dari penelitian yang dilakukan oleh Vilarinho dkk. [6]. Pada penelitian tersebut, *dashboard Overall Equipment Performance* (OEE) diterapkan secara *real-time* pada suatu *Small Medium Enterprise* (SME). Penerapan *dashboard* tersebut terbukti dapat meningkatkan sistem produksi serta manajemen kinerja sesuai dengan keinginan perusahaan. OEE dapat didefinisikan sebagai ukuran kinerja dan produktivitas operasi produksi yang dinyatakan dalam bentuk persentase yang menunjukkan sejauh mana suatu proses manufaktur benar-benar produktif serta berfungsi sebagai ukuran umum dan menyeluruh tentang seberapa baik operasi manufaktur suatu perusahaan berjalan [7]. Dengan menyediakan data yang komprehensif dan terbaru secara *real-time*, *dashboard* memungkinkan perusahaan untuk dapat secara langsung mengidentifikasi mesin yang memerlukan perbaikan dan perhatian lebih guna mengoptimalkan penggunaan mesin produksi. Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan sistem *dashboard* dengan pemilihan metode yang sesuai bagi PT X dalam melakukan pemantauan terhadap produktivitas mesin CNC.

II. METODE

A. Alur Penelitian

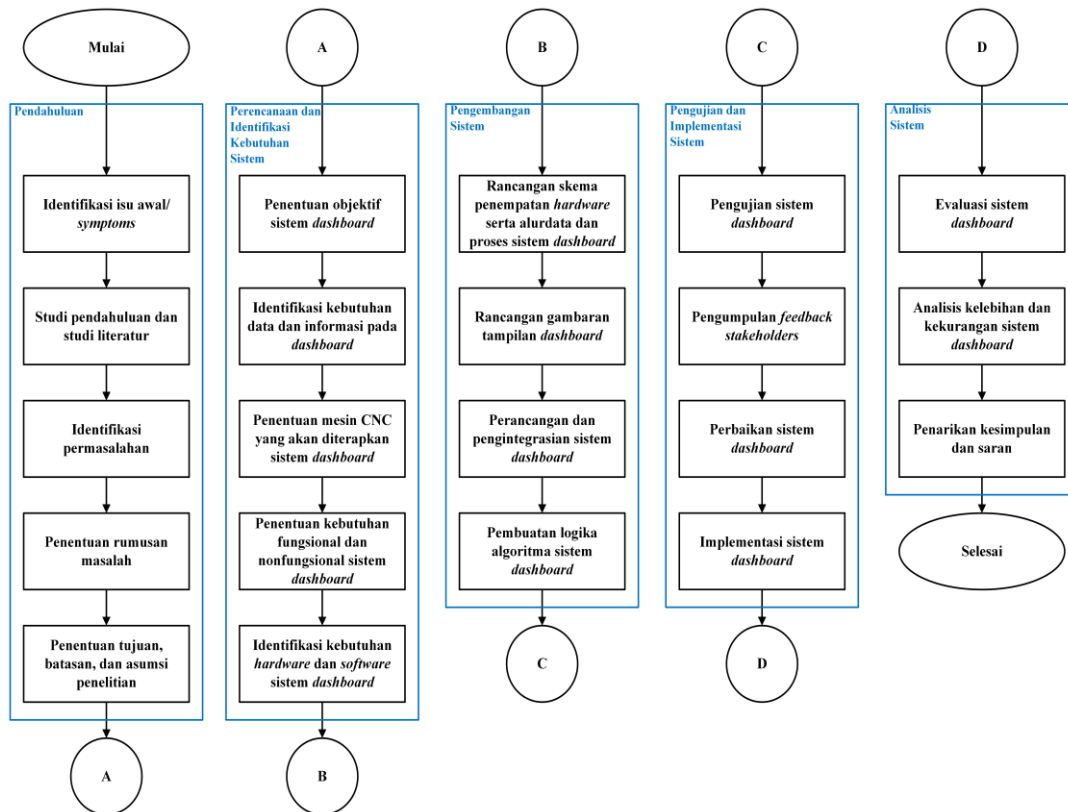
Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Vilarinho [6]. Metode ini merupakan hasil modifikasi dari metode *Engineering Design Process* (EDP) sehingga pendekatan yang digunakan memiliki kemiripan dengan EDP, yaitu perancangan didasarkan pada kebutuhan dan spesifikasi yang diinginkan oleh *stakeholders*. Metode ini memiliki kerangka kerja yang sistematis dan terstruktur mulai dari diagnosis area produktif, perencanaan kebutuhan sistem, pengembangan sistem, hingga pengujian dan implementasi sistem. Selain itu, metode ini juga menekankan betapa pentingnya verifikasi dan validasi terhadap sistem yang telah dirancang untuk memastikan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan dan berfungsi dengan lancar. *Flowchart* pelaksanaan penelitian diperlihatkan dalam Gambar 1.

B. Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan merupakan langkah awal yang perlu dilakukan pada penelitian ini agar permasalahan yang terdapat pada objek penelitian dapat dipahami secara menyeluruh sehingga penelitian yang dilakukan nantinya memiliki arah dan tujuan yang jelas. Dalam metode Vilarinho [6], tahap ini merupakan tahap diagnosis area produktif. Tahap ini terdiri dari identifikasi isu awal/*symptoms*, studi pendahuluan dan studi literatur, identifikasi permasalahan, penentuan rumusan masalah, serta penentuan tujuan, batasan, dan asumsi penelitian.

C. Tahap Perencanaan dan Identifikasi Kebutuhan Sistem

Tahap perencanaan dan identifikasi kebutuhan sistem menjadi langkah awal dalam metode Vilarinho yang bertujuan untuk merencanakan serta mengidentifikasi kebutuhan sistem *dashboard* sebelum masuk pada tahap selanjutnya. *Output* dari tahap ini akan menjadi acuan utama untuk tahap pengembangan sistem *dashboard*. Tahap ini terdiri dari penentuan objektif sistem *dashboard*, identifikasi kebutuhan data dan informasi pada *dashboard*, penentuan mesin CNC yang akan diterapkan sistem *dashboard*, penentuan kebutuhan fungsional sistem *dashboard*, penentuan kebutuhan nonfungsional sistem *dashboard*, dan identifikasi kebutuhan *hardware* dan *software* sistem *dashboard*.



Gambar 1 Alur penelitian

D. Tahap Pengembangan Sistem

Dalam tahap pengembangan sistem, sistem *dashboard* mulai dirancang dan dikembangkan dengan mengacu pada komponen yang telah dirumuskan pada tahap perencanaan dan kebutuhan sistem. Tahap ini terdiri dari rancangan skema penempatan *hardware* sistem *dashboard*, rancangan alur data dan proses sistem *dashboard*, rancangan gambaran tampilan *dashboard*, perancangan dan pengintegrasian sistem *dashboard*, serta pembuatan logika algoritma sistem *dashboard*.

E. Tahap Pengujian dan Implementasi Sistem

Dalam tahap pengujian dan implementasi sistem, sistem *dashboard* yang telah dirancang akan diuji, diperbaiki, serta diimplementasikan langsung pada mesin Brother 1 dan Polygim 1 yang terdapat pada departemen CNC PT X. Tahap ini terdiri dari pengujian sistem *dashboard*, pengumpulan *feedback stakeholders*, perbaikan sistem *dashboard*, dan implementasi sistem *dashboard*.

F. Tahap Analisis Sistem

Tahap ini membahas terkait dengan tahap akhir dari penelitian yang meliputi evaluasi sistem *dashboard*, analisis kelebihan dan kekurangan pada sistem *dashboard*, serta penarikan kesimpulan dan saran penelitian.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Penentuan Objektif Sistem Dashboard

Objektif sistem *dashboard* ditentukan dengan melakukan wawancara kepada *stakeholders* mengenai kebutuhan akan fungsi sistem yang diinginkan. Hasil wawancara tersebut kemudian diterjemahkan menjadi objektif sebagai berikut: sistem dapat melakukan *monitoring* terhadap produktivitas dan kualitas *item* pada mesin CNC yang sedang berjalan (*work in process*) secara *real-time* dan disajikan dalam bentuk *dashboard* pada suatu *interface*; *dashboard monitoring* produksi mesin CNC dapat dipantau secara fleksibel melalui komputer maupun *smartphone*; sistem *monitoring* dapat merekam sekaligus menyimpan data hasil produksi dalam suatu *database* dan dapat dikonversi kedalam format excel .csv; serta sistem *monitoring* dapat menerima *input* data detail produksi berupa nomor SPK, nama *item*, *cycle time* ideal, target produksi harian, dan nama proses.

B. Identifikasi Kebutuhan Data dan Informasi Pada Dashboard

Langkah pertama dalam menentukan kebutuhan data dan informasi pada *dashboard* yang akan dirancang adalah dengan mengidentifikasi *Key Result Area* (KRA) pada departemen CNC. Pengidentifikasian *Key Result Area* (KRA) bertujuan untuk mengetahui target capaian yang akan dijadikan sebagai tolak ukur pengukuran kinerja produksi pada departemen CNC. Proses identifikasi KRA dilakukan melalui wawancara dengan salah satu *stakeholder* serta pencarian berdasarkan studi literatur. Literatur yang digunakan untuk mengidentifikasi KRA adalah buku yang ditulis oleh Dal Pont [8]. Literatur tersebut digunakan untuk mengidentifikasi KRA yang umumnya digunakan pada operasi manufaktur. Berdasarkan hasil wawancara dan studi literatur, ditetapkan KRA yang terdiri dari *good equipment performance*, *good product quality*, *worker efficiency*, *resource management*, dan *good maintenance*.

Selanjutnya, dilakukan identifikasi *Key Performance Indicator* (KPI) yang bertujuan untuk menentukan indikator kunci yang akan digunakan untuk mengukur serta mengevaluasi proses produksi pada mesin CNC dan nantinya akan ditampilkan pada *dashboard* sebagai informasi bagi pihak manajerial dalam mengambil keputusan. Proses ini dilakukan dengan menyesuaikan serta membandingkan KRA existing dengan standar acuan yang relevan, yaitu standar *International Organization for Standardization* (ISO) 22400-2. ISO 22400-2 merupakan standar internasional yang berfokus pada KPI yang digunakan untuk menilai efisiensi, produktivitas, dan kualitas di rantai produksi [9]. KPI yang akan menjadi informasi dalam *dashboard* yang akan dirancang. KPI tersebut terdiri dari OEE, *availability*, *performance*, *quality*, dan *scrap ratio*.

Penentuan data dan informasi ditentukan berdasarkan data existing dan lima KPI utama yang telah ditentukan sebelumnya. Daftar data dan informasi yang akan ditampilkan pada *dashboard* ditunjukkan pada Tabel 1.

C. Penentuan Mesin CNC yang akan diterapkan Sistem Dashboard

Dari tiga belas mesin CNC yang terdapat pada departemen CNC, akan dipilih 2 mesin CNC yang akan diterapkan sistem *dashboard*. Hal tersebut dilakukan karena terdapat keterbatasan biaya dan waktu dalam pengerjaan dan pemenuhan kebutuhan *hardware* dan *software* sistem *dashboard*. Mesin CNC dengan rekam jejak durasi *downtime* pada semester 2 tahun 2023 terlama akan dipilih sebagai mesin yang akan dipantau oleh sistem *dashboard*. Mesin Brother 1 dan Polygim 1 terpilih menjadi mesin yang akan diterapkan sistem *dashboard*.

D. Penentuan Kebutuhan Fungsional dan Nonfungsional Sistem Dashboard

Penentuan kebutuhan fungsional sistem *dashboard* dilakukan dengan mengelompokkan kebutuhan berdasarkan objektif sistem dalam empatkelompok kebutuhan, yaitu *user interface requirements*, *processing requirements*, *storage requirements*, dan *control requirements*. Penentuan kebutuhan nonfungsional sistem *dashboard* ditentukan dengan mengelompokkan kebutuhan menggunakan framework PIECES (*Performance, Information, Economics, Control and Security, Efficiency, Services*).

E. Identifikasi Kebutuhan Hardware dan Software Sistem Dashboard

Dalam perancangan sistem *dashboard*, dibutuhkan infrastruktur *hardware* dan *software* yang dapat menunjang keberjalanan dan kelancaran sistem dalam menjalankan fungsinya. Daftar kebutuhan *hardware* dan *software* secara lengkap yang dapat dilihat pada Tabel 2.

F. Rancangan Skema Penempatan Hardware serta Alur Data dan Proses Sistem Dashboard

Hardware yang digunakan sebagai *analog input* data pada sistem *dashboard* adalah *push button GOOD*, *push button NOT GOOD* (NG), *push button RESET*, dan *selector switch Downtime*. Seluruh *analog input* tersebut harus terhubung dengan *Programmable Logic Controller* (PLC) agar hasil *input* dapat masuk dan terbaca oleh *software* sistem *dashboard* yang terdapat pada komputer. Seluruh *analog input* ini akan dioperasikan oleh operator mesin CNC secara manual, sehingga *analog input* harus ditempatkan berdekatan dengan operator mesin CNC. Pada Gambar 2, diperlihatkan skema penempatan *hardware* sistem *dashboard* yang meliputi *analog input*, PLC dan MCB pada departemen CNC.

Rancangan alur data dan proses sistem *dashboard* digunakan untuk menggambarkan proses aliran data pada sistem *dashboard*, dimulai dari pengambilan data dari *analog input*, pengiriman data dari *analog input* ke komputer, pengolahan data pada *software*, penampilan data hasil olahan pada *dashboard*, hingga seluruh data disimpan dalam *database* dan dikonversi ke dalam format .csv.

Tabel 1 Data dan informasi pada *dashboard*

No.	Nama	Deskripsi
1.	Waktu	Sebuah durasi dalam satuan HH:MM:SS (jam:menit:detik) yang menunjukkan waktu secara <i>real-time</i> .
2.	Tanggal	Informasi yang menampilkan tanggal, bulan, dan tahun secara <i>real-time</i> .
3.	No. SPK	Nomor Surat Perintah Kerja (SPK). SPK berfungsi sebagai bukti tertulis yang digunakan untuk menjelaskan pekerjaan yang harus dilakukan oleh operator secara rinci.
4.	Nama <i>item</i>	Nama atau kode <i>item</i> yang sedang diproduksi pada mesin CNC.
5.	<i>Cycle time</i>	Waktu total ideal yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu <i>item</i> produksi dalam mesin CNC dari awal hingga akhir.
6.	Nama proses	Nama atau kode dari proses produksi suatu <i>item</i> yang akan atau sedang diproduksi.
7.	Status mesin	Informasi mengenai status dari mesin CNC yang dipantau oleh <i>dashboard</i> .
8.	Target harian (unit)	Target atau capaian jumlah unit <i>item</i> GOOD hasil produksi selama 1 hari.
9.	Jumlah <i>item</i> GOOD	Jumlah <i>item</i> GOOD (memenuhi spesifikasi) yang telah diproduksi oleh mesin CNC.
10.	Jumlah <i>item</i> NG	Jumlah <i>item</i> NG (<i>not good</i> atau <i>defect</i>) yang telah diproduksi oleh mesin CNC.
11.	Total unit	Penjumlahan antara jumlah <i>item</i> GOOD dan jumlah <i>item</i> NG.
12.	<i>Net time</i>	Waktu aktual saat mesin CNC sedang produktif.
13.	<i>Gross time</i>	Waktu kerja yang mencakup <i>net time</i> dan juga <i>downtime</i> .
14.	<i>Downtime</i>	Durasi dalam satuan menit ketika sebuah mesin CNC sedang tidak beroperasi atau tidak berfungsi sebagaimana mestinya sehingga proses produksi terhenti.
15.	<i>Availability achievement</i>	Rasio yang menunjukkan hubungan antara <i>Actual Production Time</i> (APT) dengan <i>Planned Busy Time</i> (PBT) pada suatu unit kerja.
16.	<i>Performance achievement</i>	Relasi antara <i>cycle time</i> ideal dengan <i>cycle time</i> aktual yang dinyatakan sebagai perkalian antara <i>Planned Runtime per Item</i> (PRI) dengan <i>Produced Quantity</i> (PQ) lalu dibagi dengan <i>Actual Production Time</i> (APT).
17.	<i>Quality achievement</i>	Relasi antara <i>Good Quantity</i> (GQ) dengan <i>Produced Quantity</i> (PQ).
18.	OEE	Perkalian antara <i>availability achievement</i> , <i>performance achievement</i> , dan <i>quality achievement</i> .
19.	<i>Scrap ratio</i>	Relasi antara <i>Scrap Quantity</i> (SQ) dengan <i>Produced Quantity</i> (PQ).
20.	<i>Quality actual VS target</i>	Perbandingan antara <i>quality achievement</i> dengan <i>quality target</i> (97,5%)
21.	<i>Performance actual VS target</i>	Perbandingan antara <i>performance achievement</i> dengan <i>performance target</i> (95%)

G. Rancangan Gambaran Tampilan Dashboard

Tampilan atau *User Interface* (UI) *dashboard* dirancang untuk memberikan gambaran konsep mengenai bagaimana data dan informasi nantinya akan disajikan dalam *dashboard*. Rancangan gambaran tampilan *dashboard* akan digunakan sebagai panduan dalam memosisikan dan meletakkan data dan informasi di *dashboard* agar mudah untuk dilihat dan digunakan oleh *stakeholders*. Rancangan tampilan UI *dashboard* yang akan dirancang pada sistem *dashboard* dapat dilihat pada Gambar 3.

H. Perancangan dan Pengintegrasian Sistem Dashboard

Proses ini mencakup proses pemasangan dan penyambungan *hardware* serta pengintegrasian sistem *dashboard*. Pemasangan dan penyambungan *hardware* dilakukan dengan menggunakan kabel *power* AC, kabel AWG 24, kabel LAN, dan kabel HDMI yang memiliki fungsi berbeda. Penggambaran alur pengkabelan *hardware* dilakukan dengan menggunakan diagram skematik (Gambar 4).

Pengintegrasian sistem *dashboard* melibatkan beberapa *software* dan dilakukan setelah PLC dipastikan dapat terhubung dengan *switch hub*. *Software* yang digunakan untuk mengambil data dari PLC sekaligus sebagai *dashboard* yang dapat menampilkan informasi hasil pengolahan data dari PLC adalah *Node-Red*. *Node-RED*, yang diperkenalkan oleh IBM, adalah alat pengembangan pemrograman visual yang

dapat digunakan untuk membuat sistem pemantauan dan pengendalian jarak jauh berbasis web lintas platform [10].

1. Pembuatan Logika Algoritma Sistem Dashboard

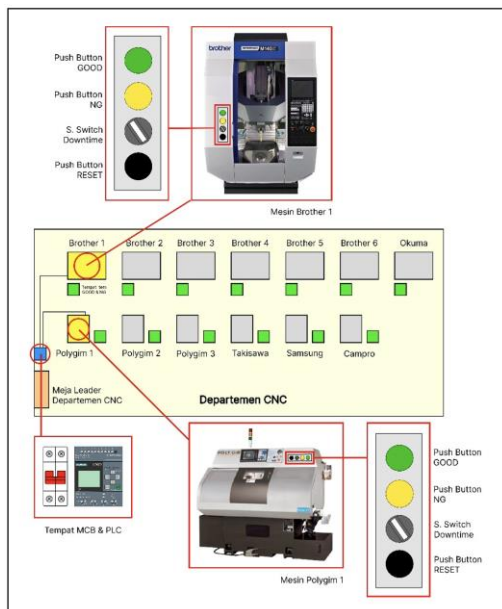
Logika algoritma sistem dashboard dikembangkan dengan menggunakan *software* Node-Red. Karena *software* Node-Red menggunakan pendekatan *flow based programming* dengan bahasa pemrograman javascript dalam implikasinya, maka logika algoritma sistem *dashboard* dikembangkan dengan menggunakan *node-node* yang saling terhubung hingga membentuk sebuah aliran/flow dan tercipta sebuah logika sistem. Cuplikan *flow* logika sistem *dashboard* dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 2 Kebutuhan *hardware* sistem *dashboard*

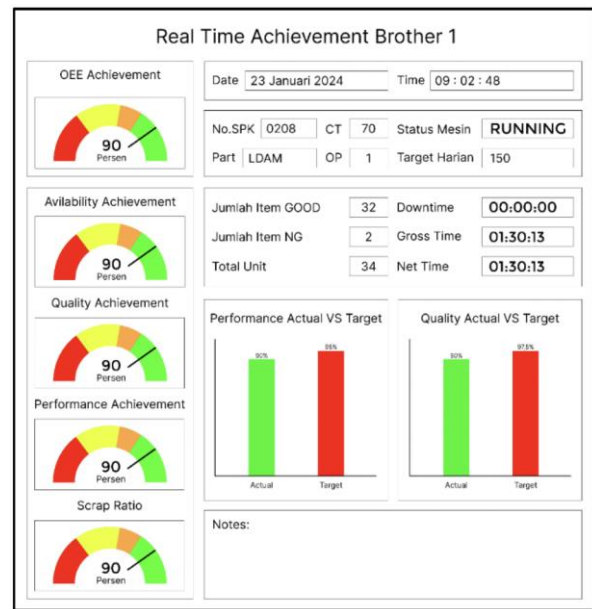
No.	Nama <i>Hardware/ Software</i>	Fungsi
1.	PLC Siemens LOGO! 230 RCE (1 unit)	Mikroprosesor untuk menerima data dari <i>push button</i> dan <i>selector switch</i> dan mengirimkan data tersebut ke komputer.
2.	<i>Push Button Flush</i> NO Hitam (2 unit)	<i>Analog input</i> untuk menjalankan fungsi <i>reset</i> pada sistem <i>dashboard</i> saat ditekan.
3.	<i>Push Button Flush</i> NO Kuning (2 unit)	<i>Analog input</i> untuk menjalankan fungsi <i>counter item</i> NG pada sistem <i>dashboard</i> saat ditekan.
4.	<i>Push Button Flush</i> NO Hijau (2 unit)	<i>Analog input</i> untuk menjalankan fungsi <i>counter item</i> GOOD pada sistem <i>dashboard</i> saat ditekan.
5.	<i>Selector Switch</i> 2 positions (2 unit)	<i>Analog input</i> untuk menjalankan fungsi <i>timer downtime</i> pada sistem <i>dashboard</i> saat di-switch.
6.	MCB 2P (1 unit)	Membatasi arus listrik dan mengamankan perangkat elektronik ketika beban arus listrik berlebih.
7.	<i>Legend Plate</i> (8 unit)	Pemberi nama/label pada <i>push button</i> dan <i>selector switch</i> .
8.	<i>Terminal Block</i> (3 unit)	Jalur penghubung antara beberapa kabel dan perangkat elektronik.
9.	<i>Push Button Enclosure</i> (2 unit)	Pelindung rangkaian listrik <i>push button</i> dan <i>selector switch</i> agar lebih aman dan terorganisir.
10.	Kabel <i>Power AC</i> (5 meter)	Kabel yang terdiri dari fasa, netral, dan <i>ground</i> untuk menyalurkan daya listrik AC ke perangkat elektronik.
11.	<i>Box</i> MCB (1 unit)	Pelindung dan pengaman PLC dan MCB dari lingkungan sekitar sekaligus sebagai tempat pendistribusian listrik.
12.	Kabel AWG 24 5 jalur (30 meter)	Penghubung PLC, MCB, <i>push button</i> , dan komponen elektronik lainnya agar saling terhubung satu sama lain.
13.	Kabel LAN STP Cat 5e (100 meter)	Jalur komunikasi data dari PLC ke komputer.
14.	<i>Switch HUB</i>	Perangkat yang menghubungkan komputer dengan perangkat elektronik lain dalam satu jaringan LAN.
15.	Mini PC	CPU atau komputer untuk menjalankan sistem <i>dashboard</i> .
16.	TV 50 Inch	<i>Display</i> atau <i>interface</i> untuk menampilkan <i>dashboard</i> .
17.	Kabel HDMI	Media penghubung antara komputer dan TV.
18.	<i>Mount Bracket</i> TV	Alat penyangga <i>display</i> ke dinding.
19.	Node-Red	<i>Software open source</i> untuk mengintegrasikan PLC ke komputer, membuat logika algoritma dan <i>syntax</i> fungsi untuk sistem <i>dashboard</i> , melakukan pemrosesan dan pengolahan data, dan menampilkan <i>dashboard</i> .
20.	LOGO! Soft Comfort V8.3	<i>Software</i> untuk memprogram, mengkonfigurasi dan menghubungkan PLC ke Node-Red dengan protokol komunikasi S7.
21.	Google Chrome	<i>Web browser</i> untuk mengakses Node-Red dan PHPMyAdmin yang berbasis web.
22.	Command Prompt	<i>Software</i> untuk mengaktifkan serta menjalankan Node-Red.
23.	XAMPP Control Panel	<i>Software</i> untuk mengaktifkan dan menghentikan <i>server web database</i> lokal.
24.	PHPMyAdmin	<i>Software</i> basis data SQL berbasis web untuk melakukan manajemen basis data dan sebagai <i>database</i> penyimpanan data hasil produksi.
25.	Remote-Red	<i>Software</i> yang memungkinkan <i>stakeholders</i> untuk mengakses Node-Red dan <i>dashboard</i> Node-Red secara <i>remote</i> melalui <i>smartphone</i> .

J. Pengujian dan Implementasi Sistem Dashboard

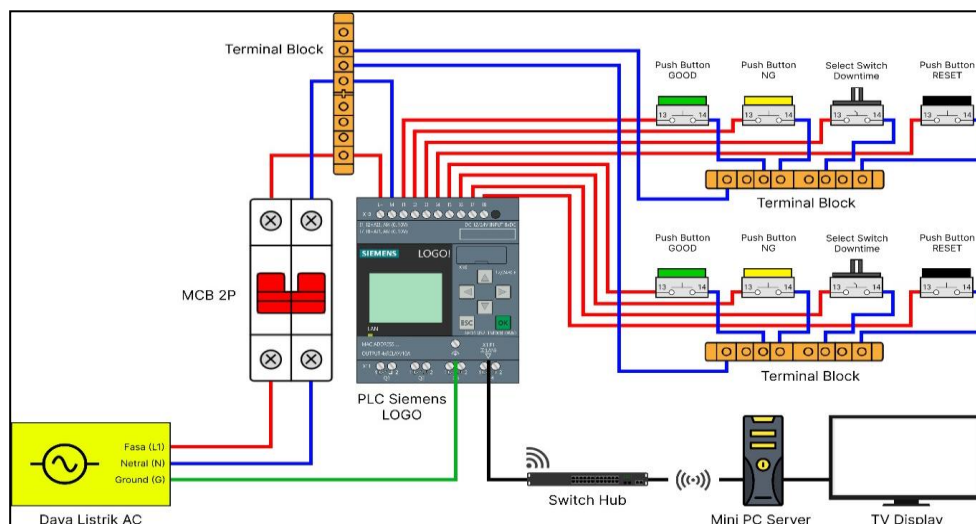
Pengujian sistem dashboard dilakukan dengan melakukan uji coba pada beberapa fungsi yang terdapat pada sistem secara mandiri. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem *dashboard* yang telah dirancang tidak terdapat *bug*, *error*, ataupun kesalahan dalam proses pengolahan data serta perhitungan KPI. Selanjutnya, pengumpulan *feedback stakeholders* dilakukan melalui *Focus Group Discussion* (FGD) yang melibatkan seluruh pihak manajerial dan juga pihak produksi. FGD yang dilakukan tidak hanya bertujuan untuk mendapatkan *feedback* saja, melainkan sekaligus menjelaskan kepada pihak manajerial dan juga pihak produksi mengenai prosedur penggunaan sistem *dashboard* tersebut. Dari kegiatan FGD tersebut, didapatkan beberapa *feedback* dari pihak manajerial dan juga pihak produksi mengenai sistem *dashboard* yang telah dirancang. Kemudian, perbaikan sistem *dashboard* dilakukan untuk memperbaiki kekurangan pada sistem *dashboard* yang telah dirancang berdasarkan *feedback* yang diterima dari pihak manajerial dan juga pihak produksi pada kegiatan FGD.



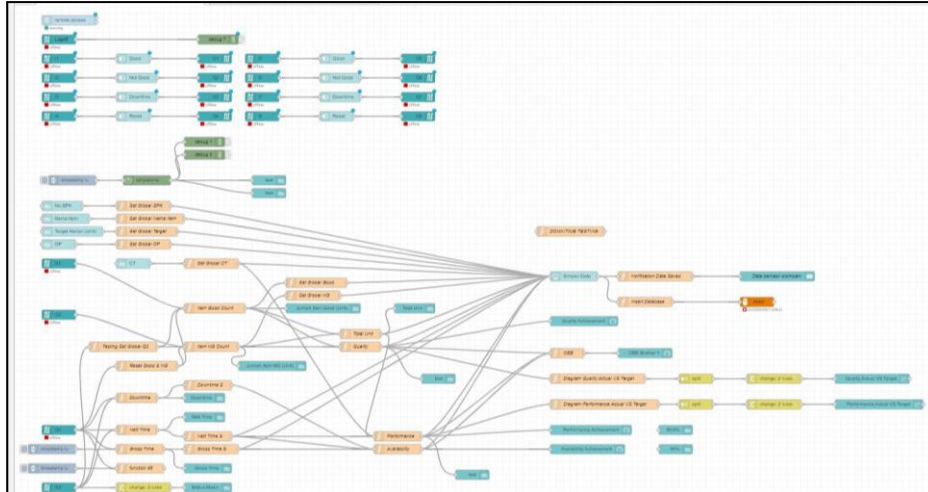
Gambar 2 Skema penempatan *hardware* sistem *dashboard*



Gambar 3 Rancangan tampilan UI *dashboard*



Gambar 4 Diagram skematik pengkabelan *hardware* sistem *dashboard*



Gambar 5 Cuplikan *flow* logika algoritma sistem *dashboard*

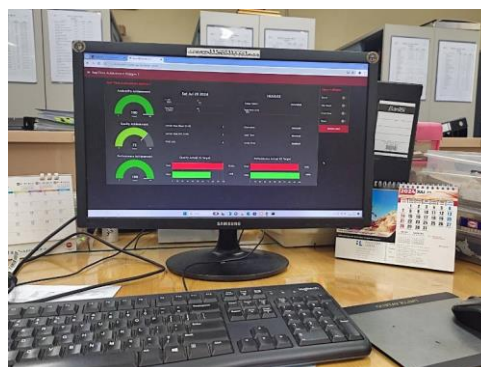
Implementasi sistem *dashboard* dilakukan setelah sistem *dashboard* diperbaiki. Proses implementasi sistem *dashboard* dimulai dengan memasang *box* MCB dan PLC pada dinding dekat meja *leader* departemen CNC. Setelah itu, PLC disambungkan ke *switch hub* dengan menggunakan kabel LAN. PLC yang telah terhubung dengan *switch hub* kini disambungkan dengan seluruh *push button* dan *selector switch* yang berada pada mesin Brother 1 dan Polygim 1. Gambar 6 dan Gambar 7 masing-masing menunjukkan peletakan *push button* dan *selector switch* pada mesin Polygim 1 dan juga Brother 1. Setelah seluruh *hardware* dipasang, Node-Red dijalankan pada *display* perusahaan sekaligus untuk memastikan apakah sistem *dashboard* masih dapat berjalan dengan baik atau tidak. Pada Gambar 8 dapat dilihat *display* yang menampilkan sistem *dashboard* yang sedang berjalan.



Gambar 6 Peletakan *analog input* pada mesin Polygim 1



Gambar 7 Peletakan *analog input* pada mesin Brother 1



Gambar 8 *Display* sistem *dashboard*

K. Analisis

Evaluasi sistem dashboard dilakukan dengan melakukan verifikasi dan validasi. Proses verifikasi terhadap sistem *dashboard* bertujuan untuk memastikan apakah rancangan sistem telah memenuhi kebutuhan fungsional maupun kebutuhan nonfungsional yang sebelumnya telah ditentukan. Terdapat kebutuhan fungsional yang tidak dapat terpenuhi oleh sistem *dashboard* yang telah dirancang, tepatnya pada bagian *control requirements*, yaitu sistem dapat menonaktifkan seluruh *push button* untuk sementara pada saat waktu istirahat dan sistem dapat menghentikan *stopwatch gross time, net time, dan downtime* untuk sementara pada saat waktu istirahat. Kedua kebutuhan fungsional tersebut tidak dapat dipenuhi karena keterbatasan jumlah *analog input* PLC sehingga tidak dapat ditambahkan *analog input* yang dapat menjalankan fungsi tersebut. Seluruh kebutuhan nonfungsional telah terpenuhi oleh sistem *dashboard* yang telah dirancang. Proses validasi terhadap sistem *dashboard* bertujuan untuk memastikan bahwa sistem *dashboard* yang telah dirancang telah mencapai objektif sistem yang telah ditentukan. Validasi dilakukan dengan memeriksa kesesuaian rancangan sistem *dashboard* terhadap objektif yang mendasari pembuatan sistem *dashboard*. Seluruh objektif sistem yang telah ditentukan berhasil terpenuhi.

Sistem *dashboard* yang telah dirancang tentunya memiliki kelebihan dan kelemahan. Kelebihan dari sistem *dashboard* yang telah dirancang diantaranya yaitu data dan informasi yang disajikan pada *dashboard* dapat terbaru secara *real-time*; *dashboard* dan sistem *dashboard* dapat diakses secara fleksibel melalui komputer maupun *smartphone* secara *remote*; sistem *dashboard* dapat dikembangkan dengan mudah; *dashboard* memiliki tampilan yang *user-friendly*; serta data yang tercatat dalam *dashboard* dapat disimpan dalam *database*. Selain kelebihan, terdapat beberapa kelemahan pada sistem *dashboard* yang telah dirancang. Kelemahan pada sistem *dashboard* yang diidentifikasi berdasarkan hasil evaluasi dari sistem *dashboard* beserta *feedback* yang diperoleh dari *stakeholders* diantaranya yaitu proses pengambilan data *item* GOOD maupun NG masih dilakukan secara manual; sistem tidak dapat mengidentifikasi secara langsung penyebab permasalahan pada mesin CNC; penyimpanan data ke *database* masih harus dilakukan secara manual; serta pengaturan UI/tampilan *dashboard* yang terbatas.

IV. KESIMPULAN

Sistem *dashboard* yang dapat menampilkan produktivitas mesin CNC secara *real-time* telah berhasil dirancang dengan menggunakan metode Vilarinho yang terdiri dari 4 tahap utama, yaitu tahap diagnosis area produktif, tahap perencanaan dan kebutuhan sistem, tahap pengembangan sistem, serta tahap implementasi dan perbaikan sistem. Sistem *dashboard* yang telah berhasil dirancang melibatkan penggunaan beberapa *hardware* seperti PLC, *push button*, dan *selector switch* yang terintegrasi secara langsung dengan *software* Node-Red sebagai *software* pemrograman sistem *dashboard* sekaligus sebagai *software* yang menampilkan *dashboard*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. A. Idehlu, Prof. S. Ahmed, and M. I. Noori, "Reviewing the Concepts of Productivity Management," *International Journal of Management and Humanities*, vol. 10, no. 8, pp. 1–8, Apr. 2024.
- [2] D. Wu, M. Tannen, J. Anyu, S. Ivanov, and F. Xu, "Contract manufacturing, market competition, and labor productivity in US manufacturing industries," *Oper Manag Res*, vol. 16, pp. 377–390, 2023.
- [3] R. Matheus, M. Janssen, and D. Maheshwari, "Data science empowering the public: Data-driven dashboards for transparent and accountable decision-making in smart cities," *Gov Inf Q*, vol. 37, no. 3, Jul. 2020.
- [4] H. Kerzner, *Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards*, 4th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2023.
- [5] J. Reinking, V. Arnold, and S. G. Sutton, "Synthesizing enterprise data through digital dashboards to strategically align performance: Why do operational managers use dashboards?," *International Journal of Accounting Information Systems*, vol. 37, Jun. 2020.
- [6] S. Vilarinho, I. Lopes, and S. Sousa, "Developing dashboards for SMEs to improve performance of productive equipment and processes," *J Ind Inf Integr*, vol. 12, pp. 13–22, Dec. 2018.
- [7] O. C. Chikwendu, A. S. Chima, and M. C. Edith, "The optimization of overall equipment effectiveness factors in a pharmaceutical company," *Heliyon*, vol. 6, no. 4, Apr. 2020.
- [8] J.-P. Dal Pont, *Process Engineering and Industrial Management*, 1st ed. Hoboken-London: Wiley-ISTE, 2012.
- [9] M. M. Schiraldi and M. Varisco, "Overall Equipment Effectiveness: consistency of ISO standard with literature," *Comput Ind Eng*, vol. 145, Jul. 2020.
- [10] C. Y. Chen, S. H. Wu, B. W. Huang, C. H. Huang, and C. F. Yang, "Web-based Internet of Things on environmental and lighting control and monitoring system using node-RED, MQTT and Modbus communications within embedded Linux platform," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 27, Oct. 2024.

Rancang Bangun Battery Pack Lithiu 144V/220Ah untuk Mobil Listrik

Egi Sunardi ^{1*)}, Maria Bestarina Laili ²⁾, Jelita Permatasari³⁾, Hanopa Abdul Hidayah⁴⁾, Diky Zakaria⁵⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro - Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. HS. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361

²⁾Hidtech Group

Kp tambakan, RT.01 RW01, Rancamanyar, Kec. Baleendah, Bandung 40375

³⁾Mekatronika dan Kecerdasan Buatan, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Veteran No.8, Nagri Kaler, Kec. Purwakarta, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat 41115

^{*)}Korespondensi : egi.sunardi@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi kendaraan listrik (Electric Vehicle/EV) semakin pesat dalam berbagai aspek, didorong oleh kebutuhan akan solusi transportasi yang ramah lingkungan dan efisien. Kendaraan listrik digerakkan oleh motor listrik, yang membutuhkan sumber energi berupa baterai yang disusun dalam bentuk battery pack. Battery pack adalah rangkaian sel baterai yang diatur secara seri dan paralel untuk memenuhi spesifikasi energi yang dibutuhkan oleh kendaraan listrik. Saat ini, baterai lithium dianggap sebagai pilihan terbaik untuk kendaraan listrik karena memiliki keunggulan dalam hal kepadatan energi dan biaya per siklus dibandingkan jenis baterai lainnya. Pada perancangan battery pack ini, spesifikasi kendaraan memerlukan tegangan 144V untuk menggerakkan motor listrik, dengan target penggunaan selama 5 jam, sehingga kapasitas yang dirancang adalah 220Ah. Baterai yang digunakan adalah jenis Lithium Ferro Phosphate (LFP) dengan spesifikasi 3.2V dan 22Ah. Berdasarkan perhitungan matematis, desain battery pack ini menggunakan 10 baterai pada rangkaian paralel dan 48 rangkaian seri untuk mencapai spesifikasi yang dibutuhkan. Perancangan juga mempertimbangkan ruang maksimum di dalam kendaraan, dengan battery pack dibagi menjadi dua bank yang ditempatkan di bagian depan dan belakang kendaraan untuk menjaga pusat gravitasi yang seimbang. Setelah perakitan, pengukuran tegangan menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang dicapai adalah 153,6 V. Pengujian dilakukan setelah baterai dipasang pada kendaraan, yang menunjukkan bahwa kendaraan dapat digunakan selama 19 jam dengan kuat arus rata-rata 11,5A. Maka dari hasil pengujian dapat dihitung kapasitas baterai sekitar 218.5Ah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa baterai tidak sepenuhnya sesuai dengan perhitungan teoritis, karena adanya faktor seperti karakteristik baterai dan kehilangan energi pada sistem kendaraan.

Kata kunci : Baterai Pak, Energi, Kapasitas, Kendaraan Listrik, Lithium, Seri Pararel,

Abstract

The development of electric vehicle (EV) technology is advancing rapidly in various aspects, driven by the need for environmentally friendly and efficient transportation solutions. Electric vehicles are powered by electric motors, which require an energy source in the form of a battery arranged into a battery pack. A battery pack consists of battery cells arranged in series and parallel to meet the energy specifications required by the electric vehicle. Currently, lithium batteries are considered the best choice for electric vehicles due to their advantages in energy density and cost per cycle compared to other types of batteries. In the design of this battery pack, the vehicle's specifications require a voltage of 144V to power the electric motor, with a target usage time of 5 hours, leading to a designed capacity of 220Ah. The battery used is a Lithium Ferro Phosphate (LFP) type with specifications of 3.2V and 22Ah. Based on mathematical calculations, the battery pack design utilizes 10 batteries in parallel and 48 in series to achieve the required specifications. The design also takes into account the maximum space inside the vehicle, with the battery pack divided into two banks placed in the front and rear of the vehicle to maintain a balanced center of gravity. After assembly, voltage measurements showed that the maximum voltage achieved was 153.6V. Testing was conducted after the batteries were installed in the vehicle, which showed that the vehicle could be operated for 19 hours with an average current of 11.5A. From the test results, the battery capacity was calculated to be approximately 218.5Ah. The test results indicate that the battery performance does not fully match the theoretical calculations, due to factors such as battery characteristics and energy losses in the vehicle system.

Keywords : Battery Pack, Energy, Capacity, Electric Vehicle, Lithium, Series Parallel

I. PENDAHULUAN

Info Makalah:

Dikirim : 05-25-2025;

Revisi 1 : 06-27-2025;

Revisi 2 : -

Diterima : 06-28-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +6281294118384

e-mail : egi.sunardi@ft.unsika.ac.id

Saat ini akibat dari isu pemanasan global dan lingkungan menyebabkan Masyarakat dunia lebih peka terhadap penggunaan energi ramah lingkungan dan efisien. Hal ini menyebabkan meningkatnya popularitas kendaraan Listrik atau Electric Vehicle (EV) untuk mengurangi ketergantungan akan bahan bakar fosil. Namun demikian EV sebelumnya sudah dikembangkan di abad ke-19 hanya saja tergeser oleh kendaraan pembakaran dalam (ICE) karena harga minyak yang rendah[1], [2]. Namun saat ini dengan kesadaran lingkungan dan didukung regulasi pemerintah serta perkembangan teknologi salah satunya perkembangan teknologi

baterai maka EV mulai dikembangkan dan digunakan[3].

EV sendiri merupakan kendaraan dengan sumber penggerak motor Listrik untuk memutarakan rodanya, yang memerlukan sumber energi Listrik yang disimpan pada media penyimpanan berupa baterai, lalu energi dikendalikan oleh controller agar dapat memutarakan motor dengan baik [4] Penggunaan motor listrik sebagai penggerak utama maupun penggerak tambahan pada kendaraan efektif untuk meningkatkan efisiensi energi pada kendaraan dan mengurangi dampak polusi udara [5] .

Kendaraan listrik membutuhkan baterai sebagai sumber tenaga utama untuk mengoperasikan motor listrik, sistem pencahayaan, klakson, serta berbagai perangkat elektronik lainnya. Baterai ini dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu baterai primer, yang dirancang untuk sekali pakai dan tidak dapat diisi ulang, dan baterai sekunder, yang memiliki kemampuan untuk digunakan berulang kali karena bisa diisi ulang. Baterai sekunder bekerja melalui reaksi elektrokimia, di mana proses reaksinya dapat dibalik (reversible), sehingga memungkinkan penyimpanan dan pengeluaran energi berulang kali selama siklus penggunaan baterai tersebut. Baterai sekunder menjadi pilihan utama dalam kendaraan listrik karena sifatnya yang efisien dan ramah lingkungan dalam jangka Panjang [5].

Dalam pengembangan sistem penyimpanan energi untuk kendaraan listrik, ada berbagai jenis baterai sekunder yang bisa digunakan, di antaranya: (1) Baterai Lead Acid (Aki), (2) Baterai Nickel-Metal Hydride (Ni-MH), (3) Baterai Nickel-Cadmium (Ni-Cd), (4) Baterai Lithium-ion (LIBs), (5) Baterai Lithium Polymer (Li-Po), dan Lithium Iron Phosphate Battery (LiFePO4)[5].

Penelitian ini, fokus diarahkan pada penggunaan baterai Lithium. Lithium merupakan jenis baterai yang paling layak digunakan untuk kendaraan listrik roda empat di Indonesia dibandingkan jenis baterai lain seperti *Nickel Metal Hydride* (NiMH) dan *Lead Acid*. Penilaian tersebut berdasarkan beberapa kriteria diantaranya kepadatan energi, emisi proses produksi, energi proses manufacturing, ketersediaan bahan baku kritikal, fasilitas daur ulang, serta biaya[6]. Secara spesifik Lithium Iron Phosphate (LiFePO4) Memiliki kelebihan dibandingkan jenis baterai lithium lainnya, termasuk stabilitas termal yang lebih baik, siklus hidup yang lebih panjang, serta tingkat keamanan yang lebih tinggi, menjadikannya pilihan yang ideal untuk kendaraan listrik. Meskipun demikian, seperti halnya baterai berbasis lithium lainnya, LiFePO4 tetap memiliki sensitivitas terhadap suhu dan membutuhkan pengelolaan temperatur yang baik[7]. Baterai ini banyak digunakan pada kendaraan listrik jenis mobil, termasuk electric vehicle (EV) dan hybrid electric vehicle (HEV), serta sistem penyimpanan energi (ESS). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan battery pack dengan spesifikasi sesuai kebutuhan kendaraan listrik, Dimana kebutuhan yang diperlukan adalah tegangan 144V dengan kapasitas 220Ah untuk mengoperasikan kendaraan listrik dengan penggerak Motor Listrik 20KW.

II. STUDI LITERATUR

Kendaraan listrik merupakan solusi masa depan yang semakin diminati untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Di Indonesia kendaraan Listrik mulai dikenal dan dikembangkan di tahun 2012 yang diprakarsai oleh Menteri BUMN. Salah satu tantangan utama dalam pengembangan kendaraan listrik, khususnya pada proses konversi dari kendaraan berbahan bakar bensin menjadi listrik, adalah penyediaan sistem penyimpanan energi yang sesuai dengan kebutuhan kendaraan. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem battery pack untuk berbagai jenis kendaraan listrik, tetapi masih ditemukan keterbatasan dalam hal kesesuaian dimensi baterai

dengan ruang kendaraan, efisiensi pengisian dan pemakaian energi, serta optimalisasi konfigurasi rangkaian baterai dalam sistem.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun battery pack lithium dengan tegangan 144V dan kapasitas 220Ah yang tidak hanya sesuai dengan kebutuhan daya motor listrik 20kW, tetapi juga menyesuaikan dengan keterbatasan ruang pada kendaraan hasil konversi. Perancangan ini diharapkan mampu menghasilkan konfigurasi battery pack yang optimal baik dari sisi performa kelistrikan maupun keamanan penggunaan. Penelitian ini juga melakukan pengujian terhadap hasil perancangan untuk mengevaluasi kesesuaian kapasitas aktual dengan perhitungan teoritis, sekaligus memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem penyimpanan energi yang efisien dan aplikatif pada kendaraan listrik.

III. METODE

A. Road Map Penelitian

Road Map penelitian ini memiliki tujuan akhir yaitu perancangan Konversi kendaraan dengan bahan bakar bensin menjadi kendaraan listrik.



Gambar 1 Road Map Penelitian Konversi Kendaraan Listrik

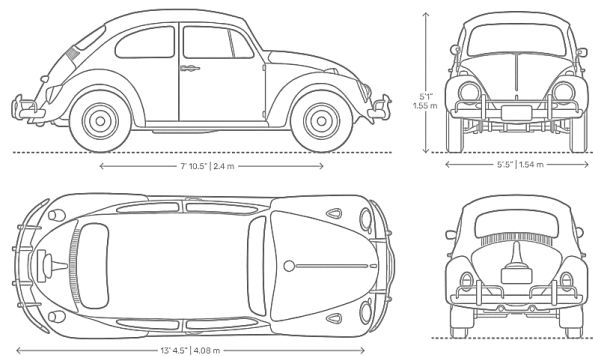
Berdasarkan Road Map tersebut, penelitian ini terletak pada Perancangan Battery Pack, dimana perancangan ini bertujuan untuk memenuhi spesifikasi kebutuhan energy pada kendaraan dan sesuai dengan dimensi yang tersedia pada kendaraan dan project dengan hasil akhir berupa Rancang bangun Mobil Listrik 20kw 144 VDC, dengan kebutuhan battery pack untuk memenuhi energy yang diperlukan kendaraan listrik tersebut maka penelitian ini berjudul “Rancang Bangun Battery Pack Lithium 144V/220Ah Untuk Mobil Listrik”. Maka luaran dari penelitian ini berupa battery pack untuk digunakan pada Mobil Listrik sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan yaitu 144V/220Ah.

- 1) Basic Kendaraan
- 2) Jenis Baterai

Basic Kendaraan ini adalah Volkswagen Beetle Tipe 1 memiliki ruang mesin di bagian belakang kendaraan, dengan rincian dimensi kendaraan pada tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1 Spesifikasi kendaraan

Parameter	Nilai
Panjang	13' 4,5" (4,08 m),
Jarak Sumbu Roda	7' 10,5" (2,4 m),
Lebar	5' .5" (1,54 m),
Tinggi	5'1" (1,55 m).
Berat	800Kg



Gambar 2 Dimensi Basic Kendaraan Listrik Volkswagen Beetle Tipe 1[8].

Tabel 1 menampilkan dimensi utama kendaraan dasar yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Volkswagen Beetle Tipe 1. Dimensi tersebut menjadi acuan penting dalam menentukan ukuran dan tata letak battery pack yang akan dirancang. Kendaraan ini memiliki ruang mesin di bagian belakang dan struktur sasis yang relatif kompak, sehingga menuntut perancangan battery pack yang efisien dan presisi agar tidak mengganggu kestabilan kendaraan. Gambar 1 memberikan visualisasi terhadap dimensi kendaraan tersebut, yang memperkuat pemahaman akan keterbatasan ruang yang tersedia, terutama dalam perencanaan penempatan dua bank baterai secara terpisah di bagian depan dan belakang kendaraan untuk menjaga keseimbangan distribusi massa. Informasi ini menjadi dasar penting dalam menentukan desain fisik battery pack yang sesuai dengan spesifikasi teknis dan kebutuhan ruang kendaraan hasil konversi.

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa untuk merancang dan membangun battery pack lithium 144V/220Ah yang sesuai dengan kebutuhan kendaraan listrik hasil konversi. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

- 1) Identifikasi Kebutuhan Energi Kendaraan
Menganalisis spesifikasi teknis kendaraan listrik, termasuk motor listrik 20kW dan durasi operasi 5 jam, untuk menentukan kebutuhan tegangan dan kapasitas baterai.
- 2) Perancangan Konfigurasi Battery Pack
Menentukan jenis sel baterai yang digunakan (LiFePO4 3.2V/22Ah), kemudian menghitung jumlah rangkaian seri dan paralel untuk mencapai spesifikasi 144V dan 220Ah. Pertimbangan desain juga meliputi efisiensi ruang, kestabilan tegangan, dan pusat gravitasi kendaraan.
- 3) Proses Perakitan dan Integrasi
Merakit 480 sel baterai ke dalam dua bank, masing-masing terdiri dari 24 seri dan 10 paralel, dilengkapi dengan sistem manajemen baterai (BMS) 24S 350A pada setiap bank. Koneksi antarsel menggunakan busbar tembaga sesuai kebutuhan arus.
- 4) Pengujian Kinerja Battery Pack
Melakukan pengujian discharging dan charging untuk mengevaluasi tegangan, arus, dan kapasitas aktual battery pack selama digunakan pada kendaraan. Data pengujian dikumpulkan dengan interval 30 menit.
- 5) Analisis Data Hasil Pengujian
Membandingkan hasil pengujian aktual dengan perhitungan teoritis untuk menilai efektivitas desain serta mengidentifikasi penyimpangan yang terjadi akibat faktor teknis seperti resistansi internal sel dan distribusi beban.

B. Perancangan Battery Pack

Dalam rangka memenuhi kebutuhan spesifikasi 144V/220Ah, battery pack ini dirancang dengan cell baterai LifePO4 3.2V 22Ah.



Gambar 3 cell baterai LiFePO4 3.2V 22Ah

Tabel 2 Spesifikasi Baterai Lifepo4

Parameter	Nilai Besaran
Model	LiFePO4 3.2V 22Ah
Rated Capacity	22 Ah
Max Discharge Current	110 A
Cut-off Discharge Current	220 A
Nominal Voltage	3.2 V
Max Instant Discharge Current	220 A
Max Charge Voltage	3.65 V
AC Impedance Resistance	$\leq 3.0\text{m}\Omega$
Charging Temperature	0 - 45 ° C
Discharging Temperature	-20 - 60 ° C
Weight	570 $\pm$ 10g
Size	178 x 46mm

Dengan memanfaatkan rangkaian serie-pararel, Dimana Ketika baterai dirangkai secara series akan bertambah tegangannya (V) dan Ketika baterai dirangkai secara pararel akan bertambah kapasitasnya (Ah)[9].

Untuk memenuhi kebutuhan tegangan (V) maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$V_{bp} = V_c \cdot x \quad (1)$$

$$144V = 3.2V \cdot x$$

$$x = \frac{144V}{3.2V}$$

$$x = 45$$

Dimana :

V_{bp} = Tegangan Battery Pack

V_c = Tegangan Cell Baterai

x = jumlah rangkaian series

Untuk memenuhi kebutuhan kapasitas (Ah) maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$Ah_{bp} = Ah_c \cdot y \quad (2)$$

$$220Ah = 22Ah \cdot y$$

$$y = \frac{220Ah}{22Ah}$$

$$y = 10$$

Dimana :

Ah_{bp} = Tegangan Battery Pack

Ah_c = Tegangan Cell Baterai

y = jumlah baterai pada rangkaian pararel

berdasarkan perhitungan tersebut untuk memenuhi spesifikasi kendaraan dibutuhkan 10 baterai pada tiap rangkaian paralel dan 45 rangkaian paralel yang diserikan.

Namun, ada beberapa hal yang harus diperhitungkan antara lain :

1) Overhead tegangan (Voltage Headroom)

Tujuan menjaga tegangan stabil: Menambahkan beberapa sel ekstra dalam rangkaian seri dapat memberikan tegangan tambahan yang berguna untuk memastikan tegangan sistem tetap stabil selama siklus pengosongan. Dengan 48 sel, tegangan nominal sistem akan menjadi sekitar 153.6V ($48 \times 3.2V$), memberikan buffer terhadap penurunan tegangan karena beban atau penurunan kapasitas baterai seiring waktu.

2) Degradasi Baterai terhadap waktu

Menambahkan lebih banyak sel dalam rangkaian seri memberi margin ekstra untuk mengkompensasi penurunan tegangan di masa depan, sehingga umur pakai baterai secara keseluruhan bisa lebih lama sebelum performanya turun di bawah standar yang dapat diterima.

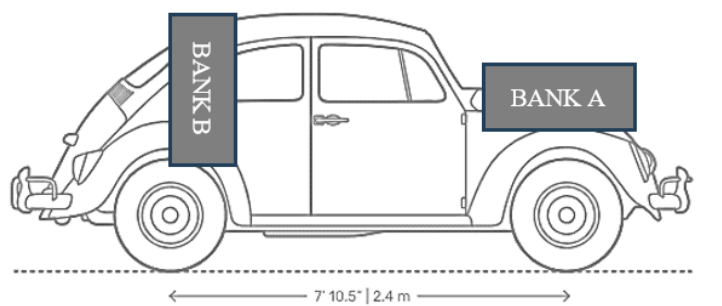
3) Cell Balancing

Meminimalkan efek dari sel yang performanya lebih rendah, sehingga sistem secara keseluruhan masih bisa berfungsi dengan baik meskipun ada sedikit perbedaan antar sel.

4) Keamanan dan Perlindungan baterai

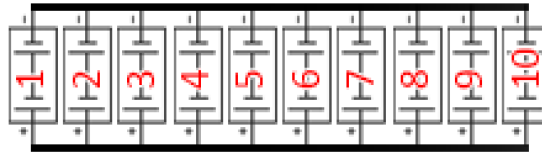
BMS (Battery Management System) pada kendaraan listrik sering kali memiliki proteksi terhadap tegangan rendah. Dengan menggunakan lebih banyak sel dalam seri, memastikan bahwa sistem tidak mencapai batas tegangan minimum terlalu cepat, yang dapat memperpanjang waktu operasi sebelum BMS mematikan sistem untuk melindungi baterai.

Selain dari menyesuaikan kebutuhan spesifikasi, baterai pack juga menyesuaikan dimensi dan ketersediaan ruang di kendaraan. Dimana dalam hasil observasi ketersediaan ruang maka perancangan baterai pack akan dibagi menjadi dua bank baterai. Bank pertama akan disimpan pada bagian depan mobil atau bagasi mobil, dan bank kedua akan disimpan pada belakang jok penumpang. Selain dari menyesuaikan ketersediaan ruang, perancangan ini juga akan berdampak baik pada Center of Gravity kendaraan yang akan lebih seimbang dimandingkan jika disimpan di salah satu bagian, khususnya jika disimpan di Tengah.

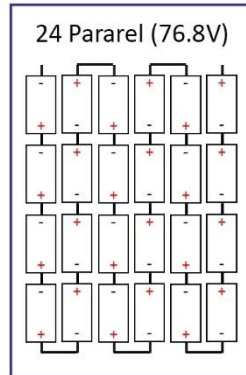


Gambar 4 perancangan bank baterai pack berdasarkan ketersediaan ruang

Berdasarkan beberapa hal yang menjadi pertimbangan, maka baterai pack ini akan ditambah 3 rangkaian serie. Maka secara keseluruhan rancangan baterai pack ini akan terbagi kedalam 2 bank baterai, Dimana setiap bank memiliki 24 rangkaian serie, dan tiap rangkaian serie terdapat 10 baterai yang dipararelkan, maka total cell yang dibutuhkan adalah 480 cell baterai LiFePo4.

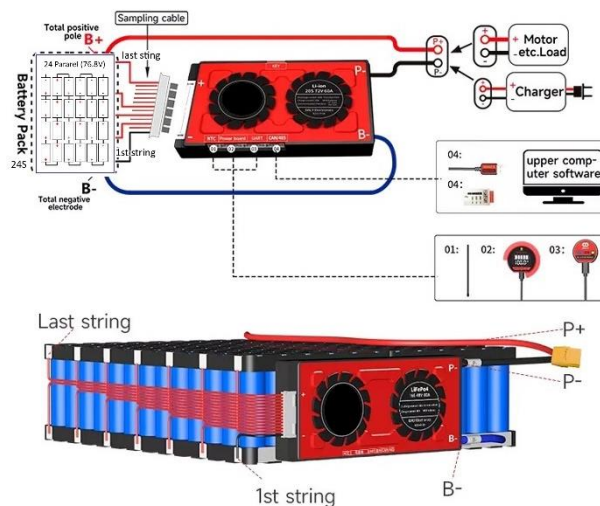


Gambar 5 rangkaian paralel dengan 10 cell baterai 220Ah



Gambar 6 rangkaian serie pada bank baterai

Setiap bank dilengkapi dengan Baterai Management System (BMS) dengan kapasitas 24S 350A untuk mengkontrol dan memonitoring kondisi baterai dan akan dihubungkan secara serie untuk kedua bank baterai tersebut.



Gambar 7 rangkaian BMS pada setiap bank baterai

1. Pengisian Baterai

Charger merupakan alat Pengisian baterai untuk mengisi daya pada baterai dengan mengalirkan arus melaluinya. Sistem Pengisian baterai yang digunakan adalah dengan Constant Current Constant Voltage (CCCV). Selama pengisian baterai akan diisi pada arus maksimum berdasarkan kapasitas baterai, setelah tegangan mencapai tegangan pengisian maksimum, tahap CV dimulai sehingga arus pengisian mulai berkurang. LiFePO4 memiliki toleransi terhadap protokol fast charging[10]. Sehingga Sistem Charging untuk kendaraan listrik ini akan menggunakan tegangan 144V dan Arus 22Ah. maka jika dikalkulasikan lama pengisian baterai adalah

$$\frac{220Ah}{22Ah} = 10jam \quad (3)$$

Maximum waktu pengisian baterai yang diperlukan adalah 10 jam

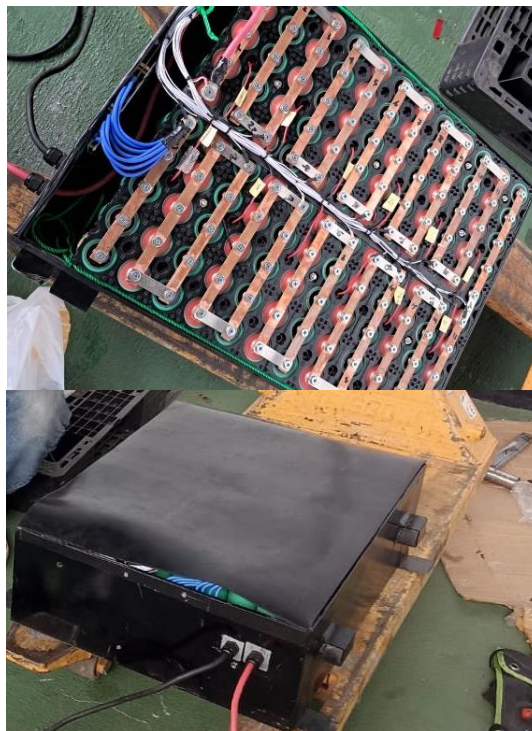
IV. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil

Setelah pengkabelan BMS, selanjutnya pengepakan pada casing battery pack yang dibuat secara custom berdasarkan dimensi baterai dan ruang yang tersedia pada mobil.



Gambar 8 bank B battery pack (bagian belakang)



Gambar 9 bank A battery pack (bagian depan)

Setelah baterai selesai dipasang pada kendaraan listrik, dan diuji coba sampai bisa dijalankan dengan baik, maka untuk battery pack dilakukan pengujian discharging battery pack. Pengujian dilakukan pada saat mobil berjalan serta battery pack terukur 153.6 V dengan kuat arus 138A.

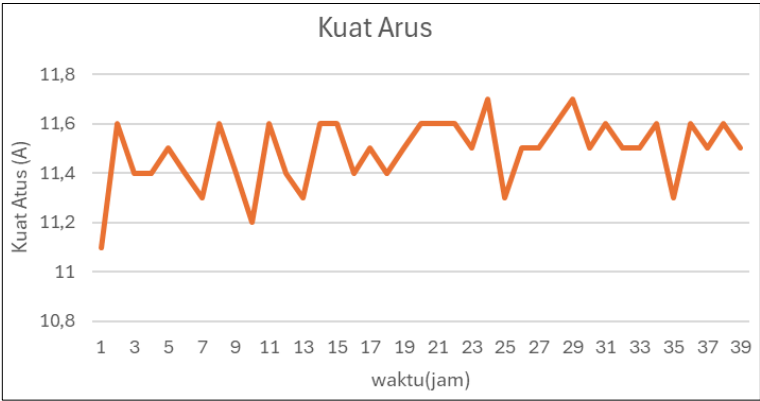
Rancang Bangun Battery Pack Lithiu 144V/220Ah untuk Mobil Listrik
(Egi Sunardi, Maria Bestarina Laili, Jelita Permatasari, Hanopa Abdul Hidayah, Diky Zakaria: Halaman 11 - 22)

pengukuran proses discharging dilakukan secara berkala dengan interval waktu 30 menit. Proses berlangsung selama 20 jam pemakaian kendaraan, data yang diambil setiap 30 menit ditampilkan pada table 2.

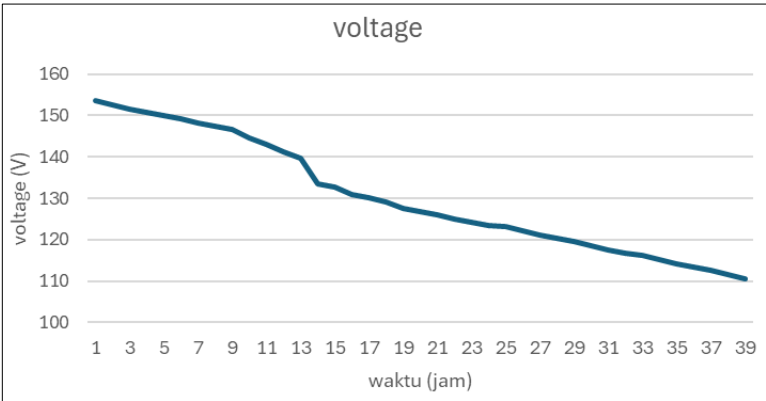
Tabel 3 Data Proses Discharging Battery Pack

Durasi(jam)	Kecepatan(rpm)	Voltase(V)	Arus(A)
0	5122	153,6	11,1
0,5	5111	152,6	11,6
1	5141	151,6	11,4
1,5	4504	150,8	11,4
2	5122	150,1	11,5
2,5	4120	149,1	11,4
3	4157	148,1	11,3
3,5	5095	147,3	11,6
4	5087	146,6	11,4
4,5	4111	144,6	11,2
5	5122	143,1	11,6
5,5	5090	141,3	11,4
6	5008	139,6	11,3
6,5	5900	133,6	11,6
7	5095	132,6	11,6
7,5	4130	130,8	11,4
8	4569	130,1	11,5
8,5	5087	129,1	11,4
9	5900	127,6	11,5

9,5	5122	126,8	11,6
10	4796	126,1	11,6
10,5	5008	125,1	11,6
11	4789	124,1	11,5
11,5	5095	123,3	11,7
12	4990	123,1	11,3
12,5	5567	122,1	11,5
13	5658	121,1	11,5
13,5	5122	120,3	11,6
14	4547	119,6	11,7
14,5	4796	118,6	11,5
15	4208	117,6	11,6
15,5	5995	116,8	11,5
16	5257	116,1	11,5
16,5	4796	115,1	11,6
17	5006	114,1	11,3
17,5	4872	113,3	11,6
18	4796	112,6	11,5
18,5	5122	111,6	11,6
19	4477	110,6	11,5
rata-rata	4961	130,2615	11,487



Gambar 10 Grafik kuat arus saat discharging battery pack

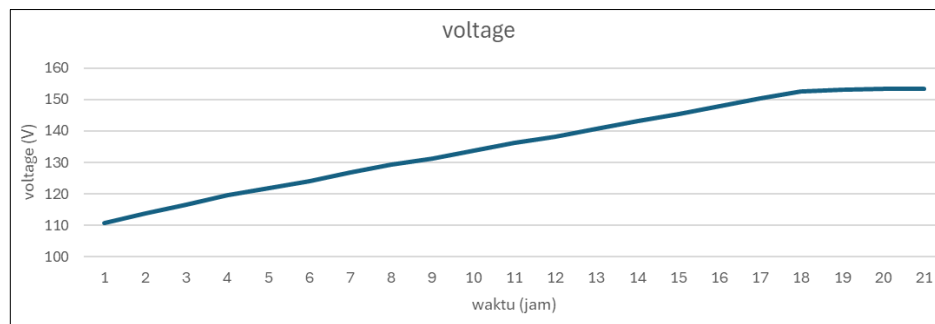


Gambar 11 grafik tegangan saat discharging battery pack

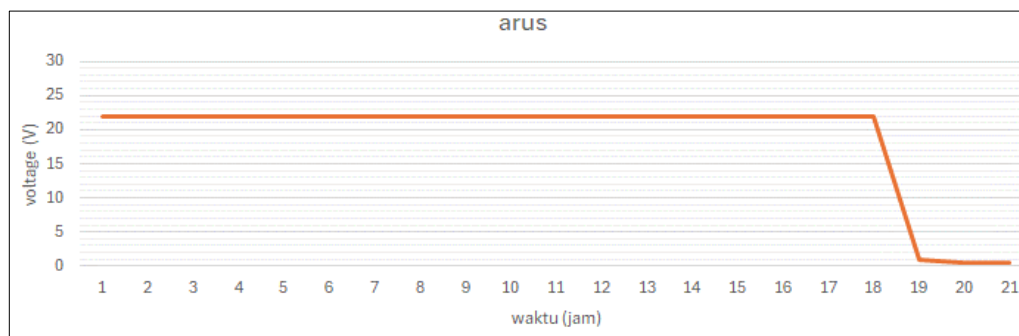
Selain mengukur discharge, dilakukan juga pengukuran charging pada battery pack. Pengukuran dilakukan saat baterai pack terpasang di mobil dimana total waktu pengisian daya berlangsung selama kurang lebih 10 jam sesuai dengan perhitungan matematis saat perancangan. dilakukan pengukuran secara manual dalam interval waktu setiap 30 menit. Berikut ini adalah data pengukuran charging pada battery pack yang ditampilkan pada table 3.

TABEL 3
DATA PROSES CHARGING BATTERY PACK

Durasi(jam)	Voltase(V)	Arus(A)
0	110,8	22
0,5	113,8	22
1	116,7	22
1,5	119,6	22
2	121,8	22
2,5	124,1	22
3	126,9	22
3,5	129,2	22
4	131,4	22
4,5	133,7	22
5	136,2	22
5,5	138,3	22
6	140,7	22
6,5	143,2	22
7	145,4	22
7,5	147,9	22
8	150,4	22
8,5	152,6	22
9	153	0,9
9,5	153,3	0,6
10	153,5	0,5



Gambar 12 grafik tegangan saat charging battery pack



Gambar 13 grafik arus saat charging battery pack

B. Pembahasan

Secara umum, satu battery pack idealnya dikendalikan oleh satu BMS (Battery Management System) dengan jumlah kanal sesuai konfigurasi sel seri. Namun, karena keterbatasan ketersediaan BMS 48S di pasaran dan mempertimbangkan efisiensi waktu pelaksanaan, maka dipilih solusi teknis menggunakan dua BMS 24S, masing-masing mengelola satu bank baterai. Pemisahan ini mempermudah proses pengkabelan dan tata letak BMS karena setiap unit hanya mengelola satu bagian yang lebih kecil.

Dari sisi kelebihan, konfigurasi dua BMS memberikan keuntungan dalam hal:

- 1) Efisiensi Penempatan dan Instalasi: Dimensi dan jumlah kabel yang dibutuhkan lebih mudah ditata.

- 2) Pemantauan Lebih Lokal: Setiap bank memiliki pengawasan tegangan, arus, dan suhu secara mandiri.
- 3) Sistem Proteksi Terdistribusi: Proteksi terhadap over-voltage, under-voltage, dan over-temperature bisa terjadi pada masing-masing bank secara independen.

Namun demikian, penggunaan dua BMS juga memiliki beberapa tantangan teknis, di antaranya:

- 1) Ketidakseimbangan Beban Antar Bank: Saat beban tidak simetris, bank yang lebih dekat secara fisik ke beban akan menghantarkan arus lebih besar, berpotensi mempercepat degradasi sel di bank tersebut.
- 2) Kesulitan Balancing Total: BMS hanya melakukan balancing di dalam bank, sehingga antar bank tidak ada mekanisme penyamaan otomatis jika terjadi selisih kapasitas.
- 3) Ketergantungan pada Active Balancing: Dalam skenario beban lonjakan mendadak atau drop short, sistem sangat bergantung pada kemampuan balancing aktif dari masing-masing BMS untuk mempertahankan stabilitas sistem.

Sampai tahap ini, belum dilakukan pengujian kuantitatif untuk membandingkan performa antara konfigurasi dua BMS 24S dengan satu BMS 48S. Oleh karena itu, pengujian lanjutan diperlukan untuk menilai distribusi arus, efisiensi pengisian dan pemakaian energi, serta tingkat keausan sel pada kedua bank secara terpisah. Analisis komparatif dari aspek biaya, efisiensi manajemen termal, dan keselamatan juga akan sangat membantu dalam menentukan konfigurasi yang paling optimal untuk digunakan di kendaraan listrik jenis konversi.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan utama, yaitu merancang dan membangun battery pack Lithium LiFePO₄ dengan spesifikasi 144V/220Ah untuk kendaraan listrik, dengan konfigurasi 2 bank baterai masing-masing 24 seri dan 10 paralel serta dilengkapi BMS 24S. Hasil pengujian menunjukkan bahwa battery pack mampu digunakan selama 19 jam dengan arus rata-rata 11,5A, sehingga kapasitas aktual mencapai 218,5Ah atau hanya berbeda 1,5Ah dari nilai rancangannya. Waktu pengisian daya juga sesuai perhitungan, yaitu sekitar 10 jam. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan dilakukan evaluasi lebih lanjut terhadap kestabilan distribusi arus antar bank serta pengaruh konfigurasi BMS ganda terhadap performa jangka panjang dan keamanan sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua yang terlibat pada makalah ini, Universitas Singaperbangsa Karawang, Universitas Pendidikan Indonesia dan Hidtech Group. Atas kerjasama semua pihak hasil penelitian dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Pandya and A. Agrawal, "A Detailed Study on Electric Vehicles," 2021. [Online]. Available: www.ijert.org
- [2] E. Sunardi, H. Hindersah, A. S. Rohman, and D. Zakaria, "Compensator Design for Power Loss Reduction on IGBT Switching," in *ICCoSITE 2023 - International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering: Digital Transformation Strategy in Facing the VUCA and TUNA Era*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 100–105. doi: 10.1109/ICCoSITE57641.2023.10127822.
- [3] V. Tulus and P. Sidabutar, "Kajian pengembangan kendaraan listrik di Indonesia: prospek dan hambatannya," 2020.
- [4] D. Zakaria, H. Hindersah, A. Syaichu-Rohman, and A. G. Abdullah, "PI and PI Antiwindup Speed Control of Switched Reluctance Motor (SRM)," in *Proceedings - 2021 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application: Intelligent Systems for the New Normal Era, ISITIA 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2021, pp. 46–51. doi: 10.1109/ISITIA52817.2021.9502255.

- [5] D. A. Seno, "Rancang Bangun Battery Packlithium 48 V 50 Ah," *Jurnal Pendidikan Sains dan Komputer*, vol. 2, no. 2, pp. 2809–476, 2022, doi: 10.47709/jpsk.v2i2.1740.
- [6] R. I. Sulistyowati, D. W. Karmiadi, L. Ode, and M. Firman, "Studi Kelayakan Jenis Baterai Kendaraan Listrik Roda Empat Dengan Metode Weigthed Objective Untuk Program Kendaraan Listrik Di Indonesia."
- [7] M. Khabibul, A. Rachmanto, L. T. Wibowo, and T. Paramitha, "Review : Metode Sintesis Katoda LiFePO₄ Baterai Lithium-Ion," 2019. [Online]. Available: <http://equilibrium.ft.uns.ac.id>
- [8] Bryn, "Volkswagen Beetle Type 1." Accessed: Sep. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.dimensions.com/element/volkswagen-beetle-type-1>
- [9] I. Ashari and A. Faisol, "The Analysis Of Voltage Optimization System With Pararel Series Arranger In Solar Cell," *JEEMECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science)*, vol. 3, no. 2, Aug. 2020, doi: 10.26905/jeemecs.v3i2.4731.
- [10] M. Aryo Pradhana, T. Andromeda, and D. Y. Christyono, "PENGISI DAYA BATERAI LiFePO₄ SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA SEPEDA LISTRIK." [Online]. Available: <http://ejournal3.undip>.

Prototype Aplikasi Sistem Akses Terintegrasi dengan Kartu RFID dan Pengenalan Wajah Berbasis Mikrokontroler Esp32

Ni Ketut Hariyawati Dharmi ^{1*)}, Muhammad Rafii Satrio²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro

Universitas Jenderal Achmad Yani

Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

^{*)}Korespondensi: niketuthd@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Sistem akses telah meningkatkan keamanan bangunan, tetapi banyak perangkatnya masih mahal dan bergantung pada produk asing. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi absensi karyawan yang menggabungkan pengenalan wajah berbasis metode *siamese network* dengan RFID untuk autentifikasi dua tahap. Aplikasi ini dirancang untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi, memungkinkan pemantauan dan pendataan akses karyawan secara *real-time* tanpa perlu tambahan perangkat keras saat ada penambahan *node*. Penelitian ini merancang sistem akses berbasis RFID dan pengenalan wajah dengan metode *siamese network*. Sistem terdiri dari *node* RFID, *base station*, *WiFi access point*, *web dashboard*, dan *database*. *Node* membaca UID RFID, mengirim data ke *base station* untuk verifikasi. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 dan terintegrasi dengan web server Next.js untuk memantau serta mengelola data absensi karyawan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa RFID dapat membaca kartu RFID dengan rentang jarak pembacaan berkisar 0 – 10 cm. Komunikasi esp – now dapat melakukan transfer data dengan rentang waktu 0 – 341 ms dan dengan rentang jarak antar mikrokontroler 50 – 400 cm tanpa antena eksternal. Protokol komunikasi http memiliki kecepatan transfer data ± 700 ms pada kecepatan internet *download/upload* 10.5/5.41 Mbps. Pengenalan wajah berhasil dengan model *siamese network* memiliki rata – rata *threshold* 0.736 dari 0.5 untuk pada berbagai kondisi pencahayaan dan jarak.

Kata kunci: Mikrokontroler, RFID, UID, *Siamese Network*

Abstract

Building access systems have enhanced security but often rely on costly foreign products. This research aims to develop an employee attendance application that integrates facial recognition using the Siamese network method with RFID for dual authentication. Designed to improve security and efficiency, the application allows for real-time monitoring and data collection of employee access without requiring additional hardware when expanding the system. The study designs an access system based on RFID and facial recognition with the Siamese network method. The system includes RFID nodes, a base station, a WiFi access point, a web dashboard, and a database. The RFID nodes read UID data, which is sent to the base station for verification. The system uses the ESP32 microcontroller and is integrated with a Next.js web server to monitor and manage employee attendance data. The test results indicate that the RFID can read RFID cards within a reading range of approximately 0 to 10 cm. The ESP-NOW communication can transfer data within a time range of 0 to 341 ms and a distance range of 50 to 400 cm between microcontrollers without using an external antenna. The HTTP communication protocol has a data transfer speed of approximately 700 ms with an internet download/upload speed of 10.5/5.41 Mbps. Facial recognition using the Siamese network model achieved an average threshold of 0.736 out of 0.5 under various lighting conditions and distances.

Keywords: Microcontroller, RFID, UID, *Siamese Network*

I. PENDAHULUAN

Sistem akses merupakan salah satu dari bentuk perkembangan teknologi di bidang keamanan bangunan (*security building*). Perkembangan ini membuat sebuah bangunan khususnya bangunan kegiatan sipil (sekolah, perkantoran, pemerintahan, rumah sewa) menjadi lebih aman karena telah terpasang sistem

Info Makalah:

Dikirim : 05-26-2025;
Revisi 1 : 06-25-2025;
Revisi 2 : -
Diterima : 06-28-2025

Penulis Korespondensi:

Telp : +6285974992595
e-mail :
niketuthd@lecture.unjani.ac.id

akses yang dapat memantau dan mendata akses bagi setiap orang yang memasuki gedung, termasuk setiap pintu akses di dalam gedung tersebut. Saat ini mayoritas gedung perkantoran atau gedung pemerintahan sudah menggunakan sistem akses namun produk atau perangkat sistem aksesnya berasal dari asing.

Karena produk asing memiliki harga yang relatif tinggi sehingga banyak bangunan sipil yang belum menggunakan sistem akses ini. Selain hal yang telah disebutkan di atas, saat ini sistem akses komersil yang digunakan di gedung perkantoran masih menggunakan RFID tanpa pengenalan wajah

sebagai kode akses bagi setiap *user* yang mengakses gedung. Penelitian yang sudah dilakukan diantaranya adalah Sistem Manajemen Kehadiran Menggunakan Metode *Face Recognition* Berbasis Web [1], Sistem Deteksi Wajah untuk Absensi dan Akses Masuk Ruangan [2], dan Sistem Absensi Karyawan Menggunakan *Radio Frequency Identification* (RFID) Berbasis Mikrokontroler pada PT. Sarah Cell Telkomsel Soppeng [3].

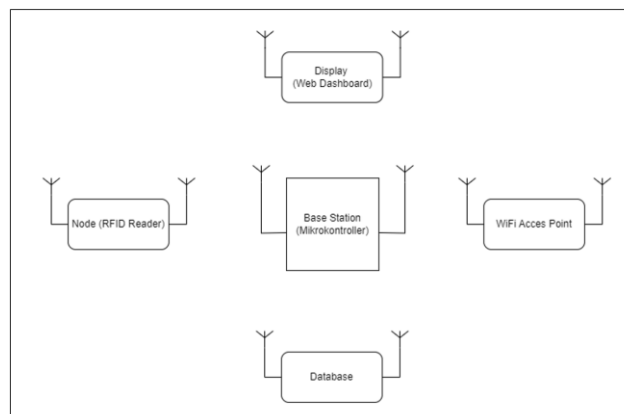
Pada solusi yang pertama, menggunakan mikrokontroler dengan kamera yang terintegrasi dengan menggunakan algoritma pengenalan wajah *Eigenface* hal ini mengakibatkan kualitas kamera terbatas pada *hardware* yang terpasang serta jumlah kamera akan bertambah seiring bertambahnya jumlah *node*. Selain itu membutuhkan waktu kurang lebih 35 detik untuk proses verifikasi data wajah yang ter-input. Pada solusi kedua, masih sama seperti solusi pertama yakni menggunakan mikrokontroler dengan kamera terintegrasi akan tetapi menggunakan algoritma dari *library* bawaan mikrokontroler di mana algoritma ini merupakan algoritma yang lebih sederhana dibandingkan solusi pertama. Sedangkan pada solusi ketiga, tidak ada verifikasi pengenalan wajah dan hanya menggunakan RFID saja sebagai alat untuk mevalidasi karyawan, solusi ketiga ini merupakan solusi yang paling sederhana dari penelitian sebelum – sebelumnya.

Oleh karena itu penelitian ini akan membuat sebuah aplikasi absensi karyawan dengan menggunakan web *server* sebagai *interface management* absensi, *library* OpenCV dengan metode *siamese network* [4] untuk pengenalan wajah serta dilengkapi dengan pembacaan RFID sehingga karyawan memerlukan autentifikasi secara dua tahap untuk melakukan absensi. Selain itu kelebihan aplikasi ini menggunakan kamera *device* yang mengakses web sehingga tidak diperlukan *hardware* tambahan ketika ada penambahan *node*.

II. METODE

A. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem (Gambar 1) menunjukkan cara kerja keseluruhan dari sistem yang akan dibuat.



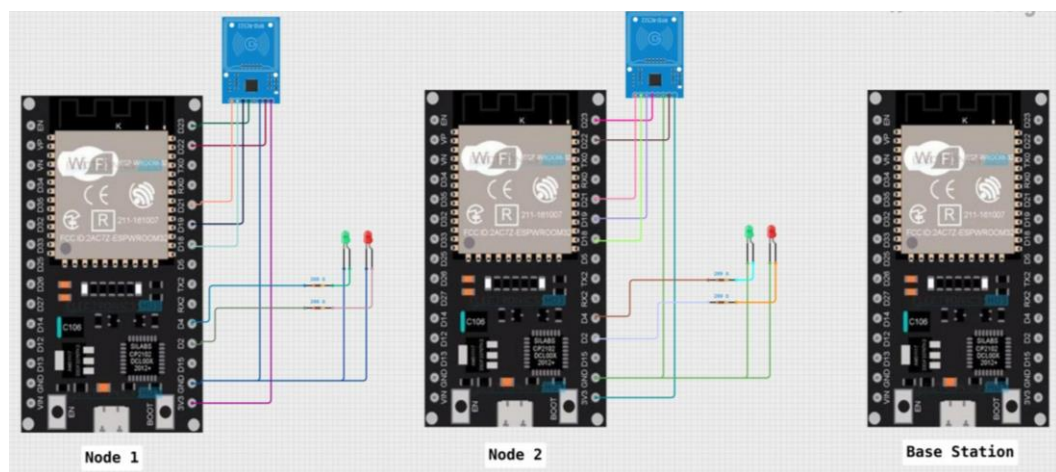
Gambar 1 Blok diagram sistem

Pada diagram ini terdapat lima subsistem yaitu:

- (1) *Node (RFID Reader)*. *Radio Frequency Identification* merupakan suatu metode identifikasi objek dengan menggunakan gelombang radio. RFID membaca UID (*Universally Unique Identifier*) dari *transponder* atau *tag* dari rentang frekuensi tertentu menurut spesifikasi *reader* dan *tag*. RFID dapat disematkan di sebuah *device* yang hanya dapat dibaca (*Read Only*) atau di sebuah *device* yang dapat dibaca dan ditulis (*Read & Write*) [5]. Pada subsistem ini terdiri dari mikrokontroler untuk memproses pembacaan UID RFID yang terdiri dari modul RFID Reader dan pemroses mikrokontroler. Sub sistem ini akan mengirimkan data hasil pembacaan RFID lalu diteruskan ke sub sistem *base station* untuk dilakukan verifikasi apakah UID RFID yang terbaca terdapat dalam sistem atau tidak.
- (2) *Base Station (Mikrokontroler)*. Mikrokontroler adalah prosesor yang dilengkapi dengan memori *timer*, (pararel) pin I/O dan *peripheral* lainnya yang terintegrasi dengan *chip*. Mikrokontroler mengintegrasikan banyak elemen di dalam sebuah *chip* yang dapat menghemat ruang dan perkembangan yang cepat [6]. Sub sistem ini sebagai portal atau *gateway* terpusat yang berfungsi untuk memverifikasi pembacaan RFID yang dikirimkan dari node dan memproses data akses yang diolah dalam sistem
- (3) *WiFi Access Point*. Sub sistem ini berfungsi sebagai *access point* dan *router* untuk mengatur *traffic* komunikasi antar sub sistem.
- (4) *Display (Web Dashboard)*. Subsistem ini berfungsi sebagai *dashboard* untuk *display monitoring*, mengolah dan mengatur data kartu (tambah, edit kartu, hapus) serta verifikasi wajah.
- (5) *Database*. *Database* adalah tempat penyimpanan data, dirancang untuk mendukung penyimpanan, pengambilan dan pemeliharaan data yang efisien. *Database* dapat dikhususkan untuk menyimpan *file* biner, dokumen, gambar, video, data relasional, data multidimensi, data transaksional, data analitik, atau data geografis untuk beberapa tag nama [7]. Sub sistem ini sebagai penyimpanan digital untuk seluruh proses transaksi data yang terdapat dari sub sistem yang lain.

B. Perancangan Skematik

Perancangan skematik ini terdiri dari tiga bagian yaitu *node 1*, *node 2* dan *base station* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Skematik diagram

C. Perancangan Entity Relationship Diagram (ERD)

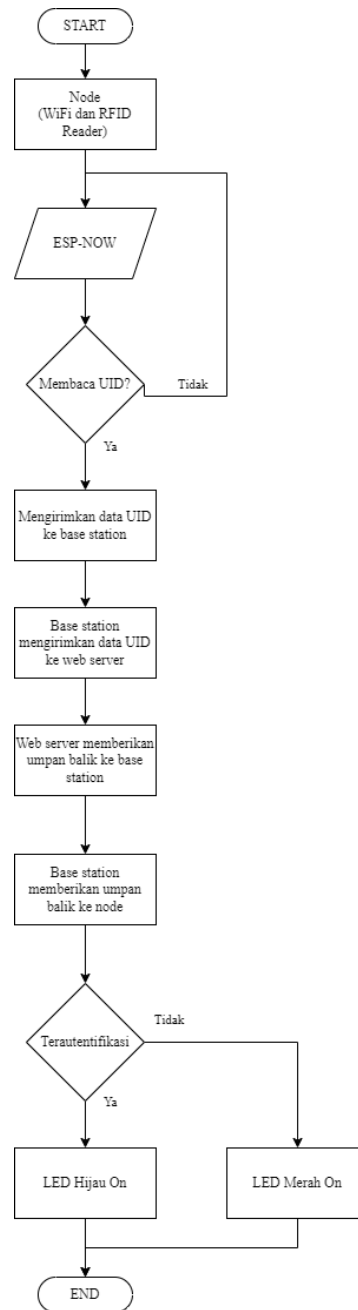
Data model ini menggunakan 5 tabel, yaitu tabel *user*, *device*, *tap_history*, *user_on_device*, dan *absence_history*. Masing – masing tabel ini memuat informasi yang mencakup keseluruhan fitur aplikasi.

D. Diagram Alir

Diagram alir sistem yang dirancang pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3. Bagian *node* akan mengirimkan hasil pembacaan UID kartu RFID yang di *tap* lalu *node* akan mengirimkan data hasil pembacaan ke *base station* menggunakan protokol *esp-now* setelah itu *base station* akan mengirimkan data tersebut ke *web server* untuk divalidasi, jika tervalidasi maka data kartu yang di *tap* akan masuk ke *database*. *Base station* akan menerima umpan balik data apabila data yang dikirimkan berhasil tervalidasi, data ini selanjutnya akan diteruskan ke bagian *node*, apabila data yang diterima *node* merupakan *flag true* atau tervalidasi maka *node* akan menyalakan led hijau yang terhubung ke pin *output node*, begitu sebaliknya jika *node* menerima *flag false* maka *node* akan menyalakan led merah sebagai indikator bahwa kartu RFID yang di-*tap* tidak terdaftar.

E. Metode Analisis

Metode analisis yang diterapkan dalam penelitian ini mengarah pada evaluasi kualitas, performa komunikasi data setelah terintegrasi menggunakan *topology* STAR – WSN serta protokol HTTP. Data akan disajikan dalam bentuk tabel dengan analisis data untuk masing – masing data hasil percobaan dengan variasi wajah berbeda. Pengukuran akan dilakukan untuk tingkat akurasi dan *error* saat sistem mengenali wajah.



Gambar 3 Diagram alir

F. Realisasi

Realisasi sistem akses kontrol dengan pengenalan wajah ini dilakukan dengan integrasi seluruh komponen antara *base station* dan *node*, lalu *user* akan melakukan autentifikasi pada *node*. *Node* akan mengirimkan data UID RFID ke *base station* untuk melakukan verifikasi apakah kartu yang digunakan terdaftar dalam sistem agar *user* dapat mengakses ruangan kerja. Setelah itu karyawan akan mengakses *dashboard* atau *Human Machine Interface* (HMI) untuk melakukan pengenalan wajah. Kedua data ini nantinya akan direkap di dalam *database* untuk dijadikan data absensi. Data absensi ini juga akan dapat dilihat secara *real-time* di dalam *dashboard*. Karena setiap UID kartu RFID akan *match* dengan wajah setiap karyawan maka setelah data karyawan didaftarkan, satu kartu RFID hanya dapat menyimpan satu wajah dan data pribadi karyawan sehingga absensi dan akses tidak dapat diwakilkan. Data absensi ini nantinya akan dapat dijadikan bahan evaluasi bagi SDM perusahaan untuk meningkatkan kedisiplinan karyawan.

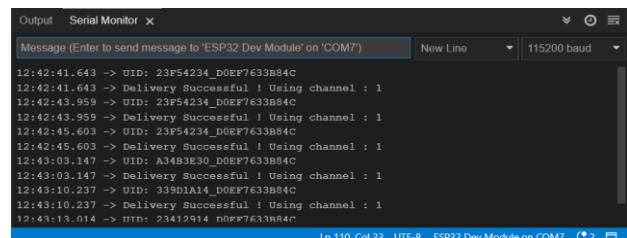
III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengujian Modul RFID

Pengujian modul RFID dilakukan dengan mengukur kecepatan pembacaan UID dengan sampel 10 kartu RFID berbeda dengan pembacaan menggunakan 2 mikokontroler berbeda dan jarak pembacaan bervariasi. Skema pengujian RFID ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan hasil pembacaan UID yang terekam melalui *serial monitor* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4 Skema pengujian RFID



Gambar 5 Tampilan hasil pembacaan UID pada *serial monitor*

Kecepatan pembacaan dan hasil pembacaan dan analisis dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Hasil pengujian modul RFID

No.	Hasil Pembacaan (UID)	Response Waktu Pembacaan (ms)	Jarak Kartu dengan Modul (cm)	Mac Address
1.	23F54234	10	2	D0EF76576AF0
2.	A34B3E30	17	3	D0EF76576AF0
3.	339D1A14	16	2	D0EF76576AF0
4.	23412914	25	4	D0EF76576AF0
5.	C13290I8	-	16	D0EF76576AF0
6.	23110522	89	5	D0EF76576AF0
7.	34277831	-	13	D0EF76576AF0
8.	32137218	22	6	D0EF76576AF0
9.	B28149J2	58	10	D0EF76576AF0
10.	C71283H8	15	4	D0EF76576AF0
11.	23F54234	13	2	D0EF7633B84C
12.	A34B3E30	-	11	D0EF7633B84C
13.	339D1A14	23	3	D0EF7633B84C
14.	23412914	31	4	D0EF7633B84C
15.	C13290I8	-	11	D0EF7633B84C
16.	23110522	14	2	D0EF7633B84C

No.	Hasil Pembacaan (UID)	Response Waktu Pembacaan (ms)	Jarak Kartu dengan Modul (cm)	Mac Address
17.	34277831	26	2	D0EF7633B84C
18.	32137218	6	1	D0EF7633B84C
19.	B28149J2	-	18	D0EF7633B84C
20.	C71283H8	19	3	D0EF7633B84C

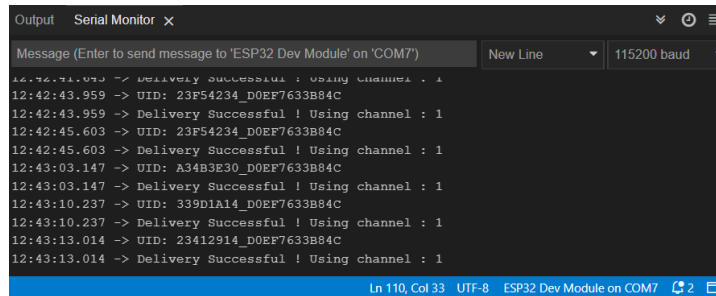
Berdasarkan Tabel 1, didapatkan bahwa terdapat 5 data tidak terbaca yakni pengujian untuk UID C13290I8, 34277831, A34B3E30, B28149J2 dengan jarak pembacaan antara kartu dan modul di atas 10 cm untuk kedua mikokontroler berbeda yang ditandai dengan *mac address* berbeda. Berdasarkan data hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa modul RFID dapat membaca kartu dengan jarak maksimal 10 cm.

B. Pengujian Protokol Komunikasi Esp-Now

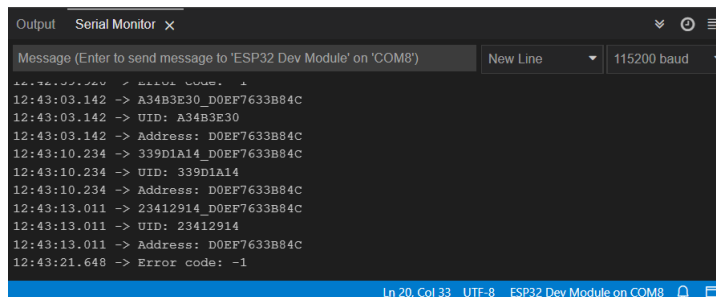
Pengujian komunikasi *esp – now* dilakukan dengan mengukur kecepatan transfer data antara *node* dan *base station* dengan 10 kartu berbeda dengan 2 mikrokontroler berbeda dan dengan jarak antara *node* dan *base station* bervariasi. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 6, sementara tampilan *serial monitor* ditunjukkan pada Gambar 7 untuk *node* dan Gambar 8 untuk *base station*.



Gambar 6 Skema pengujian komunikasi *esp – now*



Gambar 7 Tampilan *serial monitor node*



Gambar 8 Tampilan *serial monitor base station*

Kecepatan transmisi data, hasil transfer data dan analisis dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Hasil pengujian komunikasi *esp – now*

No.	Data terkirim (char[50])	Data diterima (char[50])	Kecepatan Transfer Data (ms)	Jarak Node dan Base Station (cm)
1.	23F54234_ D0EF76576AF0	23F54234_ D0EF76576AF0	0	50
2.	A34B3E30_ D0EF76576AF0	A34B3E30_ D0EF76576AF0	0	50

No.	Data terkirim (char[50])	Data diterima (char[50])	Kecepatan Transfer Data (ms)	Jarak Node dan Base Station (cm)
3.	339D1A14_ D0EF76576AF0	339D1A14_ D0EF76576AF0	10	150
4.	23412914_ D0EF76576AF0	23412914_ D0EF76576AF0	12	150
5.	C13290I8_ D0EF76576AF0	C13290I8_ D0EF76576AF0	117	250
6.	23110522_ D0EF76576AF0	23110522_ D0EF76576AF0	113	250
7.	34277831_ D0EF76576AF0	34277831_ D0EF76576AF0	233	400
8.	32137218_ D0EF76576AF0	-	-	700
9.	B28149J2_ D0EF76576AF0	-	-	800
10.	C71283H8_ D0EF76576AF0	-	-	900
11.	23F54234_ D0EF7633B84C	23F54234_ D0EF7633B84C	2	50
12.	A34B3E30_ D0EF7633B84C	A34B3E30_ D0EF7633B84C	3	50
13.	339D1A14_ D0EF7633B84C	339D1A14_ D0EF7633B84C	15	150
14.	23412914_ D0EF7633B84C	23412914_ D0EF7633B84C	27	150
15.	C13290I8_ D0EF7633B84C	C13290I8_ D0EF7633B84C	151	250
16.	23110522_ D0EF7633B84C	23110522_ D0EF7633B84C	159	250
17.	34277831_ D0EF7633B84C	34277831_ D0EF7633B84C	341	400
18.	32137218_ D0EF7633B84C	-	-	700
19.	B28149J2_ D0EF7633B84C	-	-	800
20.	C71283H8_ D0EF7633B84C	-	-	900

Berdasarkan Tabel 2, didapatkan data untuk pengujian 7 sampel di kedua *node* dengan jarak antara *node* dan *base station* berkisar antara 50 cm – 400 cm dan kecepatan transfer data berkisar 0 – 341 ms. Sedangkan untuk jarak 700 – 900 cm data tidak berhasil dikirim. Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan bahwa jarak efektif untuk melakukan komunikasi data secara *wireless* menggunakan protokol *esp – now* yakni hingga 400 cm.

C. Pengujian Protokol Komunikasi HTTP

Pengujian protokol HTTP dilakukan dengan mengukur kecepatan transfer data antara *base station* dengan web *dashboard* dengan 10 data UID yang diantaranya 4 kartu telah didaftarkan dan 6 kartu sisanya tidak didaftarkan menggunakan *endpoint* `http://192.168.1.101:3000/excluded-auth/integration-device/{uid_mac address}`. Gambar 9 hingga Gambar 13 menunjukkan rangkaian proses pengujian, dimulai dari proses menjalankan *server web dashboard* (Gambar 9), informasi alamat *server* lokal (Gambar 10), tampilan *serial monitor* komunikasi HTTP pada *node* (Gambar 11), tampilan *serial monitor* komunikasi HTTP pada *base station* (Gambar 12), serta hasil pengukuran kecepatan internet lokal (Gambar 13).

Prototype Aplikasi Sistem Akses Terintegrasi dengan Kartu RFID dan Pengenalan Wajah Berbasis Mikrokontroler Esp32

(Ni Ketut Hariyawati Dharmi, Muhammad Rafii Satrio, : Halaman 23 - 34)

```
PS C:\dirTemp\Unjani\Semester 8 (TA)\TA\Web App\system_access_and_attendance> npm run dev
> system_access_and_attendance_app@0.1.0 dev
> next dev

ready started server on 0.0.0.0:3000, url: http://localhost:3000
info Loaded env from C:\dirTemp\Unjani\Semester 8 (TA)\TA\Web App\system_access_and_attendance\.env
event compiled client and server successfully in 351 ms (20 modules)
wait compiling...
```

Gambar 9 Menjalankan *server web dashboard*

```
Wireless LAN adapter Wi-Fi:

Connection-specific DNS Suffix . : TL-WA850RE
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::f9b3:58f6:6439:d285%12
IPv4 Address. . . . . : 192.168.1.101
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . : 192.168.1.1
```

Gambar 10 Alamat *server local*

```
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM7') New Line 115200 baud

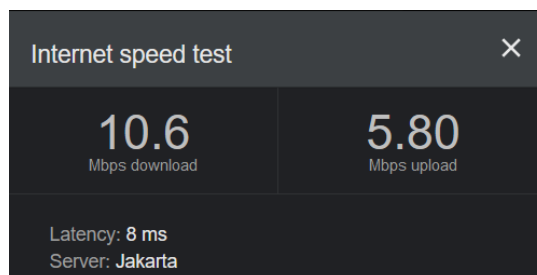
18:53:53.206 -> UID: 23F54234_D0EF7633B84C
18:53:53.206 -> Delivery Successful ! Using channel : 1
18:53:53.906 -> authenticated
18:54:08.523 -> UID: 23F54234_D0EF7633B84C
18:54:08.523 -> Delivery Successful ! Using channel : 1
18:54:08.746 -> authenticated
18:54:14.000 -> UID: A34B3E30_D0EF7633B84C
18:54:14.000 -> Delivery Successful ! Using channel : 1
18:54:14.114 -> authenticated
18:54:18.224 -> UID: 339D1A14_D0EF7633B84C
18:54:18.224 -> Delivery Successful ! Using channel : 1
```

Gambar 11 Serial monitor komunikasi HTTP pada *node*

```
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM8') New Line 115200 baud

18:53:53.206 -> 23F54234_D0EF7633B84C
18:53:53.206 -> UID: 23F54234
18:53:53.206 -> Address: D0EF7633B84C
18:53:53.905 -> HTTP Response code: 200
18:53:53.905 -> Sending to node...
18:53:53.964 -> Delivery Successful ! Using channel : 1
18:54:08.525 -> 23F54234_D0EF7633B84C
18:54:08.525 -> UID: 23F54234
18:54:08.525 -> Address: D0EF7633B84C
18:54:08.747 -> HTTP Response code: 200
18:54:08.747 -> Sending to node...
```

Gambar 12 Serial monitor komunikasi HTTP pada *base station*



Gambar 13 Kecepatan internet *local*

Kecepatan transmisi data menggunakan protokol HTTP antara web *server* dengan *base station* dan analisis dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil pengujian komunikasi HTTP

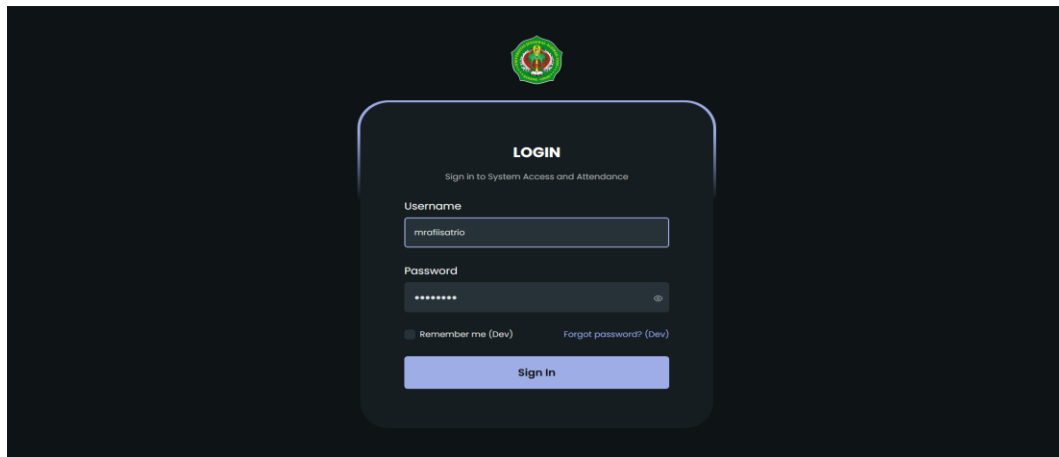
No.	Data terkirim (char[50])	HTTP Status	Terautentifikasi (boolean)	Kecepatan Transfer Data (ms)	Kecepatan Internet Download/Upload (Mbps)
1.	23F54234_D0EF76576AF0	200	1	701	10.6/5.8
2.	A34B3E30_D0EF76576AF0	200	1	751	10.5/5.7
3.	339D1A14_D0EF76576AF0	200	1	729	10.7/5.9

No.	Data terkirim (char[50])	HTTP Status	Terautentifikasi (boolean)	Kecepatan Transfer Data (ms)	Kecepatan Internet Download/Upload (Mbps)
4.	23412914_ D0EF76576AF0	200	1	767	10.2/5.1
5.	C13290I8_ D0EF76576AF0	200	0	712	10.3/5.6
6.	23110522_ D0EF76576AF0	200	0	709	10.1/5.5
7.	34277831_ D0EF76576AF0	200	0	788	10.2/5.6
8.	32137218_ D0EF76576AF0	200	0	714	10.1/5.2
9.	B28149J2_ D0EF76576AF0	200	0	736	10.2/5.3
10.	C71283H8_ D0EF76576AF0	200	0	758	10.4/5.5
11.	23F54234_ D0EF7633B84C	200	1	762	10.5/5.6
12.	A34B3E30_ D0EF7633B84C	200	1	707	10.5/5.5
13.	339D1A14_ D0EF7633B84C	200	1	756	10.1/5.5
14.	23412914_ D0EF7633B84C	200	1	782	10.2/5.4
15.	C13290I8_ D0EF7633B84C	200	0	726	10.1/5.4
16.	23110522_ D0EF7633B84C	200	0	722	10.5/5.5
17.	34277831_ D0EF7633B84C	200	0	730	10.8/5.6
18.	32137218_ D0EF7633B84C	200	0	781	10.7/5.2
19.	B28149J2_ D0EF7633B84C	200	0	724	10.7/5.4
20.	C71283H8_ D0EF7633B84C	200	0	713	10.6/5.8

Berdasarkan Tabel 3, didapatkan bahwa seluruh sampel terkirim dengan HTTP status 200 atau sukses dengan kecepatan rata – rata pengiriman berkisar antara 701 – 788 ms dengan 4 kartu terautentifikasi dan 6 kartu tidak terautentifikasi, pengujian ini dilakukan dengan kecepatan internet *download/upload* berkisar antara 10.1/5.1 – 10.8/5.9. Berdasarkan data hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa komunikasi data menggunakan protokol HTTP berhasil pada 10 sampel dengan 4 kartu terautentifikasi dan 6 kartu tidak terautentifikasi dan memiliki kecepatan transfer data < 1 detik dengan kecepatan internet rata – rata *download/upload* 10.4/5.51 Mbps.

D. Pengujian Fitur Management Sistem Akses

Pengujian fitur management sistem akses dilakukan dengan menguji fitur *Create, Read, Update, Delete* (CRUD) untuk modul akses, *user* dan *device* serta fitur *export* tabel sebagai data bahan rekap absensi yang dapat diolah. Halaman awal adalah halaman *login* untuk memastikan yang mengakses *web dashboard* adalah pengguna terautentifikasi dan terotorisasi. Pada halaman login terdapat 3 *role* yang dapat digunakan yaitu *superuser*, *owner* dan *staff* di mana *role superuser* dapat mengakses seluruh halaman dan modul, *role owner* dapat mengakses seluruh halaman namun tidak dapat mengakses modul *user* sedangkan untuk *role staff* hanya dapat mengakses *dashboard* saja. Contoh tampilan halaman *login* dengan otorisasi *superuser* ditunjukkan pada Gambar 14.

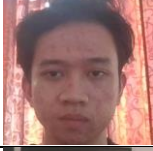
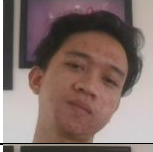


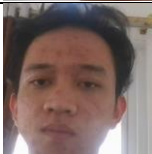
Gambar 14 Halaman *login* dengan otorisasi superuser

E. Pengujian Modul Pengenalan Wajah

Pengujian pengenalan wajah dilakukan dengan 10 kali *input* foto dengan kondisi pencahayaan dan jarak bervariasi diiterasi dengan 50 verifikasi gambar dengan model siamese yang telah di-*training* dengan 300 gambar positif, 300 gambar negatif dan 300 gambar acuan dengan minimum verifikasi *threshold* 0.5. Hasil pengujian pengenalan wajah ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengujian pengenalan wajah

No.	Input Gambar (jpg)	Status (boolean)	Verifikasi Threshold	Kecepatan Proses (ms)	Jarak Kamera (cm)
1.		1	0.6	3213	50
2.		0	0.26	2782	100
3.		1	1	2599	50
4.		1	0.66	2567	50
5.		0	0.38	3354	50

No.	Input Gambar (jpg)	Status (boolean)	Verifikasi Threshold	Kecepatan Proses (ms)	Jarak Kamera (cm)
6.		0	0.16	2083	100
7.		1	1	2461	50
8.		0	0.34	2122	100
9.		0	0.14	2642	50
10.		1	0.98	2745	50
11.		1	0.591	3412	50
12.		0	0.48	2784	50
13.		0	0.37	2907	50
14.		1	0.55	3671	50
15.		1	0.51	2948	50
Rata - rata			0,5347	2819	60

Berdasarkan Tabel 4, terdapat 7 data yang tidak mencapai verifikasi *threshold*. Ini dikarenakan cuplikan wajah terpotong, jarak terhadap kamera terlalu jauh, wajah tertutup tangan dan *angle* wajah ketika dicuplik tidak sesuai dengan *angle* wajah ketika model di-*training*. Pada pengujian ini pengambilan data dengan luminasi ruangan yang relatif tinggi seperti pada pengujian nomor 3, 7 dan 10

memiliki nilai verifikasi *threshold* paling tinggi sehingga dapat disimpulkan bahwa wajah dapat dikenali namun perlu ada batasan – batasan dalam pengambilan gambar.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem akses berbasis kartu RFID dapat diimplementasikan secara efektif menggunakan modul RFID dengan jarak pembacaan antara 0 hingga 10 cm. Untuk komunikasi data antar mikrokontroler, protokol *esp-now* terbukti mampu mentransfer data dalam rentang waktu 0–341 ms pada jarak 50–400 cm tanpa menggunakan antena eksternal. Sementara itu, protokol komunikasi HTTP menunjukkan waktu transfer data sekitar 700 ms pada kecepatan internet 10.5/5.41 Mbps, dan dinilai efektif untuk komunikasi antar platform atau media yang berbeda. Sistem web yang dikembangkan telah berhasil menampilkan data secara *realtime* dan mendukung operasi *Create*, *Read*, *Update*, dan *Delete* (CRUD) untuk pengelolaan sistem berbasis database. Selain itu, implementasi algoritma *face recognition* menggunakan *siamese network* yang dilatih dengan 300 gambar mampu mengenali wajah pada jarak 50 cm dalam kondisi pencahayaan ruangan, dengan rata-rata *threshold* sebesar 0.736.

Untuk pengembangan sistem ke depannya, diperlukan penelitian lanjutan agar modul RFID dapat membaca kartu pada jarak lebih dari 10 cm, sehingga meningkatkan fleksibilitas penggunaannya. Pada sisi komunikasi antar mikrokontroler, disarankan penggunaan antena atau komponen tambahan guna memperluas jangkauan protokol *esp-now*. Selain itu, dibutuhkan kajian lebih lanjut terhadap protokol komunikasi lintas platform yang mampu menawarkan kecepatan transfer data lebih tinggi dibandingkan protokol HTTP. Dalam konteks pengembangan sistem aplikasi yang lebih luas, diperlukan perancangan alur bisnis yang lebih matang agar sistem dapat diimplementasikan pada skala yang lebih besar secara efisien. Terakhir, peningkatan jumlah data latih sangat disarankan untuk meningkatkan performa dan akurasi model *face recognition* berbasis *siamese network*, terutama agar dapat bekerja optimal dalam kondisi pencahayaan dan jarak yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. E. A. F. N. Nur Jaini, "Sistem Manajemen Kehadiran Menggunakan Metode Face Recognition Berbasis Web," *Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, vol. 2, no. 2, pp. 48-55, 2021.
- [2]. P. A. W. S. I. M. A. Y. Made Ary Wiradhi Putra, "Sistem Deteksi Wajah untuk Absensi dan Akses Masuk Ruangan," *Repository Politeknik Negeri Bali*, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, 2022.
- [3]. N. E. R. U. Riskayani, "Sistem Absensi Karyawan Menggunakan *Radio Frequency Identification* (RFID) Berbasis Mikrokontroler pada PT. Sarah Cell Telkomsel Soppeng," *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Teknik Informatika (JITSI)*, vol. 6, no. 1, pp. 60-67, 2023.
- [4]. A. O. W. P. R. A. Muhammad Dzeaulfath, "One-Shot Learning Menggunakan *Siamese Neural Network* untuk Pendeteksian Wajah," in *SENADA 2023*, Jawa Timur, 2023.
- [5]. K. Finkenzeller, *RFID Handbook Fundamentals and Applications in Contactless Smart Card, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom: WILEY, 2010.
- [6]. G. Gridling and B. Weiss, *Introduction to Microcontrollers*, Vienna: Vienna University of Technology, 2007.
- [7]. N. Sharma, L. Perniu, R. F. Chong, A. Iyer, C. Nandan, A.-C. Mitea, M. Nonvinkere and M. Danubianu, *Database Fundamentals*, 1 ed., Markham: IBM Corporation, 2010.

Implementasi Sistem Pendeteksi Buku dengan YOLOv8

**Maria Bestarina Laili ^{1*)}, Raihan Alfariji ¹⁾, James Tri Septiono ¹⁾,
Muhammad Farid Idlal ¹⁾, Egi Sunardi ¹⁾**

¹⁾Program Studi Teknik Elektro,
Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. H.S. Ronggowaluyo, Kel. Puseurjaya, Kec. Telukjambe Timur, Kab. Karawang,
Jawa Barat 4136, Indonesia

^{*)}Korespondensi : maria.bestarina@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Pendeteksian objek secara otomatis merupakan salah satu teknologi yang berkembang pesat dalam bidang visi komputer, khususnya dalam konteks pengelolaan data visual berbasis citra digital. Buku sebagai objek fisik yang umum dijumpai di perpustakaan, toko, dan lingkungan pendidikan memiliki potensi untuk diidentifikasi secara otomatis guna mendukung proses inventarisasi dan digitalisasi. Tujuan jurnal ini ialah untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi kinerja algoritma deteksi objek YOLOv8 dalam mengenali dan melokalisasi objek buku pada gambar statis. Model YOLOv8 dipilih karena memiliki arsitektur yang efisien dan telah terbukti unggul dalam kecepatan serta akurasi deteksi. Dataset yang digunakan terdiri dari citra-citra beranotasi yang menggambarkan berbagai kondisi penempatan dan orientasi buku. Setelah melalui proses pelatihan dan pengujian, model dievaluasi menggunakan metrik *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *mean Average Precision* (mAP). Model deteksi ini memiliki nilai *box loss* sebesar 0.4325 dan *class loss* sebesar 0.3096. Semakin kecil nilai *loss*, semakin akurat prediksi yang dihasilkan oleh model. Model juga mencapai mAP 50 sebesar 0.80 dalam metrik, dan mAP50-0.97 sebesar 0.811 dalam metrik. Hasil penelitian ini berhasil mengimplementasikan model YOLOv8 untuk mendeteksi buku dengan tingkat presisi sebesar 88% dan *recall* sebesar 94% dengan tingkat akurasi sebesar 90% dan 92%.

Kata kunci : Deteksi objek, YOLOv8, buku, *computer vision*, *mean Average Precision*.

Abstract

Automatic object detection is a rapidly growing technology in the field of computer vision, particularly in managing visual data from digital images. Books, as physical objects commonly found in libraries, bookstores, and educational environments, have the potential to be identified automatically to support inventory and digitization processes. This research aims to implement and evaluate the performance of the YOLOv8 object detection algorithm in recognizing and localizing books in static images. YOLOv8 is selected due to its efficient architecture and proven superiority in both detection speed and accuracy. The dataset used consists of annotated images depicting various placements and orientations of books. After training and testing, the model is evaluated using precision, recall, F1-score, and mean Average Precision (mAP) metrics. This detection model has a box loss value of 0.4325 and a class loss 0.3096. Smaller loss values indicate that the model makes more accurate predictions. The model also achieved an mAP50 (mean Average Precision at IoU 0.50) of 0.80 and an mAP50-0.97 of 0.811 in metrics. The results of this research successfully implemented the YOLOv8 model for book detection, achieving a precision rate of 88%, a recall rate of 94%, and an accuracy rate of 90% and 92%.

Keywords : *Object detection, YOLOv8, book, computer vision, mean Average Precision.*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia informasi saat ini semakin cepat memasuki berbagai bidang baik dalam ilmu dan pengetahuan, terutama teknologi berbasis komputer dan internet. Hampir semua bidang telah menggunakan komputer sebagai alat bantu untuk mendukung evaluasi, analisis, efisiensi, dan efektivitas serta proses pengambilan keputusan dan kebijaksanaan. Dalam berbagai sektor seperti perdagangan, perkantoran, perbankan, perusahaan, dan dunia bisnis, kebutuhan akan data yang akurat sangat penting

Info Makalah:

Dikirim : 05-25-2025;
Revisi 1 : 06-27-2025;
Revisi 2 : -
Diterima : 06-28-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +6281294118384
e-mail :
egi.sunardi@ft.unsika.ac.id

untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dalam setiap aspek kegiatannya. Maka dengan suatu system terkomputerisasi akan dapat menyelesaikan permasalahan yang ada. Tanpa adanya sistem yang terkomputerisasi, aktifitas usaha akan menghadapi kendala untuk mendapatkan informasi yang akurat. Hal itu disebabkan oleh proses pengumpulan dan pengolahan data masih dilakukan secara manual. Dengan memanfaatkan sistem komputerisasi, efisiensi dalam pekerjaan dapat ditingkatkan secara maksimal. Proses penyimpanan dan pengaksesan data dapat dilakukan dengan cepat dan efisien. Akibatnya, informasi yang dihasilkan akan tersedia tepat waktu dan

bermanfaat sesuai kebutuhan [1].

Salah satu implementasi potensial adalah deteksi buku secara otomatis, yang dapat mendukung proses inventarisasi, digitalisasi perpustakaan, dan pengorganisasian konten visual. Tujuan penelitian ini ialah untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi kinerja algoritma deteksi objek YOLOv8 dalam mengenali dan melokalisasi objek buku pada gambar statis. YOLOv8 adalah versi terbaru dari keluarga algoritma *You Only Look Once* (YOLO) yang menawarkan peningkatan dalam arsitektur model, akurasi deteksi, dan kecepatan inferensi. YOLOv8 dikembangkan oleh *Ultralytics*, yang juga menciptakan model YOLOv5 yang berpengaruh dan menentukan industri. YOLOv8 mencakup banyak perubahan dan peningkatan pengalaman arsitektur dan pengembang dibandingkan YOLOv5 [2].

YOLO merupakan metode *detector* dengan model terpadu (*unified*), yang mana dengan jaringan saraf tunggal (*single neural network*) dapat memprediksi kotak pembatas (*Bounding Box*) dan probabilitas kelas secara langsung dalam satu gambar penuh pada sekali tangkapan. Pada model YOLO, dapat memproses gambar inputan hingga pada 45 FPS (*frame per second*), bahkan dengan versi jaringan neural yang lebih kecil lagi, yakni Fast YOLO dapat memproses hingga 155 FPS dan menjadi algoritma tercepat dalam perbandingan dengan algoritma pendeteksian *real-time* lainnya berada jauh di atas metode-metode *non realtime* seperti *Fast R-CNN* dan *Faster R-CNN* yang hanya berkisar 0.5 FPS dan 7 FPS. Hal ini dikarenakan YOLO menerapkan Teknik perhitungan *single shot detection*, dimana CNN hanya dijalankan sekali saja dalam proses deteksi objek. Ini berbeda dari metode lainnya, seperti R-CNN dan its variants, yang menjalankan CNN beberapa kali untuk setiap *region proposal* [3]. *Dataset* yang digunakan terdiri dari citra-citra beranotasi dengan berbagai variasi penempatan dan kondisi visual buku.

Dalam implementasi sistem deteksi objek, model YOLOv8 telah menunjukkan performa yang signifikan dalam berbagai aplikasi pengenalan visual, termasuk pada pengolahan dokumen berbasis teks Braille [4] [5]. Pada penelitian lain disebutkan mengimplementasikan deteksi objek menggunakan YOLOv8 untuk mengenali bahasa isyarat dari data gambar [6]. Selain itu, pendekatan berbasis *deep learning* seperti YOLOv8 juga telah digunakan untuk mendeteksi karakter pada manuskrip kuno, membuktikan fleksibilitas model dalam mengenali pola visual yang kompleks [7].

Penerapan YOLOv8 dalam konteks deteksi objek *real-time* seperti klasifikasi jenis pohon menggunakan drone [8], identifikasi furnitur dalam ruangan [9], mendeteksi Alat Pelindung Diri (APD) pekerja proyek [10], serta sistem inspeksi guna mengurangi kesalahan pengambilan barang [11] menunjukkan bahwa algoritma ini mampu diimplementasikan secara efisien pada sistem terbatas sekalipun. Pendekatan serupa dapat diadaptasi dalam sistem pendeteksi buku, terutama untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan sampul buku secara otomatis di lingkungan perpustakaan atau toko buku.

Lebih lanjut, studi [12] mengembangkan sistem berbasis YOLOv8 untuk mendeteksi jumlah penumpang dalam moda transportasi umum menggunakan perangkat *edge computing*. Hal ini menunjukkan bahwa YOLOv8 tidak hanya efektif dari sisi akurasi, tetapi juga dari sisi efisiensi komputasi menjadikannya ideal untuk pengembangan sistem pendeteksi buku *portabel*.

Dalam penelitian ini akan berfokus pada penerapan algoritma YOLO (*You Only Look Once*) dalam pendeteksian buku. Harapan dari penelitian ini adalah dapat menjadi solusi yang layak untuk diterapkan dalam sistem cerdas di bidang otomasi perpustakaan, teknologi pendidikan, dan pengolahan data visual.

II. METODE

Metode Implementasi YOLO (*You Only Look Once*) untuk pendeteksian buku dengan menggunakan metode *deep learning*. Deep learning adalah metode dalam kecerdasan buatan (AI) yang mengajarkan komputer untuk memproses data dengan cara yang terinspirasi otak manusia. Model *deep learning* dapat mengenali pola kompleks dalam gambar, teks, suara, dan data lain untuk menghasilkan wawasan dan prediksi yang akurat. Model deep learning merupakan file komputer yang telah dilatih oleh para ilmuwan data untuk melakukan tugas menggunakan algoritme atau serangkaian langkah yang telah ditentukan. Bisnis menggunakan model *deep learning* untuk menganalisis data dan membuat prediksi dalam berbagai aplikasi [13].

Awalnya, diperlukan pengumpulan data yang mencakup gambar-gambar buku. Setelah itu, data ini melewati proses pra-pemrosesan, yang melibatkan perubahan format gambar, normalisasi, dan jika diperlukan, penambahan variasi dalam data. Model YOLOv8 dilatih menggunakan dataset yang telah diproses, dan dilakukan berulang-ulang (*epoch*) untuk memastikan bahwa model benar-benar memahami pola-pola dalam dataset tersebut. Penting untuk mengoptimalkan parameter-parameter khusus (*hyperparameter*) selama proses pelatihan, seperti tingkat pembelajaran (*learning rate*) dan ukuran kelompok data (*batch size*), guna memastikan efisiensi dan Tingkat akurasi yang tinggi. Setelah pelatihan selesai, model harus diuji dengan menggunakan dataset yang berbeda untuk mengukur kinerja model, seperti presisi, dan *recall*. Selanjutnya, model diuji dengan contoh gambar buku. Hasil deteksi buku yang dihasilkan oleh model akan diintegrasikan dengan sistem. Model ini juga harus terus dievaluasi dan diperbarui, dan proses ini dapat melibatkan pelatihan ulang dengan dataset baru untuk mengakomodasi perubahan arsip. Akhirnya, penelitian ini akan mengevaluasi dampak dan manfaat penggunaan YOLOv8 dalam deteksi buku. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat meningkatkan penjualan buku. Di bawah ini terdapat diagram aliran atau *flowchart* dari metode *deep learning* YOLOv8.



Gambar 1. Flowchart metode deep learning

III. HASIL DAN DISKUSI

Dalam penelitian ini sistem pendeteksi buku yang kami rancang dan kami buat, dibangun dengan model YOLOv8, YOLOv8 ini adalah model YOLO teranggih terbaru yang dapat digunakan untuk tugas deteksi objek, klasifikasi gambar, dan segmentasi instans data yang digunakan untuk melatih model berasal dari *Universe Roboflow*, dan kami menggunakan platform *Google Colaboratory* di awan (*cloud*) untuk menjalankan pelatihan model dengan tingkat kinerja yang optimal dan kecepatan pelatihan yang tinggi.

A. Dataset

Dalam pengembangan sistem pendeteksi buku, peneliti menggunakan *dataset* yang diperoleh dari *Universe Roboflow* untuk melatih dan mengembangkan model yang digunakan dalam sistem pendeteksi tersebut. *Dataset* yang digunakan terdiri dari 989 gambar yang telah diannotasikan dan diberi label oleh pemilik dataset. Gambar-gambar tersebut dikelompokkan ke dalam berbagai kelas objek, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kelas pada *Dataset*

<i>Dataset</i>	<i>Class</i>
	<i>Book</i>

Dataset yang digunakan dibagi menjadi beberapa *subset*, yaitu *TRAIN SET* bagian *dataset* yang kita latih untuk membuat prediksi atau menjalankan fungsi dari sebuah algoritma. Kita memberikan petunjuk melalui algoritma agar mesin yang kita latih bisa mencari korelasinya sendiri atau belajar pola dari data yang diberikan, *VALID SET* yang berguna untuk mengukur kinerja model, dan *TEST SET* bagian *dataset*

Implementasi Sistem Pendeteksi Buku dengan YOLOv8

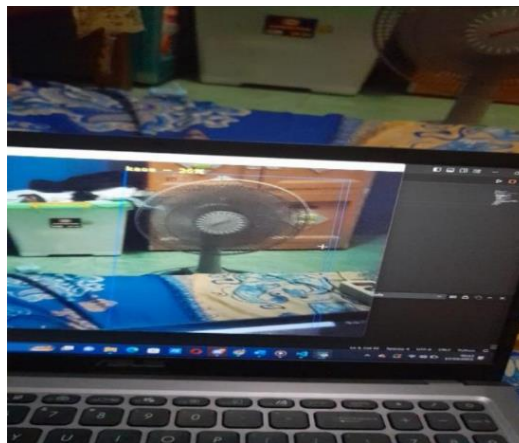
(Maria Bestarina Laili, Raihan Alfariji, James Tri Septiono, Muhammad Farid Idlal, Egi Sunardi : Halaman 35 - 43)

yang kita tes untuk melihat keakuratannya, atau dengan kata lain melihat performanya.. Jumlah gambar dari setiap *subset* dimuat dalam tabel 2.

Tabel 2. Subset pada Dataset

<i>Subset</i>	Jumlah Gambar
<i>Train Set</i>	989
<i>Valid Set</i>	200
<i>Test Set</i>	150

Dataset akan mempengaruhi kinerja model dalam mendeteksi suatu objek, seperti permasalahan bias pada dataset yang disebabkan ketidakseimbangan jumlah data setiap kelas, yang menyebabkan model menjadi tidak akurat. Berikut adalah ketidakakuratan pada model akibat bias pada *dataset*, yang ada pada gambar 2.

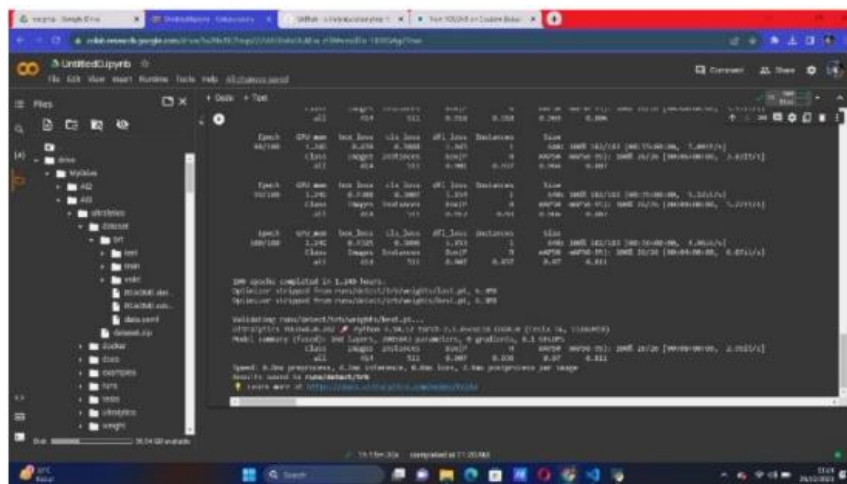


Gambar 2. Ketidakakuratan Model

Terlihat pada gambar 2 adalah contoh dari *False Positive* yaitu program mendeteksi positif tapi seharusnya itu salah karena itu adalah kipas bukan buku.

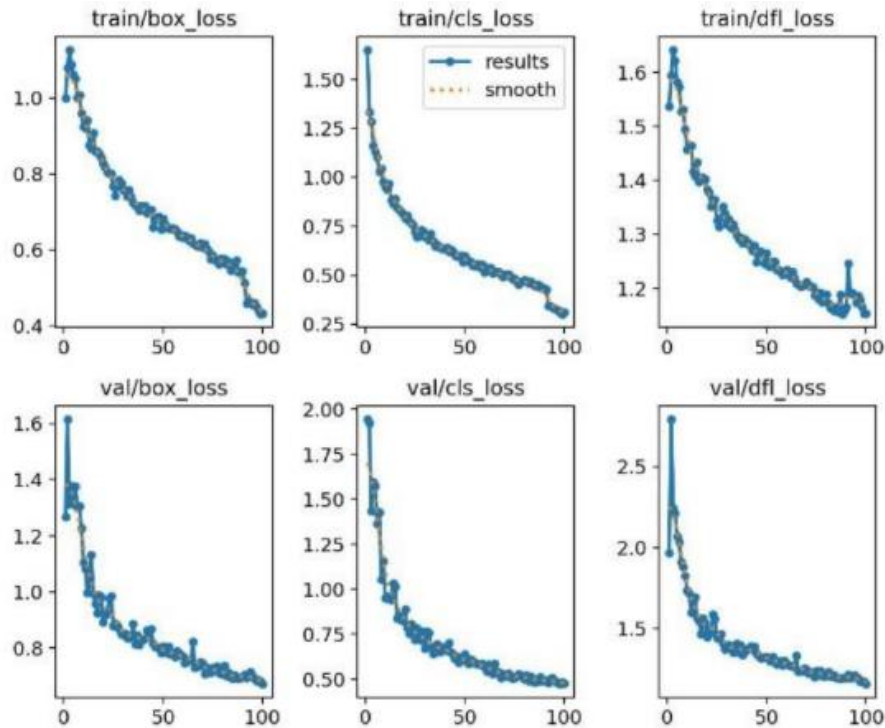
B. Training Dataset

Dataset yang sudah dipilih pada tahap sebelumnya akan dilatih dalam proses training model yang menggunakan *platform Google Colaboratory* yang berbasis cloud. Proses training dari dataset dilakukan sebanyak 100 kali iterasi (100 *epoch*) dengan model yang digunakan adalah YOLOv8, seperti yang ada dalam gambar 3.

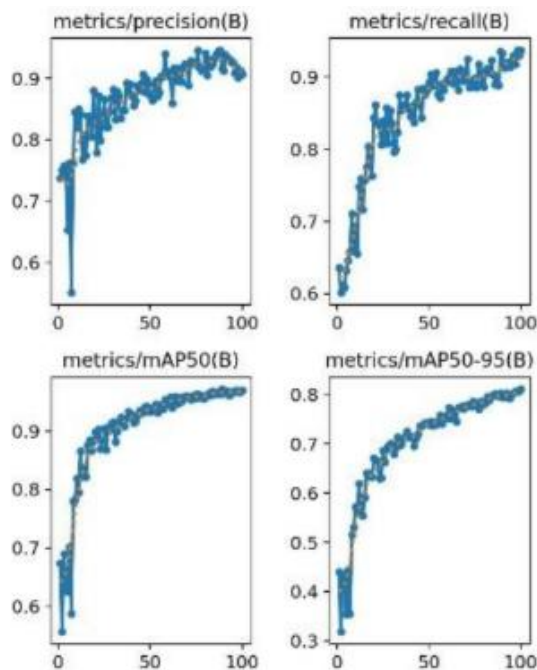


Gambar 3. Proses Training melalui Google Collab Epoch

Selama proses pelatihan, model akan menghasilkan berkas *weights* yang menghasilkan *best.pt*, yang merepresentasikan model setelah melalui beberapa iterasi. Selain itu, selama proses pelatihan dan validasi, data statistik yang mengukur kinerja model, seperti parameter mAP (*mean Average Precision*) yang ditunjukkan dalam Gambar 4, serta parameter "*box loss*" dan "*class loss*" yang terdapat dalam Gambar 5, akan dicatat dan dipantau.



Gambar 4. (a) mAP50 (b) mAP50-95



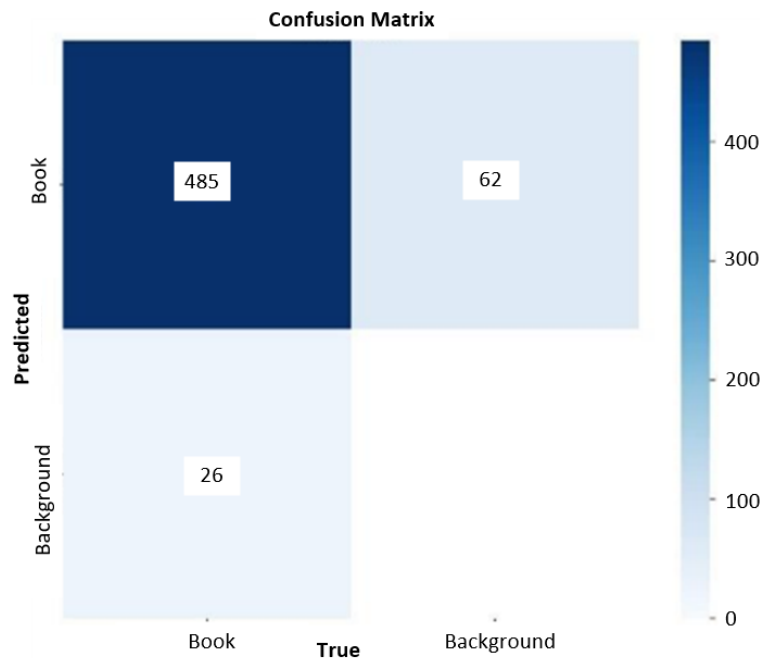
Gambar 5. (a) *box loss* (b) *class loss*

Dari Gambar 5, diketahui bahwa pada iterasi ke- 100, nilai box loss mencapai 0,4325. Parameter box loss mengindikasikan seberapa baik prediksi *bounding box* dalam mendekati koordinat objek sebenarnya. Selain itu, *class loss* mencapai 0.3096, yang menggambarkan sejauh mana model mampu

mengidentifikasi kelas objek. Semakin rendah nilai *loss*, semakin akurat prediksi yang dihasilkan oleh model. Gambar 5 menunjukkan bahwa mAP (*mean Average Precision*) pada tingkat 100 mencapai 0.97 dalam metrik, sementara nilai mAP50-95 mencapai 0.811 dalam metrik. mAP50 dan mAP50-95 mengukur kinerja model pada Tingkat kepercayaan tertentu, dengan melihat sejauh mana model dapat mempertahankan presisi pada tingkat tersebut.

C. Evaluasi Kinerja Model

Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan beberapa metode evaluasi yang melibatkan penggunaan metrik-metrik seperti *Confusion Matrix*, yang terlihat dalam Gambar 6. Metode ini digunakan untuk menghitung nilai akurasi, presisi, dan *recall* model berdasarkan parameter *True Positives* (TP) yaitu keadaan program memprediksi positif dan itu benar, *False Positives* (FP) yaitu keadaan program memprediksi positif dan itu salah, dan *False Negatives* (FN) yaitu keadaan program memprediksi negatif dan itu salah.



Gambar 6. *Confusion Matrix*

Confusion matrix pada gambar 6 adalah jenis matriks *multivariabel* yang menggambarkan hubungan antara kelas aktual dari objek dan kelas objek yang telah diprediksi oleh model yang telah dilatih. Jika kita menganggap "Book" sebagai kelas positif, maka, *True Positive* (TP) = 485, *False Negative* (FN) = 26, *False Positive* (FP) = 62.

Untuk menghitung presisi dari prediksi yang dilakukan oleh model dengan menggunakan persamaan.

$$\begin{aligned} \text{Precision} &= \frac{TP}{FP+TP} \\ &= \frac{485}{62+485} \\ &= \frac{485}{547} \\ &= 0.88 = 88\% \end{aligned}$$

Untuk nilai *recall* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$\begin{aligned} \text{Recall} &= \frac{TP}{FN+TP} \\ &= \frac{485}{26+485} \\ &= \frac{485}{511} \end{aligned}$$

$$= 0.94 = 94\%$$

Dan terakhir menghitung nilai *F-I Score* dengan menggunakan persamaan.

$$\begin{aligned} F-I \text{ Score} &= 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{recall}}{\text{Precision} + \text{recall}} \\ &= 2 \times \frac{0.88 \times 0.94}{0.88 + 0.94} \\ &= 2 \times \frac{0.82}{1.82} \\ &= 0.90 = 90\% \end{aligned}$$

D. Validasi

Berikut adalah hasil validasi dari percobaan yang dilakukan secara langsung menggunakan program dan percobaan langsung menggunakan IP cam.



Gambar 8. Percobaan langsung dengan program



Gambar 9. Percobaan langsung dengan ip cam

Dari percobaan diatas dihasilkan tingkat akurasi pendeteksian buku sebesar 90% dan 92%.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah melakukan pendeteksian buku menggunakan metode *deep learning* dan memanfaatkan *dataset* dari *Universe Roboflow*. Model deteksi ini memiliki nilai *box loss* sebesar 0.4325 dan *class loss* sebesar 0.3096. Semakin kecil nilai *loss*, semakin akurat prediksi yang dihasilkan oleh model. Model juga mencapai mAP 50 sebesar 0.80 dalam metrik, dan mAP50- 0.97 sebesar 0.811 dalam metrik. Hasil penelitian ini berhasil mengimplementasikan model YOLOv8 untuk mendeteksi buku dengan tingkat presisi sebesar 88% dan *recall* sebesar 94% dengan tingkat keakuratan yang berbeda-beda seperti pada gambar 9 yang memiliki tingkat akurasi sebesar 90% dan 92%. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi implementasi secara *real-time* dan integrasi dalam skala sistem yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Safarina Binashrillah, Tiara Aulia, Sherly Rindayanti, Risqi Choirunnisa, Vita Ariska, Rian Abdul Aziz, "Sistem Informasi Penjualan Pada Toko Buku Jendela Dunia Berbasis Web". Jurnal, STMIK Amikom Surakarta, 2023.
- [2] I Made Dwijaya Maleh, Rony Teguh, Abertun Sagit Sahay, Simon Okta, Muhammad Porkab Pratama, "Implementasi Algoritma You Only Look Once (YOLO) Untuk Object Detection Sarang Orang Utan". Tesis, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Palangkaraya, 2023
- [3] Jacob Solawetz, Francesco (2023, January 11). "What is YOLOv8?": <https://blog.roboflow.c>
- [4] I. N. Nugraha, "Pengembangan Sistem Rekognisi Teks Braille Menjadi Alfabet Menggunakan Model YOLOv8 dalam Bentuk Buku Karya Ilmiah," *Repository Telkom University*, 2023. [Online]. Available: <https://repository.telkomuniversity.ac.id/pustaka/217605/pengembangan-sistem-rekognisi-teks-braille-menjadi-alfabet-menggunakan-model-yolov8-dalam-bentuk-buku-karya-ilmiah.html>
- [5] N. P. D. P. Utami, "Pengembangan Sistem Rekognisi Teks Braille Menjadi Alfabet Menggunakan Model YOLOv8," *Repository Telkom University*, 2024.
- [6] K. Aeni dan A. S. Millah, "Implementasi Deteksi Objek Dengan Model YOLOv8 pada Pengenalan Bahasa Isyarat," *e-Journal Politeknik Harapan Bersama*, 2024.
- [7] C. P. Papadopoulos, J. M. Bober-Irizar, and P. Stokes, "Detecting and Recognizing Characters in Greek Papyri with YOLOv8, DeiT, and SimCLR," *arXiv preprint*, arXiv:2401.12513, Jan. 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2401.12513>
- [8] S. A. Pradana and N. A. Sari, "Implementasi YOLOv8 pada Deteksi Jenis Pohon Menggunakan Drone," *Open Library Telkom University*, 2024. [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/23353>
- [9] A. S. Syahrulfath, "Deteksi Furnitur di Dalam Ruang Secara Real-Time Menggunakan Metode YOLOv8 pada Single Board Computer," *ETD Universitas Gadjah Mada*, 2024.
- [10] A. Putra, "Analisa Deteksi Alat Pelindung Diri (APD) Pekerja Proyek Menggunakan Algoritma YOLOv8," *Repository Telkom University*, 2024.
- [11] B. A. Falahudin, "Pengembangan Sistem Inspeksi Menggunakan Model YOLOv8 Guna Mengurangi Kesalahan Pengambilan Barang pada PT XYZ," *ITS Repository*, 2024.
- [12] H. Ramadhan, "Sistem Perhitungan Jumlah Orang pada Bus Rapid Transit Menggunakan Algoritma YOLOv8 Berbasis Nvidia Jetson Nano," *Repository Telkom University*, 2023. [Online]. Available: <https://repository.telkomuniversity.ac.id/pustaka/216878/sistem-perhitungan-jumlah-orang-pada-bus-rapid-transit-menggunakan-algoritma-yolov8-berbasis-nvidia-jetson-nano-dalam-bentuk-buku-karya-ilmiah.html>
- [13] MB Herlambang, May 19 2018. Training dan Test set: <https://www.megabagus.id/training-set-test-set/>.

Rancang Bangun Sistem Penggerak Pada GPR (*Ground Penetrating Radar*)

Azmi Ardi Dilaga^{a)}, Erwin Renda Wardana^{a)}, Rendy Muslim Arifin^{a)}, Zaki Fadillah^{a)}, Putri Cahaya Lestari^{a)}, Rizky Augusta Gozzal^{a)}, Barokatun Hasanah^{a)}

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Kalimantan
Jl. Soekarno Hatta No.KM 15, Karang Joang, Kec. Balikpapan Utara,
Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76127
Email: 04231077@student.itk.ac.id

Abstrak

Ground Penetrating Radar (GPR) telah menjadi alat penting dalam pemetaan dan pencitraan bawah permukaan tanah. Namun, untuk meningkatkan presisi dan kontrol dalam penggunaan GPR, dibutuhkan sistem penggerak GPR menggunakan motor *stepper*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem penggerak yang memanfaatkan teknologi motor *stepper*. Penelitian ini fokus pada pentingnya kontrol yang tepat terhadap pergerakan GPR untuk meningkatkan akurasi pemindaian dan kualitas citra. Dengan mengintegrasikan motor *stepper* sebagai bagian dari sistem penggerak, penelitian ini berupaya meningkatkan presisi, keandalan, dan efisiensi GPR dalam pemindaian bawah permukaan *stepper* tanah. Melalui langkah-langkah rancang bangun yang terperinci, mengimplementasikan motor *stepper* untuk mengontrol pergerakan GPR secara terstruktur dan terukur. merancang dan membangun sistem penggerak GPR menggunakan motor *stepper* guna meningkatkan presisi dan kontrol dalam pemindaian bawah tanah. Integrasi antara GUI dan Arduino IDE dalam kontrol motor *stepper* terbukti efektif, memberikan kontrol yang konsisten dan akurat. Analisis kinerja menunjukkan bahwa motor *stepper* dengan driver A3967 memiliki akurasi tinggi, terutama dalam pergerakan sejauh 0.5 hingga 2 cm, dengan kesalahan yang tidak signifikan. Motor *stepper* juga menunjukkan konsistensi pada berbagai kecepatan, sementara hubungan langsung antara durasi pulsa dan *duty cycle* mempengaruhi kontrol kecepatan dan posisi dengan presisi. Dengan demikian, penggunaan motor *stepper* dalam sistem penggerak GPR meningkatkan presisi, kontrol, dan kualitas citra pemindaian tanah, mendukung aplikasi GPR dalam berbagai bidang seperti geologi, arkeologi, dan konstruksi

Kata kunci : GPR, Koordinat XY, *Stepper* Motor, Sistem Penggerak Otomatis, Arduino IDE, dan Presisi Pemindaian

Abstract

Ground Penetrating Radar (GPR) has become an essential tool in mapping and imaging subsurface features. However, to enhance precision and control in GPR usage, a GPR drive system utilizes *stepper* motor technology. The study focuses on the importance of precise control over GPR movement to improve scanning accuracy and image quality. By integrating *stepper* motors into the drive system, the research endeavors to enhance the precision, reliability, and efficiency of GPR in subsurface scanning. Through detailed design steps, the implementation of *stepper* motors aims to structurally and measurably control GPR movement. The design and construction of the GPR drive system using *stepper* motors aim to enhance precision and control in subsurface scanning. Through detailed design steps, the implementation of *stepper* motors aims to structurally and measurably control GPR movement. The design and construction of the GPR drive system using *stepper* motors aim to enhance precision and control in subsurface scanning. The integration of GUI and Arduino IDE in *stepper* motor control has proven effective, providing consistent and accurate control. Performance analysis indicates that *stepper* motors with A3967 drivers exhibit high accuracy, particularly in movements ranging from 0.5 to 2 cm, with insignificant errors. *Stepper* motors also demonstrate consistency across various speeds, while the direct relationship between pulse duration and *duty cycle* influences speed and position control with precision. Thus, the utilization of *stepper* motors in the GPR drive system improves precision, control, and image quality in subsurface scanning, supporting GPR applications in fields such as geology, archeology, and construction.

Keywords : GPR, XY Coordinates, *Stepper* Motor, Automated drive system, Arduino IDE, and Scanning Precision

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronika dalam beberapa tahun terakhir telah menghasilkan metode yang sangat efektif untuk pendeteksian bawah tanah, yakni *Ground Penetrating Radar* (GPR). Metode GPR memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk menghasilkan citra kondisi bawah permukaan bumi. Metode ini bersifat non-destruktif, memiliki resolusi tinggi, serta mampu memberikan gambaran bawah permukaan secara kontinu dan cepat, terutama dalam eksplorasi dangkal. Adanya beberapa singkapan batubara di sekitar blok Sungai Keruh membuat metode ini diterapkan untuk mencitrakan kondisi bawah tanah guna mengidentifikasi lapisan batubara di bawah permukaan dari singkapan yang terlihat di permukaan. (Jufri, dkk, 2015).

Info Makalah:
Dikirim : 05-26-2025;
Revisi 1 : 06-25-2025;
Revisi 2 : -
Diterima : 06-28-2025

Penulis Korespondensi:
Telp : +628xxxxxxx
e-mail :
04231072@student.ac.id

GPR telah menjadi sebuah alat yang sangat efektif dalam menggambarkan struktur bawah permukaan tanah, dan aplikasinya sangat luas, dari survei geologi hingga pemindaian arkeologi dan konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan presisi dan kendali penggerak dalam penggunaan GPR dengan merancang dan membangun sebuah sistem penggerak yang menggunakan motor *stepper*. Penelitian ini mengandalkan pentingnya pemindaian tanah yang akurat dan terstruktur sebagai landasan utamanya. Sistem penggerak yang optimal pada GPR memiliki peran krusial dalam menjamin akurasi pemindaian, kualitas citra, dan efisiensi penggunaan perangkat ini. Dengan memilih motor *stepper* sebagai elemen penggerak utama, tujuan kami adalah meningkatkan kontrol, presisi, dan keandalan sistem GPR dalam melakukan pemindaian.

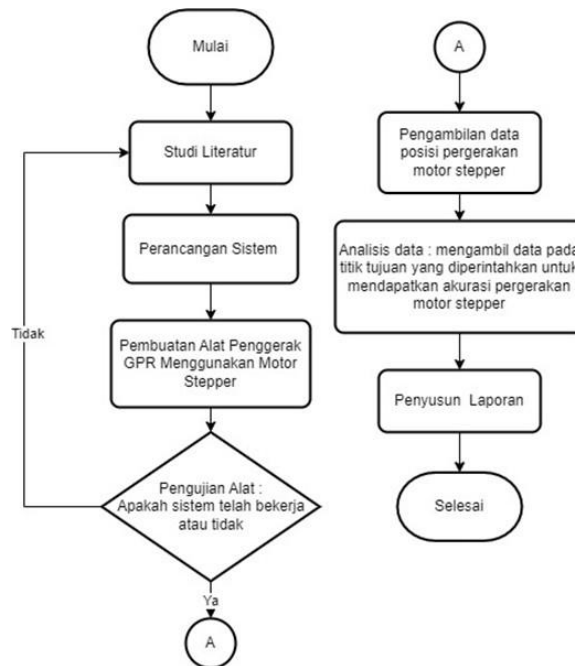
Motor *Stepper* adalah sebuah perangkat elektromekanis yang berfungsi dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis yang diskrit. Gerakan motor *stepper* tergantung pada urutan pulsa yang diberikan padanya. Pulsa digital yang disalurkan ke stator motor *stepper* menghasilkan gerakan rotasi pada rotor sesuai dengan langkah yang ditentukan. Setiap pulsa digital yang diterima oleh belitan stator menyebabkan rotor bergerak sejauh sudut tertentu, yang disebut sebagai langkah (step) angle. Langkah (step) tersebut mengacu pada jarak pergerakan rotor setiap kali menerima pulsa digital pada belitan stator. Untuk mencapai satu putaran penuh, motor *stepper* memerlukan serangkaian pulsa yang sesuai. Dengan demikian, motor *stepper* bergerak secara bertahap dengan jarak langkah yang konsisten setiap langkahnya. (Syarifudin, 2017).

Penerapan motor *stepper* dalam rancangan sistem penggerak pada GPR (*Ground Penetrating Radar*) memberikan keunggulan signifikan dalam mengontrol gerakan dengan presisi. Dalam konteks GPR, motor *stepper* digunakan untuk menggerakkan antena yang terpasang pada sistem untuk melakukan pemindaian permukaan tanah. Salah satu keunggulan utama penggunaan motor *stepper* pada GPR adalah kemampuannya untuk memberikan gerakan yang presisi dan terukur. Dengan kontrol yang akurat, motor *stepper* memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan posisi antena Vivaldi dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi, sebuah aspek krusial dalam memperoleh data yang tepat dan akurat dalam pemindaian tanah.

Berdasarkan studi sebelumnya, penelitian ini mengadopsi pendekatan motor *stepper* untuk meningkatkan pemindaian objek yang tersembunyi di bawah permukaan tanah dengan arah pemindaian yang disesuaikan pada GPR. Fokus penelitian ini adalah merancang dan membangun sebuah sistem penggerak menggunakan motor *stepper* yang memiliki kemampuan untuk mengontrol pergerakan dengan tingkat akurasi dan keterukuran yang tinggi.

II. METODE

Pada penelitian ini memiliki langkah-langkah penelitian dengan tahapan yang sistematis sehingga mencapai hasil penelitian dengan tujuan yang diharapkan. Tahapan sistematis yang dilakukan pada penelitian ini meliputi identifikasi studi literatur, perancangan sistem, pembuatan alat, pengujian alat, pengambilan data, analisis data, dan penyusunan laporan. Adapun Tahapan penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.



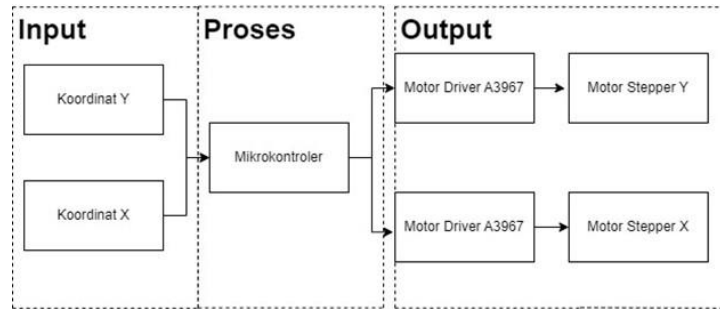
Gambar 1 Tahapan Penelitian

A. Perancangan sistem GPR menggunakan motor stepper

Sistem penggerak GPR dirancang dengan mengintegrasikan motor stepper untuk menggerakkan antena di atas media pasir. Desain sistem disesuaikan dengan dimensi media uji dan perakitan melibatkan beberapa komponen seperti Motor stepper nema 17, motor driver A3967, arduino mega, PSU 12V, aluminium profile, GT pulley 20T W6, timing belt, bracket nema 17, linear screw rod, jumper cable, serta PCB. Komponen-komponen tersebut dipilih untuk mendukung kestabilan gerak dan akurasi deteksi.

B. Blok Diagram

Sistem penggerak dikendalikan melalui mikrokontroler yang menerima input berupa koordinat X dan Y dari antarmuka pengguna berbasis GUI. Blok sistem dikategorikan menjadi tiga bagian utama yaitu input (Koordinat X dan Y), proses (Mikrokontroller) dan output (Driver A3967 dan Motor stepper NEMA 17). Komunikasi antara GUI dan mikrokontroler dilakukan melalui koneksi serial. Blok diagram sistem ditunjukkan pada Gambar 2.

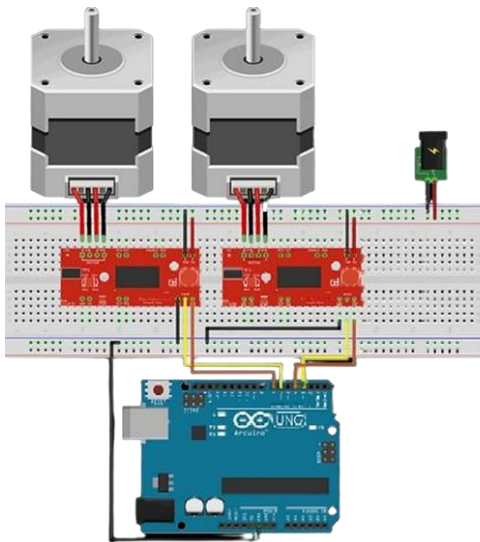


Gambar 2 Diagram Blok Sistem

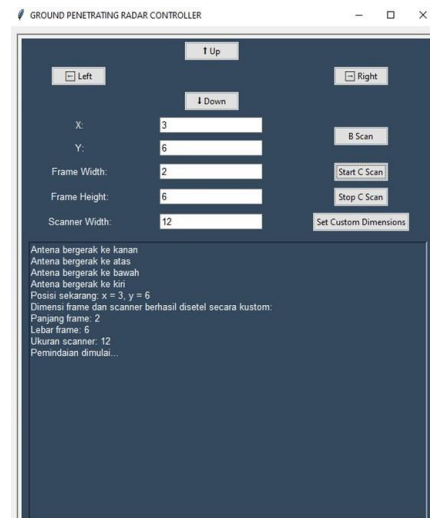
C. Skematik Sistem Penggerak

Sistem penggerak pada GPR ini menggunakan Arduino Mega sebagai pusat kendali untuk mengatur pergerakan motor stepper pada sumbu X dan Y. Antarmuka pengguna dirancang menggunakan GUI berbasis python, yang memungkinkan pengguna memasukkan nilai koordinat dan mengendalikan pergerakan motor secara manual atau otomatis.

Motor stepper dikendalikan melalui driver A3967 yang menerima sinyal step dan arah dari mikrokontroler. untuk meningkatkan presisi, sistem ini menggunakan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) dan mikrotesping. Sumber daya eksternal 12V digunakan untuk memastikan kestabilan sistem, GUI juga dilengkapi tombol arah dan fitur pemindaian seperti B-Scan serta pengaturan dimensi pemindahan sesuai kebutuhan. Skematik wiring Keseluruhan rangkaian pada sistem penggerak yang telah terhubung, serta tampilan GUI (Graphical User Interface) dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3 Skematik Sistem Penggerak



Gambar 4 Tampilan GUI pada Sistem

D. Pembuatan Alat

Proses pembuatan alat dimulai dengan merakit sistem penggerak GPR berdasarkan rangkaian skematik yang telah dirancang sebelumnya. Setiap komponen dirangkai sesuai konfigurasi sistem agar berfungsi secara optimal. Penyesuaian koneksi pin pada mikrokontroler dan driver motor dilakukan untuk memastikan sinyal kontrol dan daya tersambung dengan benar. Rincian konfigurasi dari masing-masing pin dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Keterangan PIN

Pin	Keterangan
GND dan 5 V (<i>Out</i>)	GND dan 5V (keluar) dari Catu Daya dihubungkan ke rel daya
GND dan 5V (<i>in</i>)	GND dan 5V (<i>in</i>) dari papan Easy Driver dihubungkan ke rel daya
GND Mega	GND dari Mega terhubung ke power rail GND papan
Easy Driver GND	Setiap Easy Driver GND terhubung ke power rail GND
Pin 3 dan 4 Mega	Pin 3 dan 4 Mega terhubung ke pin STEP dan DIR dari satu Easy Driver.
Pin 6 dan 7 Mega	Pin 6 dan 7 Mega terhubung ke pin STEP dan DIR Easy Driver lainnya.

E. Spesifikasi Alat

Dari Skematik Sistem yang dibuat juga terdapat spesifikasi dari alat yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

1. Motor Stepper

Jenis atau Motor Stepper yang digunakan dalam penelitian ini yaitu stepper motor NEMA 17. Adapun data spesifikasi Motor Stepper yang akan digunakan pada tabel berikut:

Tabel 2 Spesifikasi Stepper Motor NEMA 17

Keterangan	Nilai	Satuan
Dimension	6,8 * 4,2 * 4,2	cm
Weight	280	g
Diameter Shaft	5	mm
voltage	12	V
Rated Current	1.5	A W
Rated Power	5	N.cm
Holding Torque	40	

2. Motor Driver A3957

Jenis atau modul driver yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu motor driver A3957. Adapun data spesifikasi driver A3957 yang akan digunakan pada tabel berikut.

Tabel 3 Spesifikasi Motor Driver A3957

Keterangan	Nilai	Satuan
Dimension	47 * 20	mm
Ukuran Pin header	51 * 11	mm
Power supply range	7 - 30	V
Logic voltage	5	V

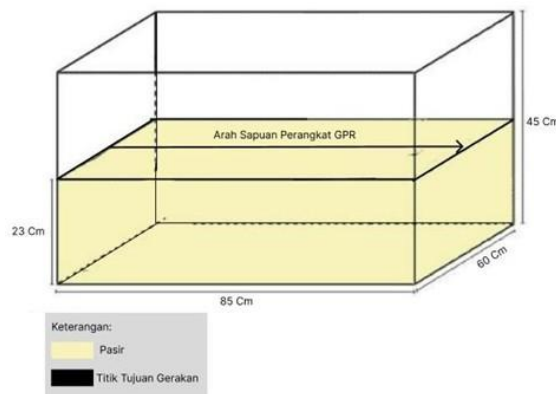
Pada tahap pengujian, alat akan diverifikasi kinerjanya. Perangkat pengukuran GPR ini terdiri dari beberapa bagian. antara lain motor stepper NEMA 17 untuk menggerakkan sumbu X dan Y agar lebih presisi, Arduino Mega sebagai pengendali utama untuk berbagai tugas dan mengontrol komponen elektronik, Power supply sebagai sumber tegangan untuk komponen, driver motor driver 13957 untuk mengoperasikan motor stepper bipolar, PCB sebagai papan rangkaian elektronik, serta software Arduino IDE untuk menjalankan motor atau melakukan pemindaian GUI sebagai antarmuka pengguna. Proses penggerakan alat dilakukan di atas permukaan pasir yang dirancang menggunakan motor stepper. Sistem penggerak akan dioperasikan dalam berbagai arah (maju, mundur, kiri, dan kanan) dengan menggunakan kontrol GUI untuk mencapai koordinat X dan Y yang diinginkan. Alternatifnya, pengguna dapat menentukan atau memasukkan koordinat X dan Y dengan menekan tombol GUI B-Scan, alat akan bergerak menuju koordinat yang telah ditentukan.

Selain itu, pengguna juga dapat memanggil fungsi untuk melakukan gerakan otomatis untuk memperoleh citra dari objek yang terkubur di dalam bak pasir, seperti yang diilustrasikan pada gambar 5, 6, dan 7. Cara menentukan koordinat saat melakukan pemindaian di area yang telah ditentukan adalah dengan menggunakan kontrol GUI untuk menavigasi arah atas, bawah, kiri, dan kanan, serta menggunakan fungsi B-Scan dengan mengatur Custom Dimensions.

F. Pengambilan Data

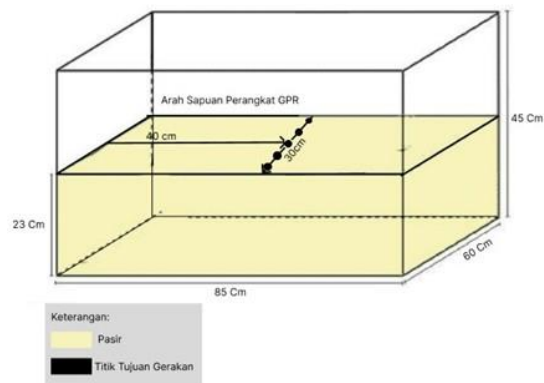
Pengambilan data dilakukan untuk menguji akurasi sistem penggerak GPR berdasarkan variasi titik dan jarak gerak. Alat diarahkan menuju lokasi berdasarkan input koordinat dari titik awal dan dilakukan pengamatan terhadap akurasi gerakan dengan tiga kali pengulangan. Terdapat tiga skema pengambilan data:

1. Pengambilan data awal alat digerakkan dari titik awal menuju titik tujuan dalam satu garis lurus melalui antarmuka GUI, dengan empat kali pengulangan untuk melihat pengaruh kecepatan terhadap akurasi posisi. Posisi lokasi pengambilan data dikonfigurasi sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar 5.



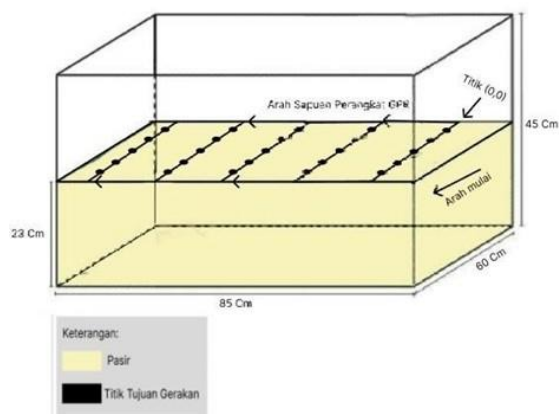
Gambar 5 Arah Pergerakan Percobaan Motor

2. Pengambilan data kedua dilaksanakan dengan pergerakan maju ke arah koordinat X dan kesamping arah koordinat Y, dilakukan proses pengulangan dengan jarak koordinat yang berbeda untuk mengamati hasil yang diperoleh. Konfigurasi lokasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Arah pergerakan B-Scan

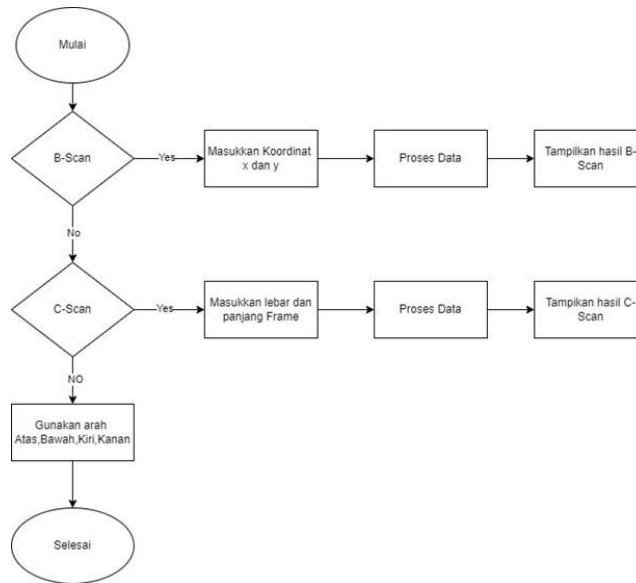
3. Pengambilan data ketiga dilakukan secara zig-zag dan akan dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali dengan kecepatan yang berbeda untuk mengetahui hasil data posisi alat dengan titik lokasi tujuan. Konfigurasi lokasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Arah Pergerakan C-Scan

G. Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian untuk “rancang Bangun Sistem Penggerak Pada GPR (*Ground Penetrating Radar*) Menggunakan Motor Stepper”.

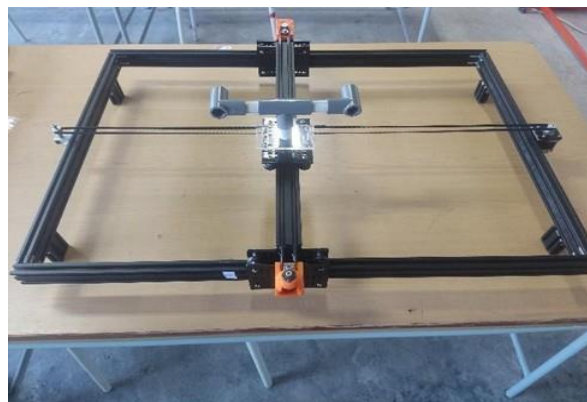


Gambar 8 Flowchart Cara kerja Sistem

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Perancangan Hardware

Hasil Perancangan *hardware* sistem penggerak GPR(*Ground Penetrating Radar*) memiliki beberapa bagian, Driver A3967, Arduino Mega, Motor Stepper Nema 17, Aluminium Profile V slot, Gantry Carts, dan PSU 12V hingga Antena Vivaldi.



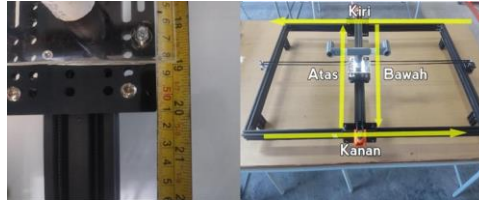
Gambar 9. Sistem Penggerak GPR

Pada gambar 9 merupakan hasil perancangan , motor stepper Nema 17 yang berfungsi sebagai penggerak koordinat x dan y dan Aluminium Profile. Aluminium Profile V slot dengan ukuran panjang 90 cm dan lebar 60 cm untuk pergerakan yang halus dan stabil. Dengan desain ini, aluminium profile V slot memberikan fleksibilitas dalam merancang dan membangun struktur yang sesuai dengan kebutuhan proyek, serta memudahkan pemasangan komponen-komponen tambahan seperti motor stepper.

B. Pengujian PMW Motor Stepper dengan driver A3967

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja motor *stepper* yang dikendalikan oleh driver A3967, dengan fokus pada analisis respons motor terhadap variasi durasi pulsa dan duty cycle. Melalui pengujian ini, diharapkan dapat diperoleh data yang akurat mengenai bagaimana variasi dalam durasi pulsa "High" dan "Low" mempengaruhi duty cycle dan performa keseluruhan motor *stepper*.

Pada pengujian terhadap motor stepper yang digunakan dalam sistem *Ground Penetrating Radar* (GPR) dengan menggunakan driver A3967, fokus dilakukan pada analisis respons motor stepper terhadap perintah yang diberikan serta pengukuran akurasi pergerakan motor dalam menjalankan langkah-langkah tertentu. Pengujian ini secara khusus memperhatikan hubungan antara pergerakan motor stepper dan jumlah langkah yang dijalankan. Sebagai aspek penting, penelitian ini mengeksplorasi korelasi antara pergerakan motor stepper dengan perpindahan yang diinginkan pada permukaan tanah.



Gambar 9 Pengujian Motor Stepper Dengan Driver A3967

Pada gambar 9 merupakan pengujian yang dilakukan untuk membandingkan data akurasi yaitu jarak yang didapat pada pergerakan motor menggunakan driver A3967 pengujian ini yang dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 data pengujian motor dimana menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan bergerak 0.5 cm sampai 2 cm ke setiap arah seperti atas, bawah, kiri, dan, kanan kemudian dilakukan pengujian custom frame dimana motor bergerak zigzag seperti pada gambar 7.

Tabel 4 Tabel pengujian gerakan motor menggunakan Arduino IDE

Waktu Delay Setiap Step (ms)	Pergerakan Arah Motor	Error			
		2 cm	1.5 cm	1 cm	0.5 cm
		800 Step	600 step	400 Step	200 Step
1	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0
5	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0
10	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0

Tabel 5 Pengujian Custom Frame

Pengujian Custom Frame (400 Step / 1 cm)					
Ukuran Custom Frame (cm)		Hasil Pengukuran (cm)		Error	
Panjang (x)	Lebar (y)	x	y	x	y
3	5	3	5	0	0

5	5	5	5	0	0
10	8	10	8	0	0
10	10	10	10	0	0
12	12	12	12	0	0

Dari analisis Tabel 4 dan 5, motor stepper yang menggunakan driver A3967 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam pergerakan antara 2 cm (800 langkah) hingga 0.5 cm (200 langkah) dengan waktu delay setiap step konstan 1 mili detik (ms). Tidak terdapat kesalahan atau penyimpangan yang melebihi 2 cm hingga 0.5 cm dalam semua arah (atas, bawah, kiri, kanan) pada pengujian menggunakan aplikasi Arduino IDE. Selain itu, data yang tersedia juga tidak menunjukkan adanya pengaruh kecepatan terhadap akurasi pergerakan motor stepper. Hal ini menegaskan bahwa motor stepper mampu mempertahankan tingkat akurasi yang konsisten pada berbagai kecepatan. Selain itu, pengujian khusus pada *Custom Frame* menunjukkan bahwa perubahan jarak pada sumbu x dan y tidak menghasilkan kesalahan atau perbedaan jarak dari ukuran yang ditentukan.

C. Pengujian Motor Stepper Dengan Gerakan B-Scan



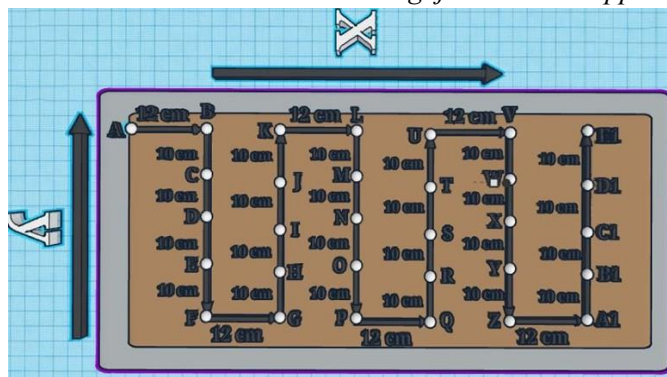
Gambar 10. Arah Pergerakan B-Scan

Tabel 6 Tabel pengujian gerakan B-Scan menggunakan Arduino IDE

Waktu Delay Setiap step (ms)	Posisi Awal (cm)		Koordinat		Hasil Pengukuran		Error	
					1 cm (400 Step)			
	x	y	x	y	x	y	x	y
1	76	50	-3	4	73	53.9	0	0.1
	70	40	5	-5	75	34.9	0	0.1
	60	30	-10	10	50	39.9	0	0.1
5	76	50	-3	4	73	53.9	0	0.1
	70	40	5	-5	75	34.9	0	0.1
	60	30	-10	10	50	39.9	0	0.1

Dalam serangkaian pengujian B-Scan untuk pergerakan motor ke sumbu x dan y, dapat dilihat dari tabel 6 bahwa setiap perpindahan sejauh 1 cm membutuhkan 400 langkah motor. Meskipun telah mengimplementasikan pengendalian melalui kode Arduino IDE, observasi menunjukkan adanya kesalahan yang konsisten. Pada percobaan pertama, dimana pengujian menargetkan koordinat x 76 cm dan y 50 cm dengan menggunakan delay 1 milidetik (ms) untuk setiap step dilakukan oleh motor. Meskipun pergerakan sumbu x terjadi tanpa kesalahan yang signifikan, hasil mencatat adanya kesalahan sebesar 0.1 cm pada pergerakan sumbu y. Uji ulang dengan delay yang sama atau bahkan lebih lama, yakni 5 detik, menghasilkan hasil yang serupa. Percobaan kedua, yang menargetkan koordinat x 70 cm dan y 40 cm, menghasilkan pengamatan yang serupa. Meskipun pergerakan sumbu x tetap konsisten, kesalahan sebesar 0.1 cm terlihat pada pergerakan sumbu y, bahkan dengan uji ulang dengan delay yang sama. Dalam percobaan ketiga, yang menargetkan koordinat x 60 cm dan y 30 cm, kesalahan pada pergerakan sumbu y juga tetap konsisten pada 0.1 cm. Meskipun memperpanjang delay menjadi 5 ms, hasilnya tidak berubah. Kesalahan ini kemungkinan terjadi karena motor stepper pada sumbu y mengalami beban tambahan. Misalnya, kekakuan kabel yang menghambat gerakan vertikal (atas dan bawah), sehingga motor lebih rentan terhadap kesalahan posisi.

D. Pengujian Motor Stepper Dengan Gerakan C- Scan



Gambar 11 Alat Pergerakan C-Scan

Tabel 7 Tabel pengujian gerakan C-Scan menggunakan Arduino IDE

Gerakan	Titik	Target Jarak (cm)	Pengukuran Jarak (cm)	Error
1	A-B	12	11.5	0.5
2	B-C	10	10	0
3	C-D	10	9.8	0.2
4	D-E	10	9.8	0.2
5	E-F	10	9.8	0.2
6	F-G	12	11.9	0.1
7	G-H	10	9.5	0.5
8	H-I	10	9.5	0.5
9	I-J	10	9.5	0.5
10	J-K	10	9.5	0.5
11	K-L	12	11.9	0.1
12	L-M	10	9.8	0.2
13	M-N	10	9.8	0.2

14	N-O	10	9.8	0.2
15	O-P	10	9.8	0.2
16	P-Q	12	11.8	0.2
17	Q-R	10	9.5	0.5
18	R-S	10	9.5	0.5
19	S-T	10	9.5	0.5
20	T-U	10	9.5	0.5
Gerakan	Titik	Target Jarak (cm)	Pengukuran Jarak (cm)	Error
21	U-V	12	11.8	0.2
22	V-W	10	9.5	0.2
23	W-X	10	9.5	0.2
24	X-Y	10	9.5	0.2
25	Y-Z	10	9.5	0.2
26	Z-A1	12	11.8	0.2
27	A1-B1	10	9.8	0.5
28	B1-C1	10	9.8	0.5
29	C1-D1	10	9.8	0.5
30	D1-E1	10	9.8	0.5
Rata - Rata				0.4

Dalam rangkaian pengujian motor stepper untuk pergerakan C-Scan, hasil yang terdokumentasi dalam Tabel 7 mengungkapkan beberapa pola kesalahan yang signifikan. Pada pengujian pertama, terdapat enam titik untuk pergerakan sumbu x, dengan setiap gerakan seharusnya menempuh jarak 12 cm atau setara dengan 4800 langkah. Namun, terjadi kesalahan yang bervariasi, di mana error pertama mencapai 0.5 cm, sementara kesalahan berikutnya berkisar antara 0.1 cm hingga 0.2 cm. Demikian pula, pengujian pada pergerakan sumbu y juga menunjukkan ketidakakuratan yang serupa. Pada setiap pengujian, kesalahan yang konsisten sebesar 0.2 cm tercatat hingga empat kali. Pengujian yang berikutnya menunjukkan pola yang serupa, dengan kesalahan yang sama terjadi sebanyak empat kali. Namun, terdapat perbedaan signifikan pada pengujian keempat, di mana kesalahan mencapai 0.5 cm. Pengujian selanjutnya kembali menunjukkan kesalahan sebesar 0.2 cm, kemudian pada pengujian terakhir di mana kesalahan mencapai 0.5 cm dan terjadi sebanyak empat kali dari semua pengujian pada gerakan C-Scan didapatkan error rata-rata mencapai 0.4 cm. nilai error yang didapat dapat terjadi karena gangguan luar seperti getaran atau guncangan lebih tinggi. Gangguan ini dapat mengganggu pergerakan motor dan menyebabkan ketidakakuratan.

E. Pengujian Menggunakan GUI

Tabel 8 Tabel pengujian gerakan motor menggunakan GUI

Waktu Delay Setiap Step (Detik)	Pergerakan Arah Motor	Error			
		2 cm	1.5 cm	1 cm	0.5 cm
		800 Step	600 step	400 Step	200 Step
1	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0

5	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0
10	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0

Tabel 9 Tabel pengujian gerakan B-Scan menggunakan GUI

Waktu Delay Setiap Step (Detik)	Posisi Awal (cm)		Koordinat		Hasil Pengukuran		Error	
					1 cm (400 Step)			
	x	y	x	y	x	y	x	y
1	76	50	-3	4	73	53.9	0	0.1
	70	40	5	-5	75	34.9	0	0.1
	60	30	-10	10	50	39.9	0	0.1
5	76	50	-3	4	73	53.9	0	0.1
	70	40	5	-5	75	44.9	0	0.1
	60	30	-10	10	50	39.9	0	0.1

Tabel 10 Tabel pengujian gerakan C-Scan menggunakan GUI

Gerakan	Titik	Target Jarak (cm)	Pengukuran Jarak (cm)	Error
1	A-B	12	11.5	0.5
2	B-C	10	10	0
3	C-D	10	9.8	0.2
4	D-E	10	9.8	0.2
5	E-F	10	9.8	0.2
6	F-G	12	11.9	0.1
7	G-H	10	9.5	0.5
8	H-I	10	9.5	0.5
Gerakan	Titik	Target Jarak (cm)	Pengukuran Jarak (cm)	Error
9	I-J	10	9.5	0.5
10	J-K	10	9.5	0.5
11	K-L	12	11.9	0.1
12	L-M	10	9.8	0.2
13	M-N	10	9.8	0.2
14	N-O	10	9.8	0.2
15	O-P	10	9.8	0.2

16	P-Q	12	11.8	0.2
17	Q-R	10	9.5	0.5
18	R-S	10	9.5	0.5
19	S-T	10	9.5	0.5
20	T-U	10	9.5	0.5
21	U-V	12	11.8	0.2
22	V-W	10	9.5	0.2
23	W-X	10	9.5	0.2
24	X-Y	10	9.5	0.2
25	Y-Z	10	9.5	0.2
26	Z-A1	12	11.8	0.2
27	A1-B1	10	9.8	0.5
28	B1-C1	10	9.8	0.5
29	C1-D1	10	9.8	0.5
30	D1-E1	10	9.8	0.5
Rata - Rata				0.4

Dalam rangkaian pengujian motor stepper untuk pergerakan C-Scan, hasil yang terdokumentasi dalam Tabel 10 mengungkapkan beberapa pola kesalahan yang signifikan. Pada pengujian pertama, terdapat enam titik untuk pergerakan sumbu x, dengan setiap gerakan seharusnya menempuh jarak 12 cm atau setara dengan 4800 langkah. Namun, terjadi kesalahan yang bervariasi, di mana error pertama mencapai 0.5 cm, sementara kesalahan berikutnya berkisar antara 0.1 cm hingga 0.2 cm. Demikian pula, pengujian pada pergerakan sumbu y juga menunjukkan ketidakakuratan yang serupa. Pada setiap pengujian, kesalahan yang konsisten sebesar 0.2 cm tercatat hingga empat kali. Pengujian yang berikutnya menunjukkan pola yang serupa, dengan kesalahan yang sama terjadi sebanyak empat kali. Namun, terdapat perbedaan signifikan pada pengujian keempat, di mana kesalahan mencapai 0.5 cm. Pengujian selanjutnya kembali menunjukkan kesalahan sebesar 0.2 cm, kemudian pada pengujian terakhir di mana kesalahan mencapai 0.5 cm dan terjadi sebanyak empat kali dari semua pengujian pada gerakan C-Scan didapatkan error rata-rata mencapai 0.4 cm. Nilai error yang didapat dapat terjadi karena gangguan luar seperti getaran atau guncangan lebih tinggi. Gangguan ini dapat mengganggu pergerakan motor dan menyebabkan ketidakakuratan.

IV. KESIMPULAN

Perancangan sistem penggerak dalam sistem *Ground Penetrating Radar* (GPR) dilakukan dengan menggunakan motor stepper untuk menggerakkan komponen-komponen yang diperlukan. Motor stepper dipilih karena kemampuannya memberikan pergerakan yang presisi dan terkontrol. Dari hasil data percobaan yang diperoleh, nilai error yang terjadi tidak terlalu signifikan, yang menunjukkan bahwa sistem penggerak ini memiliki performa yang stabil. Selanjutnya, dilakukan penyinkronan antara aplikasi antarmuka pengguna (*Graphical User Interface/GUI*) yang dikembangkan menggunakan *Python* dan aplikasi *Arduino IDE* dengan sistem kontrol motor stepper. Penyelarasan ini bertujuan agar pengguna dapat mengoptimalkan operasional motor stepper sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi GPR. Meskipun dikendalikan melalui dua antarmuka yang berbeda, hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara data yang dihasilkan oleh GUI dan aplikasi *Arduino IDE*. Hal ini menandakan bahwa keduanya mampu memberikan kontrol yang efektif dan konsisten terhadap motor stepper.

Analisis terhadap kinerja sistem penggerak pada GPR yang menggunakan motor stepper dengan driver A3967 menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi, khususnya pada

pergerakan sejauh 0,5 cm (200 langkah) hingga 2 cm (800 langkah). Nilai kesalahan atau error yang diperoleh juga tergolong tidak signifikan, baik pada arah pergerakan horizontal maupun vertikal, berdasarkan pengujian yang dilakukan menggunakan aplikasi *Arduino IDE* dan *GUI Python*. Selain itu, pengaruh variasi kecepatan terhadap akurasi pergerakan motor stepper turut dianalisis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor stepper mampu mempertahankan tingkat akurasi yang konsisten meskipun mengalami perubahan kecepatan. Uji coba terhadap parameter sinyal kendali juga menunjukkan adanya hubungan langsung antara durasi pulsa dalam kondisi logika tinggi (*high*) dengan nilai *duty cycle*. Peningkatan durasi pulsa menyebabkan peningkatan *duty cycle*, yang berperan penting dalam pengaturan kecepatan dan posisi motor stepper secara presisi. Temuan ini menjadi aspek penting dalam optimalisasi sistem kendali motor stepper pada aplikasi GPR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada LPPM ITK atas bantuan dan kerjasama yang diberikan sangat mendukung kelancaran pelaksanaan penulisan jurnal ini dari awal hingga penyusunan laporan. Semoga hasil penulisan jurnal ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan memberikan kontribusi positif bagi para mitra yang terlibat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Asikin, *Geologi Struktur Indonesia*. Bandung: Jurusan Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung, 1998.
- [2] A. S. Bahri, Supriyanto, dan B. J. Sentosa, “Penentuan Karakteristik Dinding Gua Seropan Gunung kidul Dengan Metode Ground Penetrating Radar,” Prodi Geofisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2010.
- [3] D. J. Daniel, *Ground Penetrating Radar*. IEEE Radar Series, London, 2004.
- [4] I. K. Dewi, K. Mashendra, S. Putri, dan Y. Maulindra, “Identifikasi Litologi pada Lahan Gambut dengan Penerapan Metode Ground Penetrating Radar di Desa Jati Mulyo,” *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*, vol. 10, no. 1, pp. 166-177, Jan. 2023.
- [5] D. J. Daniel, *Surface Penetrating Radar*. London: The Institution of Electrical Engineers, 1996.
- [6] J. Ersuo *et al.*, “On the polymorphic and morphological changes of cellulose nanocrystals (CNC-I) upon mercerization and conversion to CNC-II,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 143, pp. 327–335, 2016.
- [7] E. Elfarabi, A. Widodo, dan F. Syaifudin, “Pemetaan Bawah Permukaan Pada Daerah Tanggulangin, Sidoarjo Dengan Menggunakan Metoda Ground Penetrating Radar (GPR),” *Jurnal Geosaintek*, vol. 3, no. 1, pp. 45-50, 2017.
- [8] M. Grasmueck, R. J. Weger, dan H. Horstmeyer, “Full-resolution 3D GPR imaging,” *Geophysics*, vol. 70, no. 1, pp. K12–K19, 2005.
- [9] Handson, “CNC Shield V3 for Arduino UNO - Stepper Motor Controller.” [Online]. Available: <http://qctrading.com.my/cnc-shield-v3-stepper-motor-controller-a4988>. [Diakses: 8 Juli 2019].
- [10] V. S. Heteren, D. M. Fitzgerald, P. A. McKinlay, dan I. V. Buynevich, “Radar Facies of Paraglacial Barrier System, Coastal New England, USA,” *Sedimentology*, 1998.

- [11] Y. Iswati, "Analisis Core dan Defleksi LOS Untuk Mengetahui Lingkungan Pengendapan dan Menentukan Cadangan Batubara di Banko Barat Pit 1, Sumatera Selatan," Skripsi, Universitas Lampung, 2012.
- [12] R. Knight, "Ground Penetrating Radar for Environment Application," *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 29, pp. 229-255, 2001.
- [13] R. P. Koesoemadinata, "Tertiary Coal Basin of Indonesia," *United Nation ESCAP, CCOP Technical Bulletin*, Bandung, 1978.
- [14] F. Oktafiani, S. Sulistyaningsih, dan Y. N. Wijayanto, "Sistem Ground Penetrating Radar Untuk Mendeteksi Benda-benda Di Bawah Permukaan Tanah," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 53–57, 2010.
- [15] M. A. Saputra, H. Wijanto, dan Y. Wahyu, "Antena vivaldi antipodal sirkular ultra wide-band (UWB) untuk radar tembus tembok," *Prosiding Semnastek*, 2018.

Analisis Quality Of Service (QoS) Jaringan Internet Berbasis Wireless Local Area Network di Gedung Fakultas Psikologi Unjani

Nivika Tiffany Somantri^{1*)}, Rendi Djuliansyah²⁾, Fauzi Haz³⁾, Atik Charisma⁴⁾

1,2,3,4)Program Studi Teknik Elektro
Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

*)Korespondensi : nivika.tiffany@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Gedung Fakultas Psikologi Unjani, seiring dengan digitalisasi berbagai layanan administrasi, pelayanan publik bagi mahasiswa dan kebutuhan Dosen terdapat fasilitas *internet WLAN* yang semakin meningkat. Permasalahan yang sering timbul yaitu dalam hal kualitas jaringan internet, terutama pada hari hari sibuk disebabkan karena banyaknya pengguna mengakses jaringan secara bersamaan. Metode penelitian yang digunakan meliputi pengukuran langsung pada jaringan *WLAN* yaitu *Access Point* Aruba AP-505 *Wi-Fi* 6, frekuensi 5 GHz. Pengukuran dilakukan selama 4 hari secara *Streaming You Tube*, menggunakan *Software Wireshark* pada laptop *Acer RYZEN 5*. Pengambilan data dilakukan selama 5 menit dalam satu hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas jaringan *WLAN* di Gedung Fakultas Psikologi Unjani hasilnya bersifat variatif dengan hasil rata-rata indeks keseluruhan dari enam hari tersebut dengan nilai rata-rata *delay* 4,899 ms - 13,83 ms, indeks di angka 4. Rata-rata *Jitter* yaitu 1,996 ms - 3,915 ms, dengan indeks 3. *Packet loss*, yang cukup tinggi dari 3,475% - 10,02%, dengan indeks 3. *Throughput* mulai dari 55,75 Kbps/s - 20.197,75 Kbps/s, dengan indeks yang bervariasi antara 2 hingga 4. Berdasarkan keseluruhan hasil rata-rata indeks dari enam hari tersebut didapatkan hasil sebesar 3.42, menunjukkan bahwa kualitas jaringan tersebut dapat diakategorikan sangat memuaskan.

Kata kunci : *WLAN, Access Point, Quality of Service (QoS), TIPHON, Wireshark, Aruba AP-505*

Abstract

The Faculty of Psychology building at Unjani, in line with the digitalization of various administrative services, public services for students, and the needs of faculty members, has seen an increasing demand for *WLAN internet facilities*. The common issue that arises is the quality of the internet network, especially on busy days, due to the high number of users accessing the network simultaneously. The research method used includes direct measurements on the *WLAN network*, specifically on the *Aruba AP-505 Wi-Fi 6 Access Point*, with a frequency of 5 GHz. Measurements were taken over four days by streaming *YouTube* using *Wireshark* software on an *Acer RYZEN 5 laptop*. The research results indicate that the *WLAN network quality* in the Faculty of Psychology building at Unjani is variable. Based on the average index results over six days, the average *delay* ranged from 4.899 ms to 13.83 ms, with an index of 4. The average *jitter* was between 1.996 ms and 3.915 ms, with an index of 3. *Packet loss*, which was relatively high, ranged from 3.475% to 10.02%, with an index of 3. *Throughput* ranged from 55.75 Kbps/s to 20,197.75 Kbps/s, with an index varying between 2 and 4. Based on the overall average index results from the six days, a score of 3.42 was obtained, indicating that the network quality can be categorized as highly satisfactory.

Keywords : *WLAN, Access Point, Quality of Service (QoS), TIPHON, Wireshark, Aruba AP-505*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi di Indonesia sangat pesat yang telah menjadikan internet sebagai bagian penting dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu teknologi yang mendukung akses internet adalah *Wireless Local Area Network (WLAN)*, yang memungkinkan koneksi tanpa kabel di area terbatas. *WLAN* telah digunakan secara luas di berbagai tempat umum seperti perkantoran, rumah sakit, khususnya dilingkungan kampus yaitu di Gedung Fakultas Psikologi Unjani, untuk memberikan

kemudahan akses internet bagi mahasiswa dan dosen. Namun, seiring dengan peningkatan penggunaan, kualitas layanan (*Quality of Service/QoS*) jaringan berbasis *WLAN* menjadi faktor penting yang harus diperhatikan, untuk memastikan bahwa jaringan mampu memberikan performa yang optimal, terutama di tengah tingginya permintaan akan akses internet cepat dan stabil.

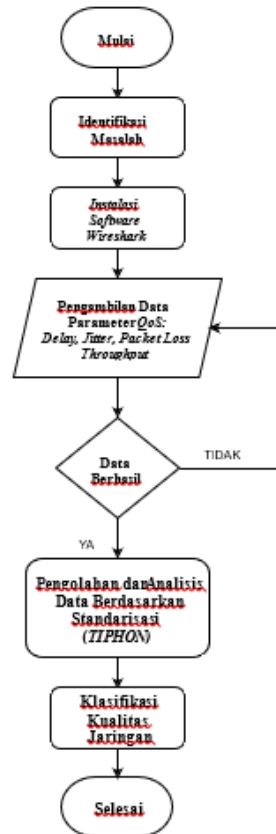
Penelitian terdahulu yang dilakukan UIN Suska Riau menganalisis kinerja internet pada akun mahasiswa dan staf pengajar/dosen. Akun mahasiswa memperoleh indeks *throughput* sebesar 3,25 baik pada jam sibuk maupun di luar jam sibuk, yang menunjukkan kualitas baik. Namun, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* dinilai buruk baik pada jam sibuk maupun sepi, dengan indeks *packet loss* sebesar 1,96 pada jam sibuk dan 2,10 pada jam di luar jam sibuk, yang menunjukkan kualitas sedang. Sebaliknya, akun staf pengajar/dosen menunjukkan kualitas sedang untuk *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* pada jam sibuk, sedangkan kualitas meningkat menjadi baik pada jam di luar jam sibuk [1].

PT. Lintang Media Infotama telah melakukan analisis dan memberikan rekomendasi untuk perbaikan kinerja jaringan yang ada guna meningkatkan kualitas layanan. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah *Quality of Service*, yang. Berdasarkan analisis dan perhitungan dari parameter metode *Quality of Service*, diperoleh nilai 3,75 dengan indeks 3, yang menunjukkan bahwa jaringan tersebut tergolong dalam kategori hasil Memuaskan. Namun, hasil dari pelanggan kelima menunjukkan kategori Kurang Memuaskan. Oleh karena itu, rekomendasi yang diberikan kepada perusahaan mencakup Perbaikan Infrastruktur Jaringan,[2].

Beberapa yang menjadi masalah adalah jika konektivitas suatu daerah pada saat keadaan ramai atau pengguna banyak maka jaringan penduduk mengalami gangguan, hal ini disebabkan karena *Quality of Service* jaringan sedang buruk. Jaringan berbasis *Wireless LAN (WLAN)* harus memiliki standar layanan atau *Quality of Services*. Dari permasalahan tersebut, dapat diangkat sebagai bahan penelitian untuk pengetahuan dan bisa mengetahui parameter *Quality of Service* yang ada di Gedung Fakultas Psikologi Unjani.

Di Gedung Fakultas Psikologi Unjani, seiring dengan digitalisasi berbagai layanan administrasi, pelayanan publik dan kebutuhan Dosen terdapat fasilitas internet *WLAN* yang semakin meningkat dan banyaknya pengguna akan akses internet. Dengan adanya berbagai masalah dan kendala yang dialami, maka dilakukanlah penelitian yang mendasari penulis untuk menyusun Tugas Akhir berjudul “ANALISIS *QUALITY OF SERVICE (QOS)* JARINGAN INTERNET BERBASIS *WIRELESS LOCAL AREA NETWORK* DI GEDUNG FAKULTAS PSIKOLOGI UNJANI” untuk melakukan pengukuran dan analisis mendalam terhadap parameter *Quality of Service*.

II. METODE



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan yaitu metode kuantitatif menggunakan pendekatan objektif dan terukur, di mana data yang dikumpulkan berupa angka yang dapat dianalisis secara statistik.

Pada gambar 3.1 diagram Alir Penelitian tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap Identifikasi Masalah

Tahapan ini melibatkan pengumpulan informasi umum tentang kondisi jaringan, misalnya laporan mahasiswa (pengguna) atau indikasi adanya gangguan dalam kinerja jaringan.

2. Pada Tahap instalasi

Menginstal *software Wireshark* untuk memonitoring atau pengukuran jaringan Parameter *QoS*.

3. Pada Tahap Pengumpulan Data

Melakukan pengujian secara *end to end* sesuai pada waktu dan tempat yang di tentukan yaitu di Gedung Fakultas Psikologi Unjani yang terdapat 4 lantai dengan jumlah 29 *Access Point* Selama 6 hari, Pada tahap ini melakukan pengukuran parameter *Quality of Service* seperti *Delay*, *Jitter*, *Throughput*, dan *Packet loss* dengan menggunakan *Software Wireshark*, pengukuran tersebut dilakukan secara per lantai dengan pengambilan data secara di waktu yaitu selama 5 menit.

4. Pada Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Data yang diambil akan diolah dan dianalisis, yang akan dilakukan dengan evaluasi, sebuah penarikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

5. Pada Tahap Klasifikasi Kualitas Jaringan

Klasifikasi disini dengan menjumlahkan semua parameter seperti *Delay*, *Jitter*, *Throughput*, dan *packet loss* perhari didapatkan 2 hasil, hasil pertama yaitu hasil rata-rata parameter perhari hasil ini didapatkan secara menjumlahkan hasil parameter perantai dibagi dengan jumlah lantai yaitu 1-4 lantai selama enam hari, hasil kedua yaitu rata rata keseluruhan dengan menggunakan indeks dari standarisasi parameter *QoS (TIPHON)* pada tabel 1 sampe 4 yaitu dengan indeks 1-4, hasil keseluruhan indeks ini menggunakan hasil dari rata-rata parameter perhari.

Tabel 1. Kategori *Delay* (Sumber *TIPHON*)

Nilai <i>Delay/Latensi</i>	Besar <i>Delay</i> (ms)	Indeks
Sangat Bagus	<150 ms	4
Bagus	150 s/d 300 ms	3
Sedang	300 s/d 450 ms	2
Jelek	>450 ms	1

Tabel 2. Kategori *Packet Loss* (Sumber *TIPHON*)

Kategori Degredasi	<i>Packet Loss</i> (%)	Indeks
Sangat Bagus	0%	4
Bagus	3%	3
Sedang	15%	2
Jelek	25%	1

Tabel 3. Kategori *Jitter* (Sumber *TIPHON*)

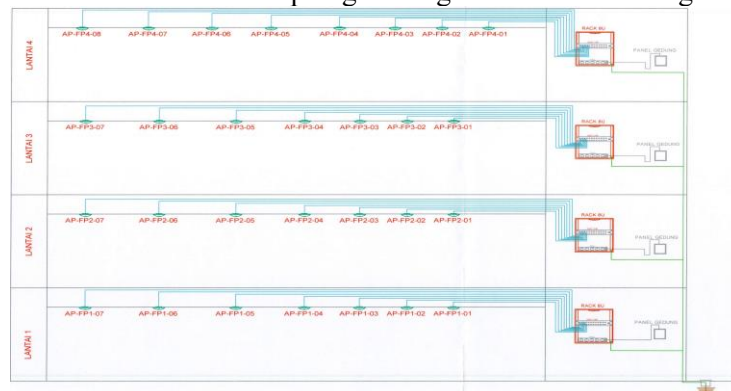
Kategori Degredasi	<i>Jitter</i> (ms)	Indeks
Sangat Bagus	0 ms	4
Bagus	0 s/d 75 ms	3
Sedang	75 s/d 125 ms	2
Jelek	125 s/d 225 ms	1

Tabel 4. Kategori *Throughput* (Sumber *TIPHON*)

Kategori Degredasi	<i>Throughput</i> (kbps)	Indeks
Sangat Bagus	>100	4
Bagus	75	3
Sedang	50	2
Jelek	<25	1

A. Topologi Jaringan Fakultas Psikologi Unjani

Topologi jaringan pada Fakultas Unjani yaitu dengan menggunakan jenis topologi *Ring*. Topologi *Ring* disebut juga sebagai topologi cincin, dan bentuknya tidak identik dengan cincin yang digunakan. Semua bagian dari komputer jaringan terhubung dalam sebuah cincin. *Ring* ini berfungsi sangat mirip dengan *hub* pada topologi *star*, yang berfungsi sebagai titik pusat untuk menghubungkan ujung-ujung kabel semua komputer yang terhubung. Topologi *ring* ini adalah topologi cincin yang bertindak sebagai terminal, terminal yang lain berfungsi dan tidak tersentuh, yang akan terjadi jika nda berada di arah berjalan. Untuk topologi cincin dan tiga fungsi penting yang diperlukan: penyisipan data, penerimaan data, dan transmisi data. Berikut Gambar 2 Topologi Jaringan Fakultas Psikologi Unjani.



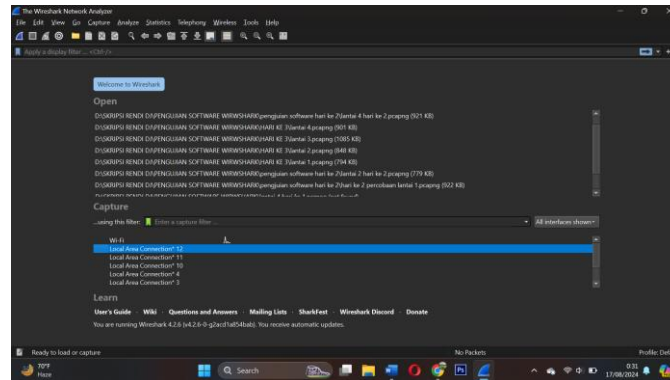
Gambar 2. Topologi Jaringan Fakultas Psikologi Unjani

Analisis Quality Of Service (QoS) Jaringan Internet Berbasis Wireless Local Area Network di Gedung Fakultas Psikologi Unjani ***(Nivika Tiffany Somantri, Rendi Djuliansyah, Fauzia Haz, Atik Charisma: Halaman 60 - 71)***

Pada gambar 2 Topologi Jaringan di Fakultas Psikologi yang merupakan bentuk percabangan dari topologi jaringan utama, pada gambar tersebut terdapat 4 lantai setiap lantainya terisi beberapa *Access Point* yang berbeda-beda, jumlah keseluruhannya yaitu 29 *Access Point*.

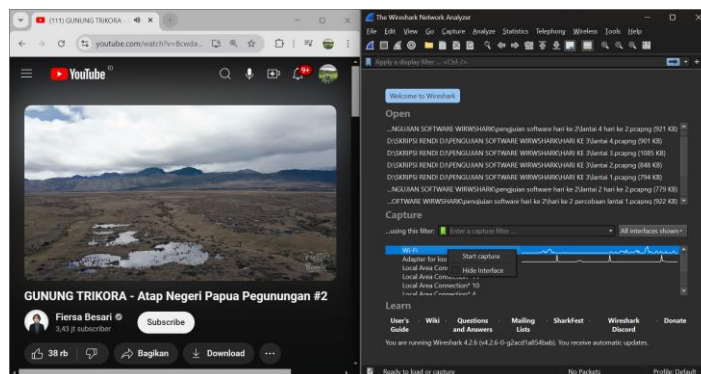
B. Prosedur Pengujian Software Wireshark secara Streaming You Tube

Dalam penelitian ini, terdapat prosedur yang harus diikuti untuk pengumpulan data menggunakan *Software Wireshark* secara *Streaming You Tube*. Prosedur tersebut dijelaskan sebagai berikut. Langkah pertama yaitu menjalankan *Software Wireshark*, Setelah dijalankan, terdapat tampilan awal seperti pada gambar 3 dibawah ini.



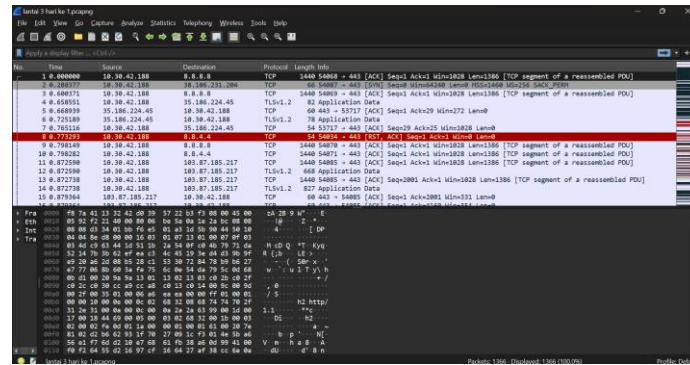
Gambar 3. Tampilan awal *Software Wireshark*

Pada tampilan awal dibagian tengah layar, *Wireshark* menampilkan daftar *Interface* yang tersedia yang sudah tersimpan, dibawahnya terdapat pilihan *Capture data* untuk melakukan *monitoring* yang dimana penelitian ini menggunakan jaringan *WLAN/Wifi* untuk melakukan *start Capture*. Sebelum melakukan *Monitoring/Start Capture* pada jaringan *Wifi*, terlebih dahulu untuk membuka browser lalu *Search You Tube* untuk menjalankan *streaming video* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Tampilan layar *Streaming You Tube* dan layar utama *Wireshark*

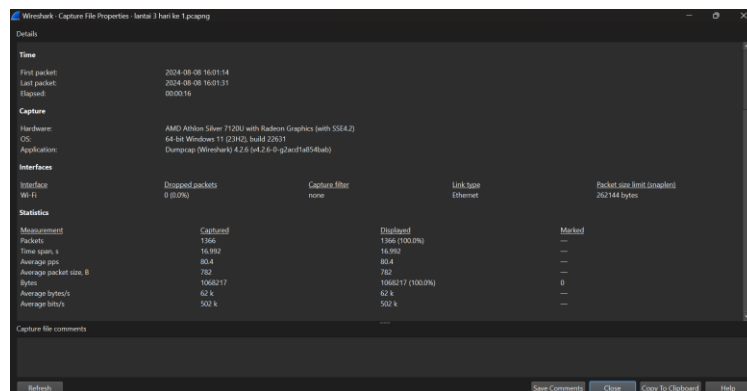
Setelah *Streaming You Tube* di jalankan lalu klik kanan pada *Wifi* pilih *Start Capture* maka *monitoring* akan berjalan. Berikut dapat dilihat tampilan saat *monitoring/Capturing* pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Tampilan *Monitoring* pada *Wireshark*

Pada gambar 4 dapat terlihat tampilan *monitoring*. Pada tampilan tersebut, terlihat dengan jelas proses transmisi data yang dikirim dan diterima secara *real-time*. Hal ini memungkinkan untuk memahami keseluruhan proses yang terjadi. Pada penelitian tersebut mengambil seluruh data sekitar 1000 keatas, untuk mengetahui seluruh data dapat dilihat atau diketik melalui *apply a display filter* dengan mengetik ‘tcp’ dan untuk mengetahui paket yang hilang atau *packet loss* dengan mengetik ‘tcp.analysis.lost_segment’ maka terlihat paket-paket yang hilang.

Untuk mengetahui statistik data dari keseluruhan atau paket yang hilang dapat dilihat dengan meng klik elemen statistik lalu pilih *capture file properties* maka akan muncul hasil dari statistik data keseluruhan tersebut, dapat dilihat dari tampilan pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Tampilan *statistic Capture File Properties*

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil pengambilan data menggunakan *Software Wireshark*, dalam tampilan tersebut pada *statistics* terdapat hasil sebagai acuan untuk mengevaluasi nilai dari parameter *QoS* yang sedang diteliti yang dimana nantinya di sesuaikan atau dihitung dengan standarisasi dari *TIPHON*. Statistik ini mencakup jumlah paket yang dikirim, waktu yang dihabiskan untuk pengambilan dan pemantauan, rata-rata paket data yang dikirim per detik, ukuran paket yang dikirim, serta rata-rata paket data yang dikirim dalam satuan *bytes/s* dan *bits/s*.

c. Lokasi Penelitian

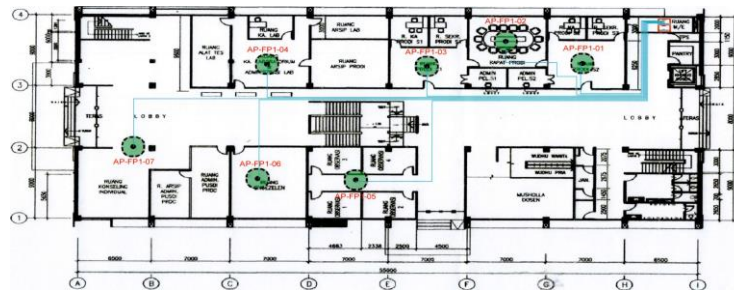
Proses penelitian dan pengujian TA (Tugas Akhir) ini dilakukan dilokasi di Gedung Fakultas Psikologi Unjani yang Dimana Gedung tersebut terdiri dari 4 lantai. Pengujian dilakukan secara per lantai, lantai 1 sampe lantai 4 dari satu waktu di jam 09.00 WIB selama 6 hari, pengambilan data dilakukan dengan waktu 5 menit dalam 1 hari. Berikut Lokasi Gedung Penelitian terlihat pada gambar 7.



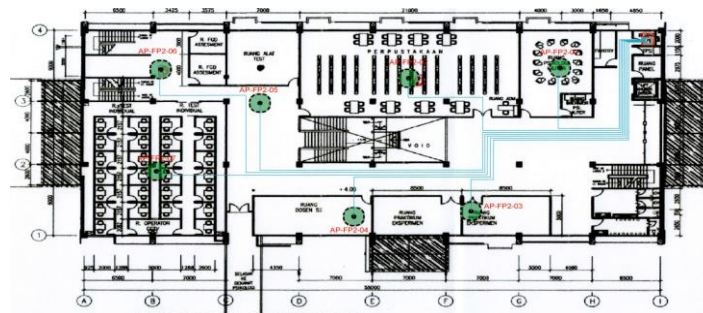
Gambar 7. Lokasi Area Penelitian

Denah dan Peletakan Access Point

Berikut adalah Denah dan Peletakan *Access Point* pada Lantai 1 di Gedung Fakultas Psikologi Unjani. Pada gambar 8 yaitu Denah dan Titik *Access Point* Lantai 1, pada gambar tersebut terdapat tanda bulat berwarna hijau yang dimana itu adalah tata letak *Access Point* dengan jumlah ada 7 *Access Point* yang terpasang dengan tipe Aruba AP-505 WIFI 6 menggunakan frekuensi 5 GHz. Berikut Denah dan Penempatan *Access Point* pada Lantai 2 di Gedung Fakultas Psikologi Unjani.

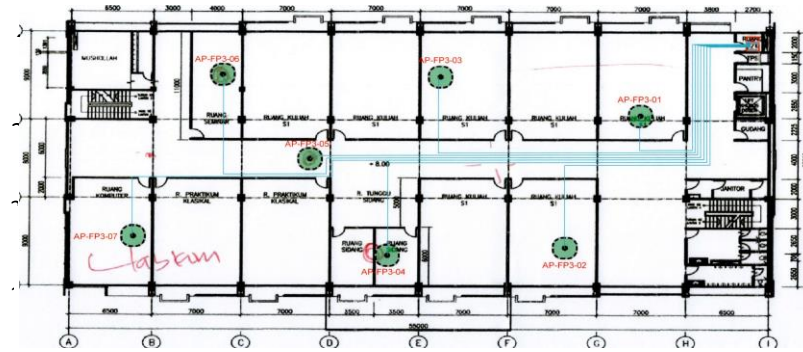


Gambar 8. Denah dan Titik Access Point Lantai 1



Gambar 9. Denah dan Titik Access Point Lantai 2

Pada gambar 9 yaitu Denah dan Titik *Access Point* Lantai 2, pada gambar tersebut terdapat tanda bulat berwarna hijau yang dimana itu adalah tata letak *Access Point* dengan jumlah ada 7 *Access Point* yang terpasang dengan tipe Aruba AP-505 WIFI 6 menggunakan frekuensi 5 GHz. Berikut Denah dan Penempatan *Access Point* pada Lantai 3 di Gedung Fakultas Psikologi Unjani.



Gambar 10. Denah dan Titik Access Point Lantai 3

Pada gambar 10 yaitu Denah dan Titik Access Point Lantai 3, pada gambar tersebut terdapat tanda bulat berwarna hijau yang dimana itu adalah tata letak Access Point dengan jumlah ada 7 Access Point yang terpasang dengan tipe Aruba AP-505 WIFI 6 menggunakan frekuensi 5 GHz. Berikut Denah dan Penempatan Access Point pada Lantai 4 di Gedung Fakultas Psikologi Unjani.

Gambar 11. Denah dan Titik Access Point Lantai 4

Pada gambar 11 yaitu Denah dan Titik Access Point Lantai 4, pada gambar tersebut terdapat tanda bulat berwarna hijau yang dimana itu adalah tata letak Access Point dengan jumlah ada 7 Access Point yang terpasang dengan tipe Aruba AP-505 WIFI 6 menggunakan frekuensi 5 GHz.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisa Matematis

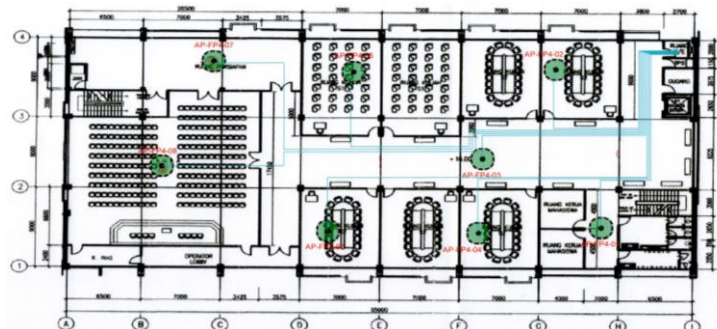
Analisis matematis pada penelitian ini terdapat jumlah perhitungan 6 hari dengan 4 lantai, namun perhitungan pada matematis ini diambil 1 hari saja sebagai contoh untuk mendapatkan parameter-parameter *Quality of Service* seperti *delay*, *jitter*, *packet loss* dan *throughput* dari pengambilan data yang sudah didapatkan pada *software* *wirshark* yang dimana perhitungannya menggunakan standarisasi Parameter *QoS* dari *TIPHON*.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Tiap Lantai

Hasil Perhitungan	<i>Delay</i>	<i>Jitter</i>	<i>Packet Loss</i>	<i>Throughput</i>
Lantai 1	9,589273 ms	2,06 ms	5,8 %	581Kbits/s
Lantai 2	87,89805 ms	0,167552 ms	5,1 %	52 Kbits/s
Lantai 3	0,745324 ms	8,3405 ms	0,8 %	80142 Kbits/s
Lantai 4	3,603146 ms	1,720338 ms	4,2 %	16 Kbits/s

B. Hasil Pengukuran dan Analisis Setiap Parameter

Pengujian dilaksanakan selama 6 hari selama satu waktu di jam 09.00 WIB, pengujian tersebut



dilakukan dengan pengambilan data selama 5 menit secara per lantai yang dimana gedung fakultas psikologi tersebut terdapat 4 lantai. Pengujian pertama dilakukan pada hari kamis, pengujian kedua dihari jumat, pengujian ke tiga dihari senin, pengujian keempat dilakukan pada hari Selasa, pengujian kelima dilakukan pada hari Rabu, dan pengujian terakhir pada hari Kamis. Pada pengujian tersebut

dilakukan untuk mengetahui parameter *Quality of service* pada jaringan berbasis *WLAN* yang dimana digedung fakultas Psikologi tersebut terdapat 29 *Access Point* dengan jenis *Aruba AP-505 WIFI 6* dengan frekuensi 5 *GHz*. Dari pengujian yang dilaksanakan dengan metode per lantai secara streaming *You Tube*, setelah dihitung disesuaikan dengan perhitungan dari standarisasi *TIPHON* didapatkan hasil data mengenai nilai-nilai dari parameter *Quality of Service* sebagai berikut.

1) Salah Satu Hasil Pengukuran dan Analisis Hari (Hari Pertama)

Pengujian dilakukan pada hari Kamis 29 Agustus 2024 pada pukul 09.00 WIB dengan waktu pengambilan data selama 5 menit. Secara keseluruhan pada tabel 2 kualitas jaringan pada setiap lantai tergolong sangat baik dengan nilai *delay* yang rendah, kecuali untuk lantai 2 yang memiliki nilai *delay* tertinggi yaitu 87,89805 ms, meskipun masih dalam kategori sangat memuaskan. Variasi signifikan dalam nilai *delay* antar lantai, khususnya antara lantai 2 terdapat faktor karena kondisi jumlah pengguna yang banyak, adanya interferensi sinyal berasal dari perangkat elektronik lain, dinding, atau struktur bangunan yang menghalangi sinyal. Perlunya pengecekan lebih lanjut terhadap kondisi perangkat keras, jumlah pengguna, atau potensi interferensi di lantai tersebut, untuk memastikan tidak ada peningkatan *delay* yang dapat mempengaruhi kualitas jaringan

Tabel 6. Hasil Parameter *Delay/Latency*

No	Kategori	Hasil <i>Delay</i> (ms)	Lantai
1	Sangat Memuaskan	9,589273	1
2	Sangat Memuaskan	87,89805	2
3	Sangat Memuaskan	0,745324	3
4	Sangat Memuaskan	3,603146	4

Secara keseluruhan pada tabel 3 hasil *jitter* di setiap lantai berada dalam kategori memuaskan, yang menandakan bahwa jaringan cukup stabil dan cocok untuk aplikasi-aplikasi yang sensitif terhadap waktu. Namun, terdapat variasi yang signifikan dalam nilai *jitter* antar lantai. Lantai 2 menunjukkan hasil *jitter* yang sangat rendah yaitu sebesar 0,16 ms, mengindikasikan kualitas jaringan yang sangat baik dan stabil. Sebaliknya, lantai 3 memiliki nilai *jitter* tertinggi sebesar 8,34 ms, yang meskipun masih memuaskan, perlu mendapat perhatian lebih lanjut. Faktor yang mempengaruhi tingginya *jitter* pada lantai 3 bisa berupa interferensi sinyal, jumlah pengguna, atau konfigurasi jaringan yang perlu dioptimalkan.

Tabel 7. Hasil Parameter *Jitter*

No	Kategori	Hasil <i>Jitter</i> (ms)	Lantai
1	Memuaskan	2,06	1
2	Memuaskan	0,16	2
3	Memuaskan	8,34	3
4	Memuaskan	1,72	4

Secara keseluruhan pada tabel 4 hasil *packet loss* menunjukkan bahwa jaringan pada setiap lantai, namun ada beberapa perbedaan yang perlu diperhatikan. Lantai 3 memiliki performa terbaik dengan nilai *packet loss* yang sangat rendah yaitu 0,8 %, menunjukkan jaringan yang sangat efisien dan sedikit gangguan. Di sisi lain, lantai 1 dan 2 memiliki nilai *packet loss* yang lebih tinggi, meskipun masih dalam kategori memuaskan, yang dapat menunjukkan adanya masalah potensial yang perlu diatasi untuk meningkatkan kualitas jaringan. Penyebab *packet loss* yang lebih tinggi ini bisa termasuk interferensi sinyal, kualitas perangkat keras yang berbeda, atau volume trafik data yang lebih tinggi.

Tabel 8. Hasil Parameter *Packet Loss*

No	Kategori	Hasil <i>Packet Loss</i> (%)	Lantai
1	Memuaskan	5,8	1
2	Memuaskan	5,1	2

3	Sangat Memuaskan	0,8	3
4	Memuaskan	4,2	4

Secara keseluruhan pada tabel 5 terdapat variasi yang signifikan dalam hasil *throughput* di setiap lantai. Lantai 3 menunjukkan kinerja jaringan yang luar biasa dengan *throughput* yang sangat tinggi yaitu sebesar 80142 Kbps/s, mengindikasikan jaringan yang sangat efisien. Sebaliknya, lantai 4 menunjukkan kinerja jaringan yang sangat buruk dengan *throughput* yang sangat rendah yaitu 16 Kbps/s, yang mengindikasikan masalah serius yang perlu segera diatasi, seperti perbaikan perangkat keras, penambahan *bandwidth*, atau optimasi konfigurasi jaringan. Lantai 1 dan 2 memiliki *throughput* yang lebih rendah dibandingkan lantai 3, namun lantai 1 masih dalam kategori sangat memuaskan, sementara lantai 2 berada dalam kategori sedang, yang memerlukan perhatian untuk meningkatkan performa jaringan.

Tabel 9. Hasil Parameter *Throughput*

No	Kategori	Hasil <i>Throughput (kbps)</i>	Lantai
1	Sangat Memuaskan	581	1
2	Sedang	52	2
3	Sangat Memuaskan	80142	3
4	Jelek	16	4

C. Klasifikasi Kualitas Jaringan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis data parameter *QoS* pada setiap harinya didapatkan pada tabel 5 sampai 9 dan sudah disesuaikan dengan standarisasi Parameter *QoS* dari *TIPHON*. klasifikasi disini dengan menjumlahkan semua parameter seperti *Delay*, *Jitter*, *Throughput*, dan *packet loss* perhari didapatkan 2 hasil, hasil pertama yaitu hasil rata-rata parameter perhari hasil ini didapatkan secara menjumlahkan hasil parameter perlantai dibagi dengan jumlah lantai yaitu 1-4 lantai selama enam hari, hasil kedua yaitu rata rata keseluruhan dengan menggunakan indeks dari standarisasi parameter *QoS* (*TIPHON*) yaitu dengan indeks 1-4, hasil keseluruhan indeks ini menggunakan hasil dari rata-rata parameter perhari.

1) Hasil Rata-rata Pengukuran Perhari

Pada tabel 6 hasil rata-rata parameter perhari yang dimana hasil ini menjumlahkan semua parameter perlantai yaitu dibagi 4 lantai selama enam hari didapatkan hasil rata-rata parameter perhari sebagai berikut.

Tabel 10. Hasil Rata-rata Parameter Perhari

No	Hari	Nilai Rata - Rata Parameter			
		<i>Delay (ms)</i>	<i>Jitter (ms)</i>	<i>Packet Loss (%)</i>	<i>Throughput (Kbps/s)</i>
1	Kamis	4,899	3,07	3,975	20.197,75
2	Jumat	13,51	2,57	3,475	4.016,50
3	Senin	4,899	3,915	5,825	55,75
4	Selasa	13,83	2,673	10,02	460,25
5	Rabu	8,962	3,063	8,425	768,75
6	Kamis	6,448	1,996	6,45	1.258,50

Pada tabel 10 menampilkan hasil rata-rata parameter perhari dengan berdasarkan empat parameter utama *Quality of Service (QoS)*, yaitu *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*, yang diukur selama enam hari. Pada hari Kamis, *delay* tercatat rendah di 4,899 ms dengan *jitter* sebesar 3,07 ms dan *packet loss* 3,975%. Hari ini menunjukkan performa jaringan yang baik dengan *throughput* tertinggi sebesar 20.197,75 Kbps/s. Pada hari Jumat, *delay* meningkat menjadi 13,51 ms, namun *jitter* lebih rendah di 2,57 ms. *Packet loss* juga sedikit lebih rendah di 3,475%, namun *throughput* mengalami penurunan drastis menjadi 4.016,50 Kbps/s. Hari Senin menunjukkan *delay* yang kembali rendah di 4,899 ms, namun *jitter*

meningkat menjadi 3,915 ms. *Packet loss* lebih tinggi dibandingkan hari-hari lainnya, yaitu 5,825%, dan *throughput* mencapai titik terendah sebesar 55,75 Kbps/s, menunjukkan performa jaringan yang sangat buruk. Pada hari Selasa, *delay* kembali tinggi di 13,83 ms, dengan *jitter* sebesar 2,673 ms dan *packet loss* tertinggi di 10,02%. *Throughput* pada hari ini juga sangat rendah, hanya 460,25 Kbps/s, menandakan masalah signifikan dalam performa jaringan. Hari Rabu memiliki *delay* sebesar 8,962 ms, *jitter* sebesar 3,063 ms, dan *packet loss* sebesar 8,425%. *Throughput* pada hari ini sedikit lebih baik dibandingkan Senin dan Selasa, namun masih rendah di angka 768,75 Kbps/s. Pada Kamis kedua, *delay* sedikit meningkat menjadi 6,448 ms, namun *jitter* turun menjadi 1,996 ms, yang merupakan *jitter* terendah sepanjang minggu. *Packet loss* pada hari ini adalah 6,45%, dan *throughput*-nya lebih baik daripada beberapa hari lainnya, yaitu sebesar 1.258,50 Kbps/s.

Secara keseluruhan, Kamis menunjukkan performa jaringan terbaik, dengan *delay* rendah dan *throughput* tinggi menunjukkan jaringan dapat menangani data dengan lebih efisien yang disebabkan oleh jumlah pengguna atau aktivitas jaringan yang lebih sedikit dibandingkan dengan hari lain sehingga kombinasi beban yang lebih rendah, interferensi yang berkurang, dan kondisi yang sangat optimal. Sementara Selasa dan Senin mengalami performa yang sangat buruk, terutama dalam hal *packet loss* dan *throughput* yang disebabkan karena beban jaringan yang tinggi atau banyaknya pengguna, dan penggunaan aplikasi yang membutuhkan *bandwidth* besar seperti *video streaming* sehingga mengakibatkan transfer data menjadi sangat lambat dan tidak stabil. Kombinasi *delay* tinggi dan *jitter* yang tidak konsisten semakin memperparah kondisi jaringan di kedua hari tersebut. Hal ini menyebabkan pengalaman pengguna yang buruk dalam mengakses internet atau layanan jaringan lainnya.

2) Hasil Rata – rata Pengukuran Seluruh Indeks

Pada tabel 11 yaitu hasil rata-rata parameter berdasarkan indeks yang dimana hasil ini yang didapatkan dari hasil rata-rata parameter perhari.

Tabel 11. Hasil Rata – rata Parameter Berdasarkan indeks

No	Hari	Nilai Rata - Rata Parameter				Indeks				Rata-rata Indeks
		<u>Delay (ms)</u>	<u>Jitter (ms)</u>	<u>Packet Loss (%)</u>	<u>Throughput (Kbps/s)</u>	<u>Delay</u>	<u>Jitter</u>	<u>Packet Loss</u>	<u>Throughput</u>	
1	Kamis	4,899	3,07	3,975	20.197,75	4	3	3	4	3,5
2	Jumat	13,51	2,57	3,475	4.016,50	4	3	3	4	3,5
3	Senin	4,899	3,915	5,825	55,75	4	3	3	2	3
4	Selasa	13,83	2,673	10,02	460,25	4	3	3	4	3,5
5	Rabu	8,962	3,063	8,425	768,75	4	3	3	4	3,5
6	Kamis	6,448	1,996	6,45	1.258,50	4	3	3	4	3,5
Hasil Rata-rata Parameter Berdasarkan Indeks										3,42

Berdasarkan hasil pada tabel 11 rata-rata indeks keseluruhan dari enam hari tersebut dengan nilai rata-rata *delay* berkisar antara 4,899 ms hingga 13,83 ms, dengan indeks yang konsisten di angka 4. *Jitter* rata-rata berada dalam kisaran 1,996 ms hingga 3,915 ms, dengan indeks stabil pada angka 3. Untuk *packet loss*, meskipun ada variasi yang cukup tinggi dari 3,475% hingga 10,02%, indeks tetap konstan di nilai 3. Sementara itu, *throughput* bervariasi secara signifikan, mulai dari 55,75 Kbps/s hingga 20.197,75 Kbps/s, dengan indeks yang bervariasi antara 2 hingga 4. Berdasarkan keseluruhan hasil rata-rata indeks dari enam hari tersebut didapatkan hasil sebesar 3,42, menunjukkan bahwa kualitas jaringan secara umum berada pada tingkat yang sangat memuaskan.

IV. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan selama 4 hari dengan waktu pengambilan data selama 5 menit perhari dilakukan secara perantai (4 Lantai) dengan bebas jaringan yaitu *streaming you tube* dan pengambilan data pada *Acces Point* jenis *Aruba AP-505 WIFI 6* menggunakan *Frekuensi 5 GHz* di Gedung Fakultas Psikologi, pada pengujian selama 6 hari, hari Kamis menunjukkan performa jaringan terbaik, dengan *delay* rendah dan *throughput* tinggi, sementara Selasa dan Senin mengalami performa yang sangat buruk, terutama dalam hal *packet loss* dan *throughput* yang mengakibatkan transfer data menjadi sangat lambat dan tidak stabil. Kombinasi *delay* tinggi dan *jitter* yang tidak konsisten semakin memperparah kondisi jaringan di kedua hari tersebut. Hal ini menyebabkan pengalaman pengguna yang buruk dalam mengakses internet atau layanan jaringan lainnya. Secara keseluruhan hasil rata-rata indeks dari enam hari pengujian didapatkan hasil sebesar 3,42, menunjukkan bahwa nilai rata-rata untuk setiap parameter tetap konsisten di seluruh hari yang diuji, hasil klasifikasi kualitas jaringan secara standarisasi dari parameter *QoS* berada pada tingkat yang sangat memuaskan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. R. Widiyari and F. Rachmat, "Analisis Quality of Services (QoS) Jaringan Internet Berbasis Wireless LAN pada Layanan Internet Service Provider (ISP) (Studi Kasus : PT Grahamedia Informasi) Artikel Ilmiah," no. 672015131, pp. 1–17, 2019.
- [2] M. Tegar and N. Abdillah, "Analisis Quality of Service Jaringan Internet Berbasis Wireless Local Area Network Untuk Meningkatkan Kualitas Layanan Menggunakan Wireshark (Studi Kasus : PT . Lintang Media
- [3] C. Alkalah, 濟無No Title No Title No Title, vol. 19, no. 5. 2022.
- [4] D. Saputra and B. Yulisa Geni, "Analisa Dan Perancangan Jaringan Wireless Local Area Network (Wlan) Dengan Menggunakan Metode Ndlc," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 2382–2389, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i2.9395.
- [5] Amalia Yunia Rahmawati, *Pengantar Jaringan Komunikasi Nirkebal*, no. July. 2020.
- [6] J. H. Kabenarang, R. H. W. Pardanus, and M. T. Parinsi, "Analisis dan Perancangan Jaringan Wireless Local Area Network di SMK," *Eduetik J. Pendidik. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 2, no. 3, pp. 332–344, 2022, doi: 10.53682/edutik.v2i3.5261.
- [7] K. T. Lailatul Mufidah, "No Analisis struktur ko-sebaran indikator terkait kesehatan, pusat rasa sehat subjek, dan lansia yang tinggal di rumah.Title," vol. 7, no. 3, p. 6, 2021.
- [8] D. Tipper, "Wireless MAN Networks," vol. 15, pp. 12–13.
- [9] L. Sianturi, Sahat Parulian, and P. Tarigan, "Perancangan Penempatan Wireless Agar Memenuhi Akses Poin Dari Beberapa Titik Aplikasi di Fakultas Teknik UHN," *J. ELPOTECs*, vol. 5, no. 1, pp. 28–37, 2022, doi: 10.51622/elpotecs.v5i1.1113.
- [10] P. R. Utami, "Analisis Perbandingan Quality of Service Jaringan Internet Berbasis Wireless Pada Layanan Internet Service Provider (Isp) Indihome Dan First Media," *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 25, no. 2, pp. 125–137, 2020, doi: 10.35760/tr.2020.v25i2.2723.
- [11] S. Ahdan, O. Firmanto, and S. Ramadona, "Rancang Bangun dan Analisis QoS (Quality of Service) Menggunakan Metode HTB (Hierarchical Token Bucket) pada RT/RW Net Perumahan Prasanti 2," *J. Teknoinfo*, vol. 12, no. 2, p. 49, 2018, doi: 10.33365/jti.v12i2.89.
- [12] E. Juliyana and C. A. Nuraflah, "Peranan Internet Dalam Meningkatkan Citra Sma Swasta Budi Agung Medan," *Peran. Internet Dalam Meningkatkan. Citra Sma Swasta Budi Agung Medan*, vol. 3, no. 1, p. 13, 2020.

Perancangan dan Realisasi Sistem Kendali *Furnace* Menggunakan *Ratio Control* Berbasis *Distributed Control System* Centum VP R05.04.20

Listi Restu Triani¹⁾, Asep Najmurokhman^{2*)}

¹⁾Pusat Riset dan Teknologi Atmosfer
Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jl. Dr. Djunjunan No 133 Bandung, 40173 Jawa Barat

²⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jend. Sudirman, Cimahi 40531

^{*)}Korespondensi : asep.najmurokhman@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Dalam industri pengolahan minyak dan gas, sistem kendali yang andal sangat penting untuk menjamin efisiensi energi dan keselamatan operasi. Salah satu elemen krusial adalah pengendalian rasio udara-bahan bakar (*air-to-fuel ratio*) dalam proses pembakaran pada *furnace*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem kendali *furnace* menggunakan strategi *ratio control* berbasis *Distributed Control System (DCS) Centum VP R5.04.20* dari Yokogawa. Sistem dirancang untuk mengatur laju aliran massa udara dan bahan bakar secara presisi agar diperoleh efisiensi pembakaran optimal serta emisi minimal. Pengendalian dilakukan melalui konfigurasi PID di dalam DCS, dengan parameter *tuning* yang dioptimalkan untuk mencapai kestabilan proses. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dalam kondisi stabil pada *ratio gain* sebesar 2,5, serta dengan parameter PID masing-masing pengendali, yaitu FIC102 ($P=100, I=10, D=0$) dan PIC201 ($P=180, I=60, D=0$). Sistem ini berhasil meningkatkan respons kendali dan efisiensi operasi *furnace*, sekaligus memberikan dasar bagi penerapan kontrol otomatisasi yang lebih canggih di masa depan.

Kata kunci : *distributed control system, PID, ratio control, sistem kendali furnace*

Abstract

In the oil and gas processing industry, a reliable control system is essential to ensure energy efficiency and operational safety. One of the critical elements is the control of the air-to-fuel ratio in the combustion process of the furnace. This study aims to design and implement a furnace control system using a ratio control strategy based on the Yokogawa Distributed Control System (DCS) Centum VP R5.04.20. The system is designed to precisely regulate the mass flow rates of air and fuel to achieve optimal combustion efficiency and minimize emissions. Control is executed via PID configuration within the DCS, with parameter tuning optimized to maintain process stability. The implementation results indicate that the system operates under stable conditions with a ratio gain of 2.5, and PID parameters for FIC102 ($P=100, I=10, D=0$) and PIC201 ($P=180, I=60, D=0$). The system successfully improves control response and furnace operational efficiency, while also providing a foundation for the future adoption of more advanced automation systems.

Keywords : *distributed control system, furnace control system, PID, ratio control*

Info Makalah:

Dikirim : 06-10-2025;
Revisi 1 : 06-25-2025;
Revisi 2 : -
Diterima : 06-28-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-81321815649
e-mail : asep.najmurokhman@lecture.unjani.ac.id

I. PENDAHULUAN

Dalam industri pengolahan minyak, sistem pengendalian menjadi sesuatu yang sangat penting [1]–[3]. Keberadaanya digunakan untuk mendapatkan proses pengolahan yang efektif dan efisien serta menjamin keselamatan (*safety*) proses industri di lapangan. Proses tersebut diharapkan mendapatkan hasil pengolahan yang optimal, yaitu mendapatkan hasil produk yang berkualitas dengan biaya produksi yang relatif kecil.

Kualitas yang baik dapat dicapai dengan tingkat kestabilan dari proses tersebut, dimana kestabilan dapat dicapai dengan mengurangi nilai *error* pada setiap bagian proses. Salah satu bagian dari unit pengolahan minyak adalah *furnace*. *Furnace* (tungku) pada industri pengolahan, khususnya di sektor minyak dan gas maupun pabrik kimia, memiliki peran penting dalam menyediakan energi panas untuk berbagai proses seperti distilasi, *reforming*, dan *cracking*. Pada bagian ini terjadi proses pembakaran minyak mentah (*crude oil*) dengan radiasi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar seperti gas alam dan solar. Hasil dari pengolahan diteruskan ke bagian evaporator sebelum ke bagian fraksinasi untuk proses pemisahan minyak berdasarkan fraksinya sehingga akan didapatkan produk sesuai dengan yang diharapkan. Setiap unit *furnace* memiliki satu atau lebih sistem pengendalian untuk menjaga agar semua proses berada dalam kondisi stabil. Kinerja dan keselamatan *furnace* sangat bergantung pada sistem kendali yang baik, sebab kendali yang tidak memadai dapat menimbulkan ketidakefisienan energi, peningkatan emisi, dan kerusakan peralatan serta risiko keselamatan tinggi [4]. Salahsatu bentuk strategi pengendalian berupa kendali rasio (*ratio control*) yang terbukti efektif dalam menjaga rasio udara-bahan bakar (*air-to-fuel*) yang tepat selama proses pembakaran. Kendali rasio yang akurat memastikan pembakaran sempurna, meminimumkan kelebihan udara, dan mengurangi pembentukan polutan seperti CO dan NO_x, sehingga meningkatkan efisiensi bahan bakar dan memenuhi regulasi lingkungan [5].

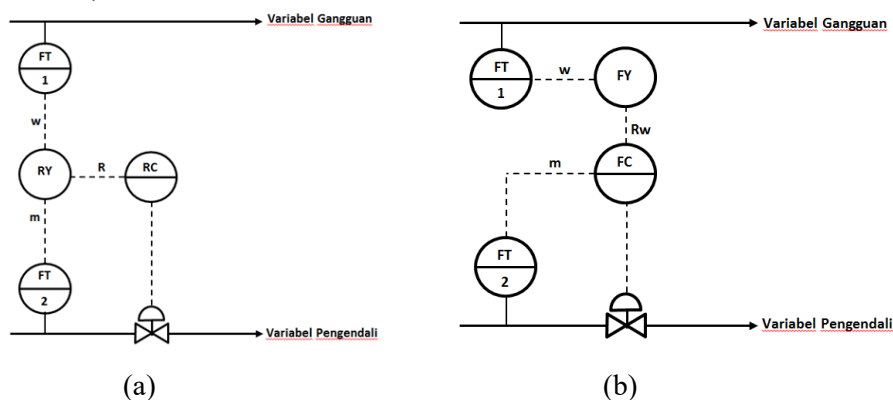
Kendali rasio (*ratio control*) adalah sistem pengendalian yang lazim dipakai di suatu proses yang menghendaki komposisi campuran dua komponen atau lebih dengan suatu perbandingan tertentu [6]. Contoh *ratio control* adalah pencampuran komponen A dan B dengan perbandingan tertentu, dimana hasil perbandingan yang dikehendaki harus selalu sama, maka didapat nilai $K = A/B$. Aplikasi penggunaan *ratio control* diantaranya adalah perbandingan laju alir dua reaktan yang masuk kedalam reaktor, pencampuran dua cairan, perbandingan bahan bakar dan udara, perbandingan laju refluks dan distilat dalam kolom distilasi, dan lain-lain. Ada dua metode pengendalian rasio seperti diberikan dalam Gambar 1. Metode pertama membandingkan dua aliran yang diperlihatkan pada Gambar 1(a). Nilai rasio diberikan oleh persamaan (1) berikut

$$R = \frac{m}{w} \quad (1)$$

dan *gain* proses dihitung melalui rumus (2) berikut

$$K_p = \frac{dR}{dm} = \frac{1}{w} \quad (2)$$

Karena hubungan antara *gain* (K_p) dan gangguan (w) tidak linier, model pertama ini tidak bisa digunakan dalam praktik. Agar bisa diterapkan dalam praktik, maka model kedua dibangun dengan mengubah konfigurasi menjadi bentuk kedua seperti diberikan dalam Gambar 1(b), yaitu dengan mengalikan nilai gangguan dengan bilangan atau faktor rasio, kemudian hasilnya dikirim ke *setpoint* pengendali aliran. Dengan model seperti ini maka pengendali rasio merupakan tipe khusus dari pengendali umpan maju (*feedforwards control*).



Gambar 1. Metode kendali *ratio* (a) RY-faktor rasio; (b) FY-faktor rasio

Dalam sistem pembakaran baik di *boiler* maupun *furnace*, untuk menjamin agar bahan bakar dapat habis terbakar, maka udara yang dimasukkan ke ruang bakar harus berlebih (*excess*) dalam jumlah tertentu sesuai hukum stoikiometri [7]. Semakin banyak *excess* udara maka banyak energi yang terbuang sehingga tidak ekonomis, sebaliknya sedikit *excess* udara akan menyebabkan sebagian bahan bakar

tidak terbakar yang bisa membahayakan. Dengan demikian, diperlukan upaya menjaga *excess* udara pada nilai yang optimal melalui penggunaan *air/fuel ratio control* (perbandingan antara udara/bahan bakar).

Di lain pihak, implementasi sistem otomatisasi menggunakan prinsip *distributed control system* (DCS) menjadi fundamental karena kemampuan pemantauan secara *real-time*, pencatatan (*logging*), dan pengendalian secara lingkaran tertutup [8]. Yokogawa Centum VP R5.04.20 adalah salah satu platform DCS modern yang menawarkan ketahanan, skalabilitas, dan dukungan strategi kontrol kompleks seperti PID dan *ratio control* [9]. Beberapa penelitian terkini telah meninjau efektivitas DCS dalam optimasi *loop* pengendalian proses, misalnya [10]–[12]. Athappan *et al.* (2021) menerapkan pengendalian suhu dalam industri proses menggunakan platform DCS Yokogawa Centum VP [10]. Sementara itu, Qu dan You (2021) berhasil mengintegrasikan DCS untuk kendali suhu sintering *furnace* berbasis PID dan diagnosis kesalahan [11], sedangkan Yawisit (2025) melakukan analisis kinerja Centum-VP dalam pengaturan *control loop* dan menunjukkan peningkatan stabilitas proses [12]. Sementara itu, penelitian CFD oleh Tutar *et al.* (2025) menunjukkan hubungan antara geometri *furnace* dan distribusi massa pada proses reforming [13]. Selain itu, strategi MPC (*Model Predictive Control*) dan DMC (*Dynamic Matrix Control*) juga telah diusulkan guna meningkatkan kontrol rasio dan emisi [14], [15]. Meskipun implementasi rasio kontrol dalam literatur akademik dan industri semakin banyak, studi yang menyajikan perancangan dan realisasi sistem kendali furnace berbasis DCS Centum VP dengan *tuning* PID dan parameter rasio di lapangan masih terbatas. Dalam industri proses modern, integrasi DCS dengan pengendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) tetap menjadi pendekatan utama untuk mencapai kendali yang presisi dan stabilitas operasional. DCS memungkinkan desentralisasi pengendalian, meningkatkan keandalan sistem, dan memfasilitasi integrasi dengan teknologi canggih seperti *digital twin* dan kecerdasan buatan (AI) untuk optimasi proses secara *real-time*. Pengendali PID, dengan struktur sederhana namun efektif, digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi industri, termasuk pengendalian suhu, tekanan, dan aliran, serta dalam sistem pembakaran dan reaktor kimia. Kemajuan terkini mencakup pengembangan metode *tuning* otomatis berbasis pembelajaran penguatan (*reinforcement learning*) untuk meningkatkan kinerja dan adaptabilitas pengendali PID dalam kondisi operasi yang dinamis. Selain itu, integrasi DCS dengan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) dan *Programmable Logic Controller* (PLC) memperluas kemampuan pemantauan dan kendali jarak jauh, meningkatkan efisiensi dan responsivitas sistem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mendesain sistem *ratio control* berbasis DCS Centum VP R5.04.20 untuk *furnace* pada industri proses, mengimplementasikan konfigurasi PID dan *ratio gain* sesuai kebutuhan nyata di instalasi proses, dan mengevaluasi kestabilan operasional dan efisiensi pembakaran melalui *data trend* dan pengukuran lapangan.

II. METODE

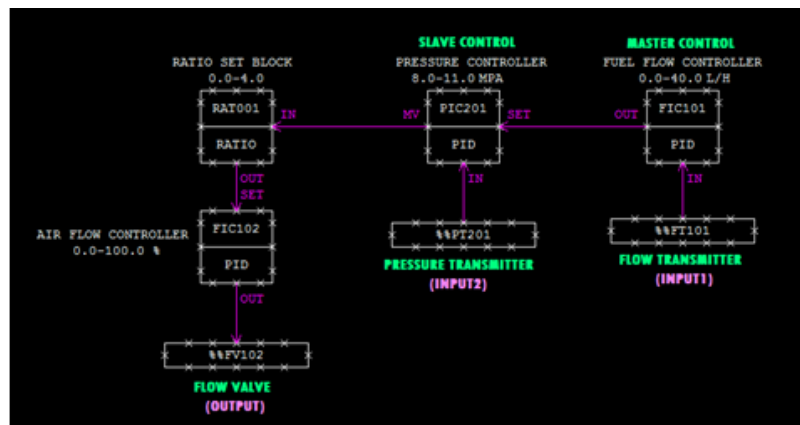
Sistem kendali *ratio control* yang dirancang diberikan dalam diagram skematik yang diberikan dalam Gambar 1. Simbol dan arti yang digunakan dalam Gambar 2 diberikan dalam Tabel 1. Sementara itu, diagram blok sistemnya diberikan dalam Gambar 3. Sebuah pengendali rasio (*ratio control*) adalah tipe khusus dari pengendali *feedforward* di mana gangguan pada sistem diukur dan rasionya dijaga pada *set point* yang diinginkan dengan mengendalikan salah satu aliran. Aliran lainnya yang tidak terkendali disebut aliran *wild* (*wild stream*). Rasio laju alir dua aliran dijaga pada rasio yang diinginkan dengan mengendalikan laju aliran sebuah aliran. Laju aliran diukur melalui *flow transmitter* (FT). Aliran yang dikendalikan pada sistem kendali *furnace* adalah aliran dari bahan bakar. Aliran dari bahan bakar ini dideteksi oleh *flow transmitter* (FT101) dan selanjutnya dikendalikan oleh pengendali aliran (FIC101). Aliran *wild* (*wild stream*) dari sistem *furnace* ini adalah aliran udara.

Sistem kendali *ratio* pada sistem kendali *furnace* ini merupakan sistem *cascade*. Pengendali pertama yang berperan sebagai *master control* adalah sebuah *flow indicator controller* dan pengendali kedua yang berperan sebagai *slave control* adalah *pressure indicator controller* dimana keduanya merupakan tipe pengendali PID. Output dari sistem *cascade* ini akan menjadi input bagi *ratio controller*. Di dalam DCS Yokogawa, blok PID hanya memiliki 1 buah koneksi untuk nilai input, satu buah koneksi untuk nilai output, dan satu buah koneksi untuk nilai *set point*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa blok PID di DCS Yokogawa mampu menghitung satu besaran saja. Gambar 4 menunjukkan penjelasan mengenai koneksi di dalam blok PID. Di dalam blok PID Yokogawa, terdapat penyebutan yang berbeda untuk input, output, dan *set point*. Input ditandai dengan PV (*process variable*) adalah nilai aktual di lapangan. Nilai yang masuk ke dalam DCS adalah sebesar 4 - 20 mA. Nilai 4 mA dikonversi oleh DCS menjadi

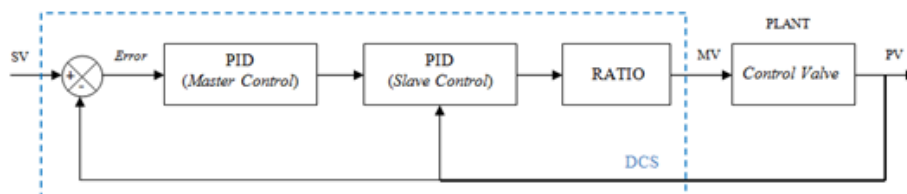
nilai terendah dan nilai 20 mA dikonversi menjadi nilai tertinggi. Sementara itu, output dinyatakan dengan MV (*manipulated variable*) yang bernilai antara 0 - 100 % yang kemudian nilai tersebut akan diteruskan menjadi persen bukaan *valve*, sedangkan *set point* ditandai dengan SV (*set variable*) merupakan nilai yang diinginkan untuk membuat sistem tersebut bekerja secara stabil. Di dalam DCS Yokogawa, nilai-nilai dari PV, MV, dan SV dapat dilihat pada *instrument faceplate*, seperti diberikan dalam Gambar 5.

Tabel 1. Arti simbol dalam Gambar 1

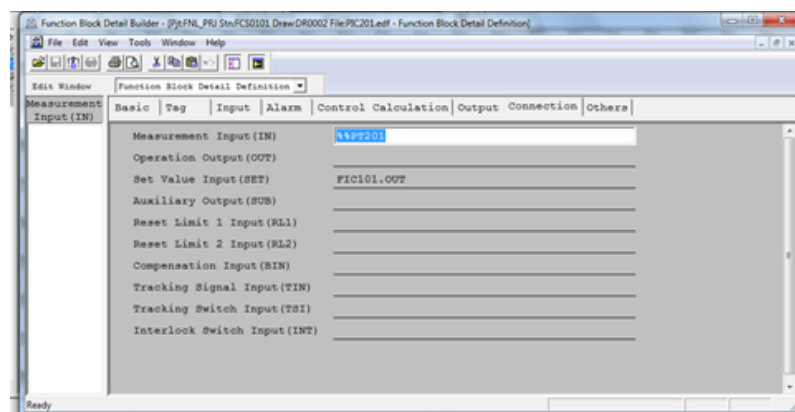
Simbol	Arti
FT101	<i>Flow Transmitter 101</i>
FIC101	<i>Flow Indicator Controller 101</i>
FIC102	<i>Flow Indicator Controller 102</i>
PT201	<i>Pressure Transmitter 201</i>
PIC201	<i>Pressure Indicator Controller 201</i>
RAT001	<i>Ratio Control 001</i>
FV102	<i>Flow Valve 102</i>
PV	<i>Proses Variable</i>
SV	<i>Set Variable</i>
MV	<i>Manipulated Variable</i>



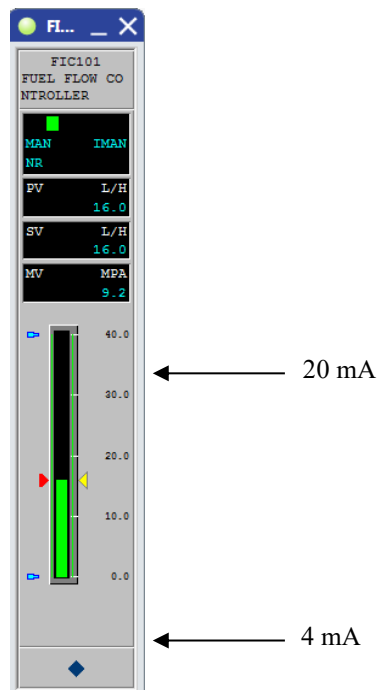
Gambar 2. Diagram skematik sistem ratio control *furnace*



Gambar 3. Diagram blok sistem kendali *furnace* dengan DCS



Gambar 4. Koneksi Blok PID dalam DCS

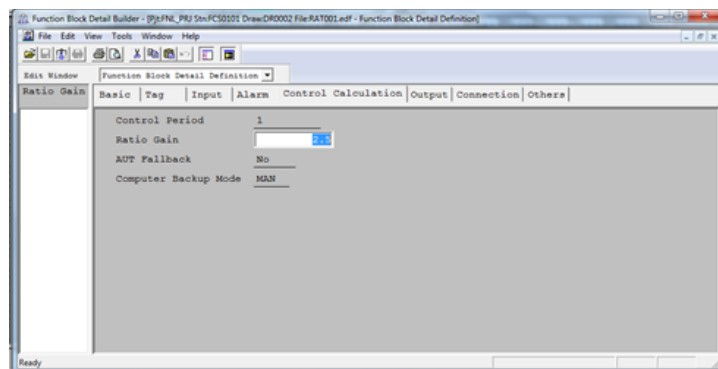


Gambar 5. Instrument Faceplate

Blok *Ratio* pada DCS Yokogawa mendefinisikan rasio untuk mengendalikan dua jumlah kendalian. Blok *Ratio* berfungsi untuk pemrosesan input, pemrosesan perhitungan kontrol, pemrosesan output, dan pemrosesan alarm. Pada sistem kendali *furnace*, blok *ratio* ini berfungsi untuk mengendalikan dua kendalian yaitu aliran dari bahan bakar dan udara yang diperlukan pada proses pembakaran (*combustion*). Pada perhitungan rasio, proses perhitungan dilakukan untuk menentukan kalkulasi nilai output (CALC) dengan mengalikan *process variable* (PV) dengan nilai *set point* ratio efektif (SV_e) mengikuti persamaan (3).

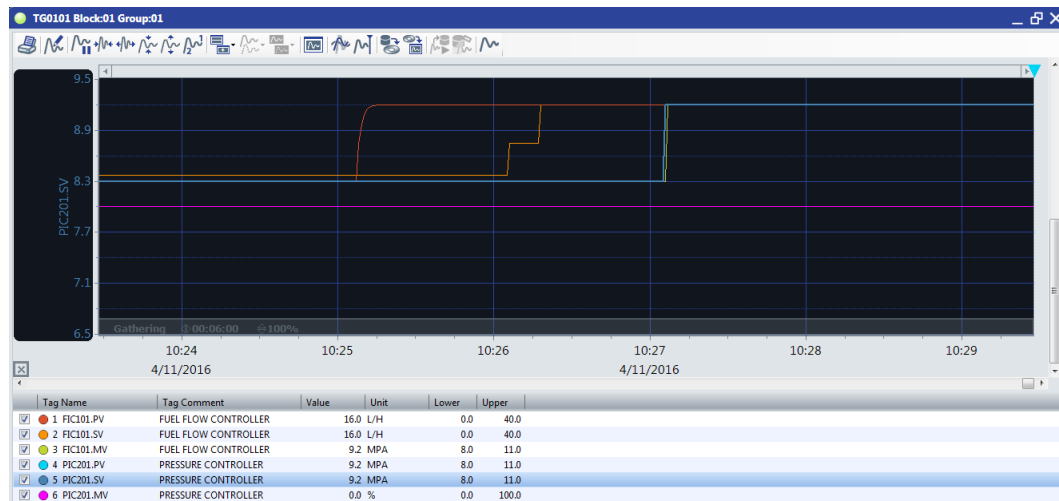
$$CALC_n = KR \cdot SV_e \cdot PV_n + BIAS \quad (3)$$

dengan $CALC_n$ menandai nilai aktual kalkulasi output, PV_n menyatakan nilai aktual *process variable*, SV_e adalah nilai *set point* rasio efektif, dan KR merupakan *ratio gain*. Sementara itu, BIAS merupakan nilai bias yang diset dalam perhitungan nilai output. Nilai *set point* rasio efektif (SV_e) adalah nilai *set point* rasio (SV) yang telah diproses melalui aksi *ramp* nilai *setpoint*. Nilai *ratio gain* (KR) tidak akan berubah bahkan ketika batas atas/bawah dari *process variable* (PV) dan nilai kalkulasi output ($CALC_n$) berubah. Nilai *Ratio Gain* (KR) harus diubah ketika engineering unit dari *process variable* (PV) dan nilai kalkulasi output ($CALC_n$) atau *set point* (SV) dari *ratio* berubah, karena *ratio gain* (KR) dikalkulasi berdasarkan koefisien unit konversi dari nilai-nilai tersebut. Tampilan untuk *setting ratio gain* pada DCS Centum VP diperlihatkan pada Gambar 6.



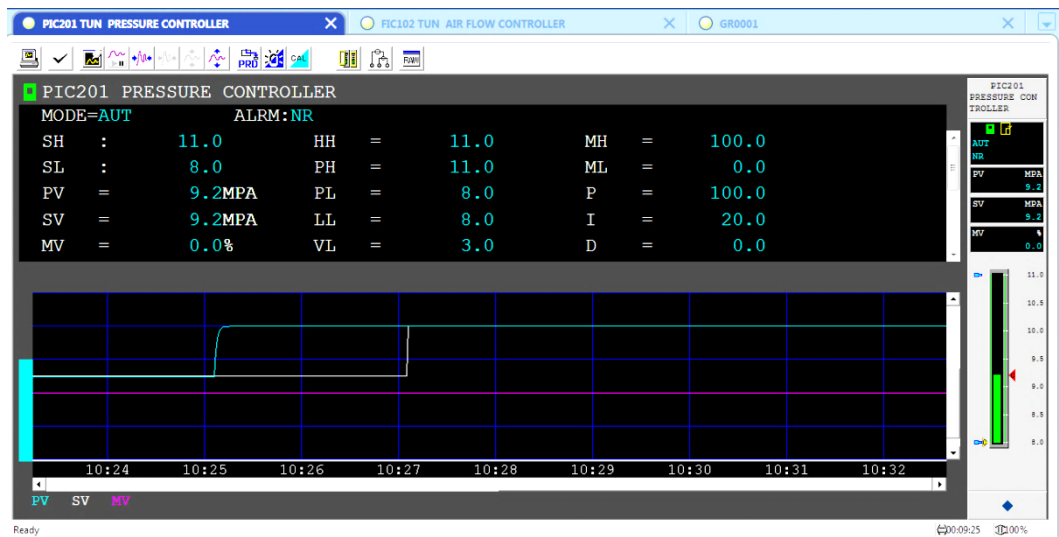
Gambar 6. Tampilan Setting Ratio Gain

Selanjutnya, data proses dapat diakuisi dan respon dari sistem ditampilkan dalam bentuk *trend data*. Tampilan dari *trend data* diperlihatkan pada Gambar 7.



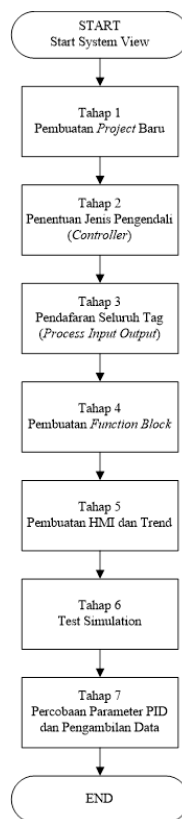
Gambar 7. Tampilan *data trend*

Pada tampilan tersebut akan ditampilkan data aktual di lapangan berikut dengan *set point* yang di berikan. Dengan tampilan tersebut maka dapat terlihat respon sistem setelah dilakukan tuning PID. Untuk memberikan nilai P, I, dan D dilakukan melalui satu tampilan yang disebut sebagai *tuning parameter* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8. Pada tampilan tersebut, besar nilai dari masing-masing parameter P, I, dan D dapat diatur. Standar nilai yang telah diberikan DCS Yokogawa adalah $P = 100$, $I = 20$, dan $D = 0$. Namun nilai tersebut bukan merupakan nilai yang sudah pasti digunakan di semua jenis proses. Dengan kata lain, perlu dilakukan pengaturan sesuai dengan karakteristik proses yang diinginkan.



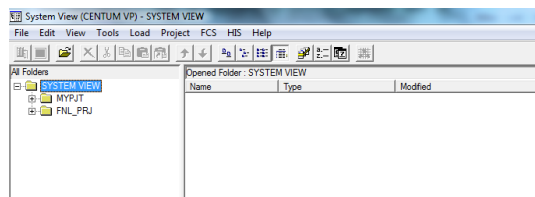
Gambar 8. Tampilan *tuning parameter*

Tahapan untuk memperoleh hasil dari sistem yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya mengikuti diagram alir pada Gambar 9. Urutan proses tersebut meliputi pembuatan project baru di DCS Centum VP, mendefinisikan jenis kontroler yang dibutuhkan, mendaftarkan keseluruhan *tag* yang dibutuhkan dalam sistem tersebut, membuat *Function Block* untuk pengendali, membuat fungsi HMI dan *trend*, serta melakukan simulasi tes.



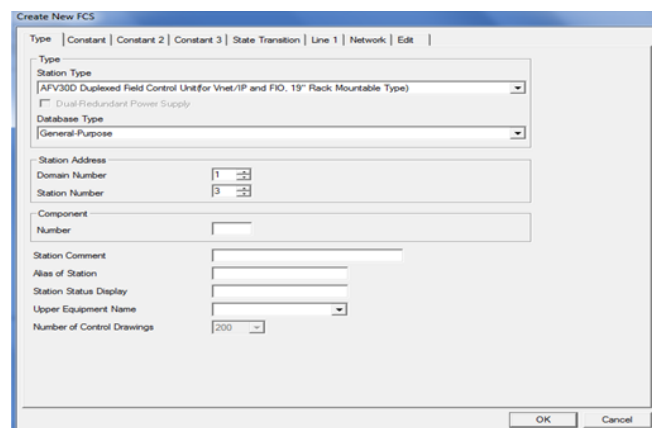
Gambar 9. Diagram alir dalam merealisasikan sistem kendali *furnace* dengan DCS

Tahap pertama dalam merealisasikan sistem adalah melakukan *setting* proyek baru. Gambar 10 menunjukkan tampilan dari *System view*. *System view* adalah bagian di dalam *software* DCS Yokogawa yang berfungsi untuk membuat keseluruhan konfigurasi yang dibutuhkan dalam suatu proyek.



Gambar 10. Tampilan *System View*

Tahap berikutnya adalah menentukan tipe pengendali. Gambar 11 menunjukkan konfigurasi pengendali. Pada tampilan ini, dilakukan konfigurasi dari jenis pengendali yang digunakan dalam suatu proyek.



Gambar 11. Konfigurasi Pengendali

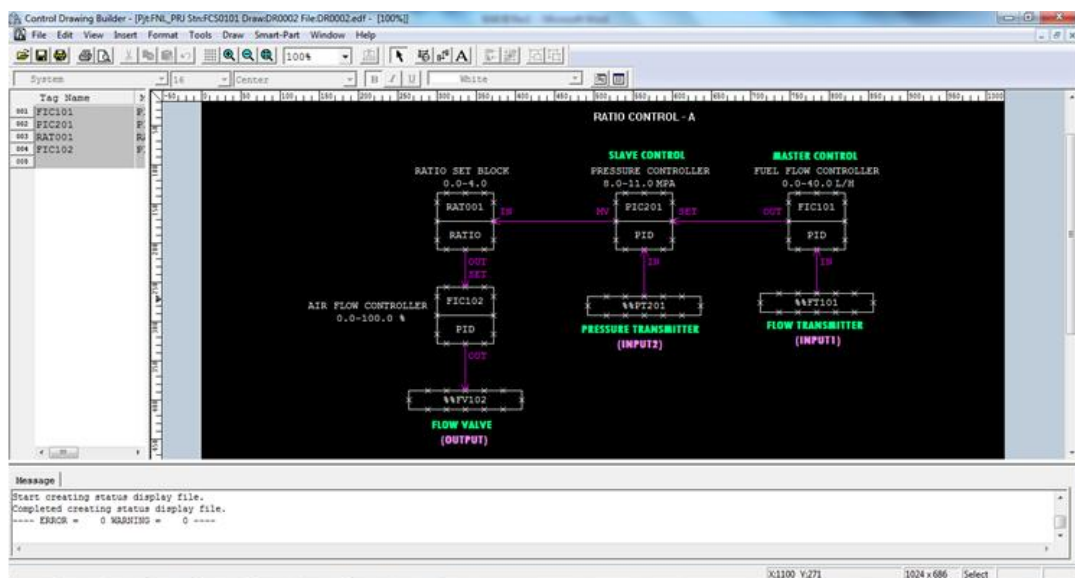
Selanjutnya adalah proses *tagging* untuk menyatakan input dan output. Pada bagian ini dilakukan pendaftaran keseluruhan input dan output yang dibutuhkan di dalam suatu proyek. Input dan output tersebut sudah terkoneksi sebelumnya dengan *hardware* DCS di *control room*. Gambar 12 menunjukkan proses pendaftaran input dan output dari sistem yang dikendalikan.

Tag Name	Signal	Description	Low Limit	High Limit	Unit	Set Details	PID Tag Name	Label
N001101	Input	Flow Transmitter 101	4	20 mA	Bo		NAPT01	
N001102	Input	Pressure Transmitter 201	4	20 mA	Bo		NAPT01	
N001103	Input		4	20 mA	Bo			
N001104	Input		4	20 mA	Bo			
N001105	Input		4	20 mA	Bo			
N001106	Input		4	20 mA	Bo			
N001107	Input		4	20 mA	Bo			
N001108	Input		4	20 mA	Bo			
N001109	Input		4	20 mA	Bo			
N001110	Input		4	20 mA	Bo			
N001111	Input		4	20 mA	Bo			
N001112	Input		4	20 mA	Bo			
N001113	Input		4	20 mA	Bo			
N001114	Input		4	20 mA	Bo			
N001115	Input		4	20 mA	Bo			
N001116	Input		4	20 mA	Bo			

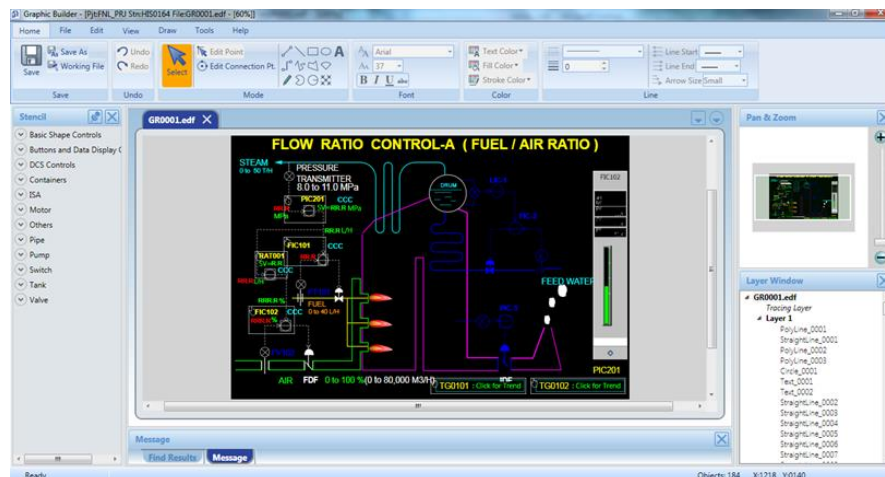
Tag Name	Signal	Description	Low Limit	High Limit	Unit	Set Details	PID Tag Name	Label
N001201	Output	Control Valve 102	4	20 mA	Direct Output		NAPT01	
N001202	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001203	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001204	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001205	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001206	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001207	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001208	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001209	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001210	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001211	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001212	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001213	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001214	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001215	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001216	Output		4	20 mA	Direct Output			

Gambar 12. Proses *tagging* untuk input dan output

Tahap berikutnya adalah pembuatan *function block* dan pembuatan HMI. Pada bagian *function block* ini, berbagai tipe jenis kontrol dapat dibuat dan dalam konteks penelitian ini dibuat *ratio control*, sedangkan HMI digunakan untuk melihat kondisi aktual di lapangan. Pembuatan *function block* dan HMI diperlihatkan dalam Gambar 13 dan 14.



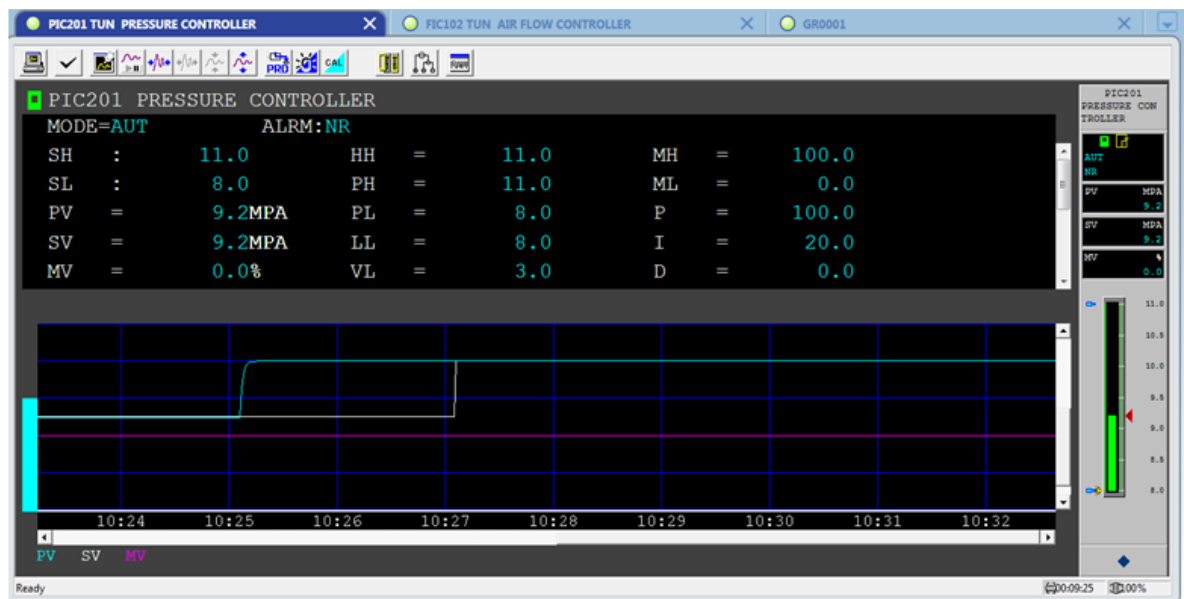
Gambar 13. *Function block* dalam sistem kendali *furnace* dengan DCS



Gambar 14. Desain HMI

Tahap terpenting lainnya adalah penentuan nilai (*tuning*) parameter dalam blok pengendali PID seperti ditunjukkan dalam Gambar 15. Penentuan nilai ini dilakukan secara coba-coba. Metoda tersebut dilakukan dengan cara mencoba berulang kali nilai-nilai parameter sampai ditemukan respon sistem yang terbaik. Dalam proyek ini, tipe pengendalinya adalah PI dan prosedur penentuan nilai parameternya mengikuti urutan sebagai berikut:

- Kondisi proses pada *plant* dalam keadaan *running*.
- Kondisikan sistem kendali pada posisi manual, kemudian tunggu hingga keadaan PV berada di nilai yang mencukupi untuk dilakukan *tuning*.
- Kondisikan sistem kendali pada mode auto.
- Ubah-ubah nilai paramater pengendali hingga menemukan nilai yang terbaik berdasarkan sinyal osilasi terhadap *setpoint* pada grafik *trend*.
- Lihat hasil *feedback* dari plant (PV) setelah dilakukan perubahan nilai pengendali.
- Ulangi langkah sebelumnya sehingga diperoleh kondisi respon sistem yang terbaik yakni respon yang cepat, *overshoot* sekecil mungkin, dan *offset* sekecil mungkin.



Gambar 15. Simulasi tes

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Penentuan sistem ratio control pada furnace

Sebuah kontrol rasio (*ratio control*) memainkan peranan penting dalam operasi yang aman dan menguntungkan pada *fired heater*, *boiler*, *furnace*, dan proses pembakaran bahan bakar yang serupa. Hal ini karena rasio udara-ke-bahan bakar (*air-to-fuel*) di zona pembakaran proses tersebut secara langsung berdampak pada efisiensi pembakaran bahan bakar dan emisi lingkungan. Pada sistem yang dirancang, laju aliran bahan bakar disesuaikan untuk mempertahankan tekanan di *steam header*. Tekanan pada *steam header* dikendalikan untuk memperoleh operasi yang efisien dalam proses pembakaran. Operasi yang efisien dapat diperoleh apabila energi panas berguna secara maksimal jika diberikan udara ke zona pembakaran pada tingkat aliran massa yang benar sesuai untuk laju aliran massa bahan bakar untuk *burner*. Aliran massa dari udara dan bahan bakar inilah yang selanjutnya dikendalikan dengan sistem *ratio control*. Dengan aliran yang dikendalikan adalah aliran bahan bakar dan aliran *wild* (*wild stream*) adalah aliran udara.

Jika rasio udara terlalu sedikit dapat meningkatkan polusi dan membuang bahan bakar. Rasio udara/bahan bakar yang terlalu kecil menyebabkan pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar. Jika ketersediaan oksigen yang berkurang, gas buang beracun termasuk karbon monoksida akan terbentuk. Jika rasio

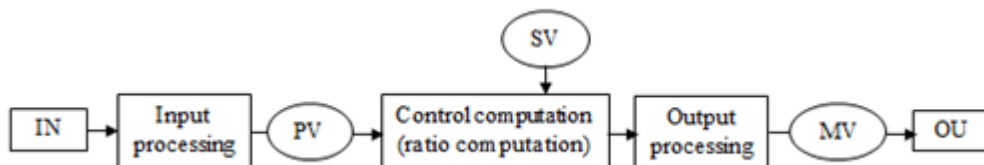
udara/bahan bakar terus berkurang, hanya sebagian bahan bakar yang terbakar dan bahan bakar yang tidak terbakar dapat muncul dalam cerobong. Hal ini ditampakkan sebagai asap dan jelaga. Pembakaran tidak sempurna juga berarti membuang-buang bahan bakar. Jika rasio udara terlalu besar akan membuang bahan bakar. Jika rasio udara/bahan bakar meningkat di atas yang diperlukan untuk pembakaran sempurna, tambahan nitrogen dan oksigen yang tidak diperlukan menyerap energi panas, menurunkan suhu api dan gas di zona pembakaran. Jika suhu operasi turun, *burner* kurang mampu mengekstrak energi panas berguna untuk penerapan yang dimaksudkan. Jadi, ketika rasio udara/bahan bakar terlalu tinggi akan diproduksi surplus udara panas. Udara panas ini hanya membawa energi panas dan keluar cerobong *exhaust* sebagai keuntungan yang hilang.

B. Analisis function block pada sistem kendali ratio control

Merujuk kepada Gambar 2, terdapat tiga buah blok PID yang berbeda besarannya. Analisis diperlukan agar dapat dipastikan untuk seluruh koneksi dari PV, SV dan MV telah sesuai dengan konsep kerja *cascade control*. Selain itu digunakan juga blok RATIO, dimana inputnya berasal dari blok PID yang berfungsi sebagai *pressure controller* dan hasil outputnya digunakan sebagai SV pada blok PID untuk *flow controller* dari udara.

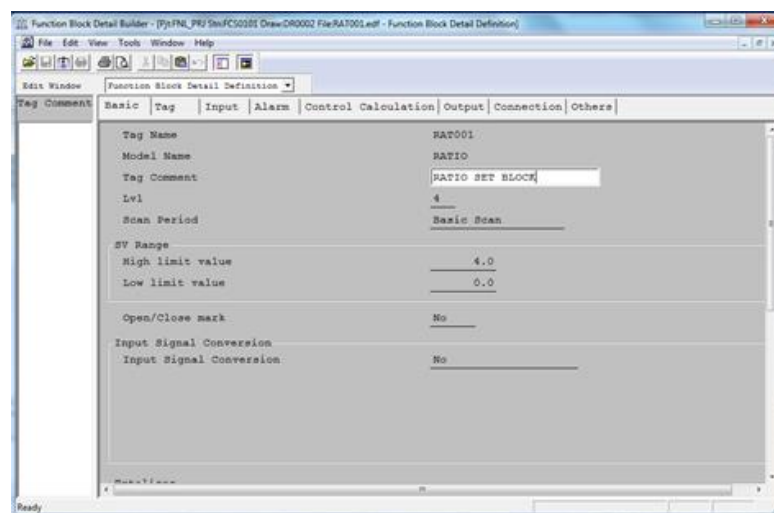
C. Analisis pada blok RATIO

Blok Ratio merupakan salah satu blok kendali yang terdapat pada *function block* DCS Yokogawa. Output dari blok RATIO adalah *manipulated output value* (MV) yang mengikuti perubahan *process variable* (PV) dikali dengan *ratio set value*. Ratio blok mendefinisikan rasio untuk mengendalikan dua jumlah kendalian. Secara garis besar, diagram blok dari blok ratio diperlihatkan pada Gambar 16.



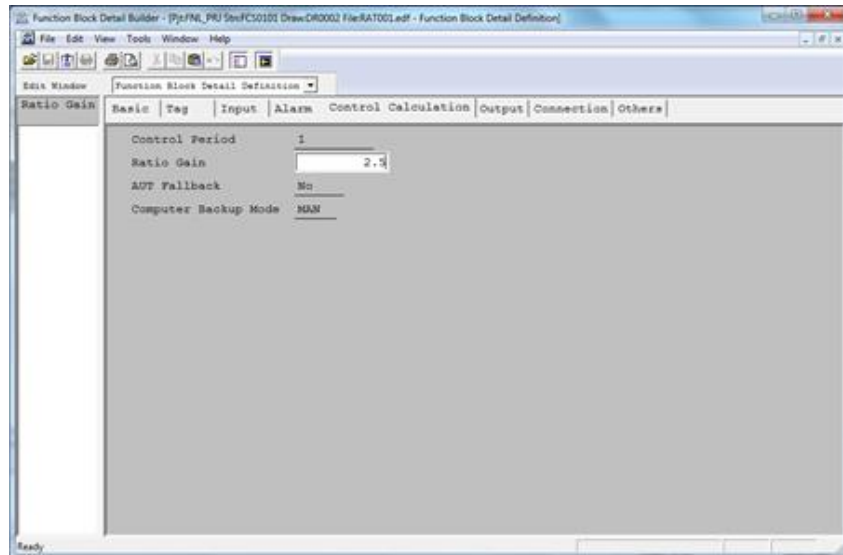
Gambar 16. Diagram blok kontrol rasio

Ada beberapa parameter yang ditentukan dalam RATIO blok, yaitu *Setpoint Value* (SV) *Range*, *ratio gain*, dan koneksi input-output. Penentuan *setpoint value* (SV) *range* menggunakan *function block detail builder*. Setting *default* untuk *setpoint ratio* adalah 0.0 hingga 4.0. Pada sistem yang direalisasikan, nilai *setpoint value* (SV) *range* berada pada nilai *setting default* seperti diperlihatkan dalam Gambar 17.



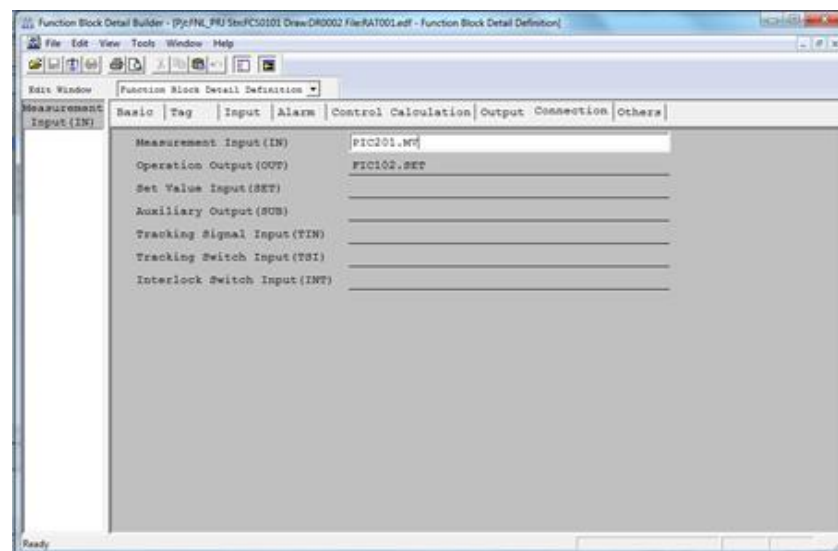
Gambar 17. *Setpoint Value* (SV) *Range*

Sementara itu, *ratio gain* dispesifikasikan 7 digit atau kurang untuk nilai angka, dimana tanda dan titik 81ecimal menempati masing-masing 1 digit. Nilai *default* dari *ratio gain* adalah 1,0. Pada sistem yang telah direalisasikan nilai *ratio gain* yang digunakan adalah 2,5 seperti diperlihatkan pada Gambar 18.



Gambar 18. *Setting Ratio Gain*

Pada realisasi sistem yang telah dibuat, koneksi input dan output dari blok ratio berasal dari blok PID. Koneksi input berasal dari *Pressure Controller* (PIC201) dan koneksi output terhubung dengan *Flow Controller* (FIC102) seperti diberikan dalam Gambar 19.



Gambar 19. Koneksi Input dan Output Blok Ratio

D. Penentuan parameter pengendali PID

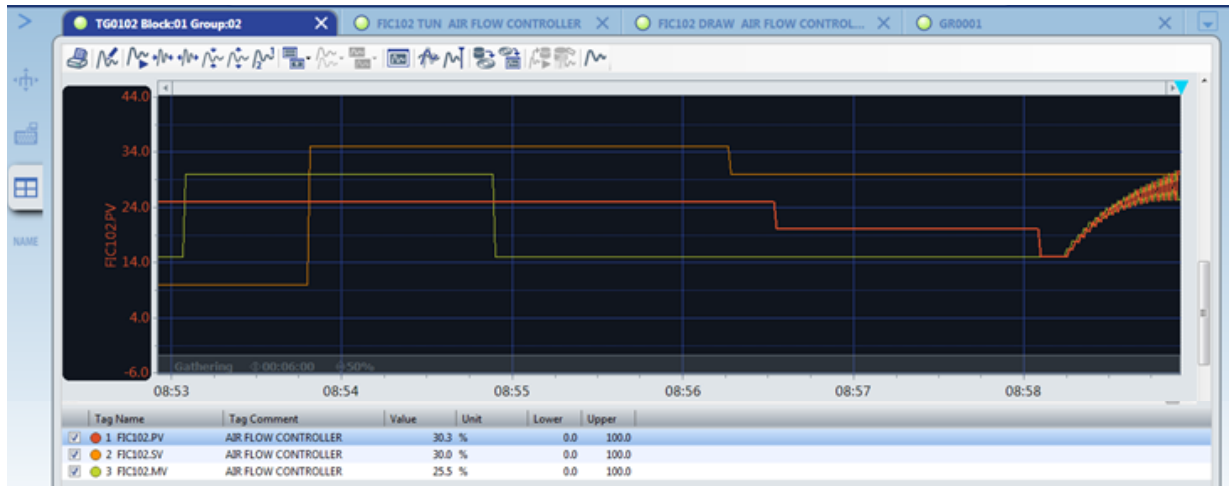
Setelah seluruh tahapan sebelumnya telah bekerja secara normal, maka langkah selanjutnya adalah melakukan penentuan parameter pengendali PID agar respon sistem bekerja dengan baik. Dalam implementasi sistem, parameter pengendali yang digunakan hanya parameter proporsional (P) dan integral (I). Kontroler tipe proporsional (P) memiliki aksi kontrol yang proporsional terhadap sinyal kesalahan, dinyatakan dalam K_p (*Proportional Gain*) atau PB (*Proportional Band*). Karakteristik dari kontroler proporsional ini adalah :

- Proportional Band ($>$) : semakin besar offset-nya dan respons bergerak lambat.
- Proportional Band ($<$) : semakin besar kemungkinan osilasi terjadi (peredaman osilasi kecil) dan mempercepat *rise time*.

Sementara itu, kontroler tipe Integral (I) memiliki aksi kontrol yang diperoleh dengan operasi integral dari sinyal kesalahan. Paramernya dinyatakan dalam *integral time* (τ_i). Karakteristik dari kontroler integral ini adalah :

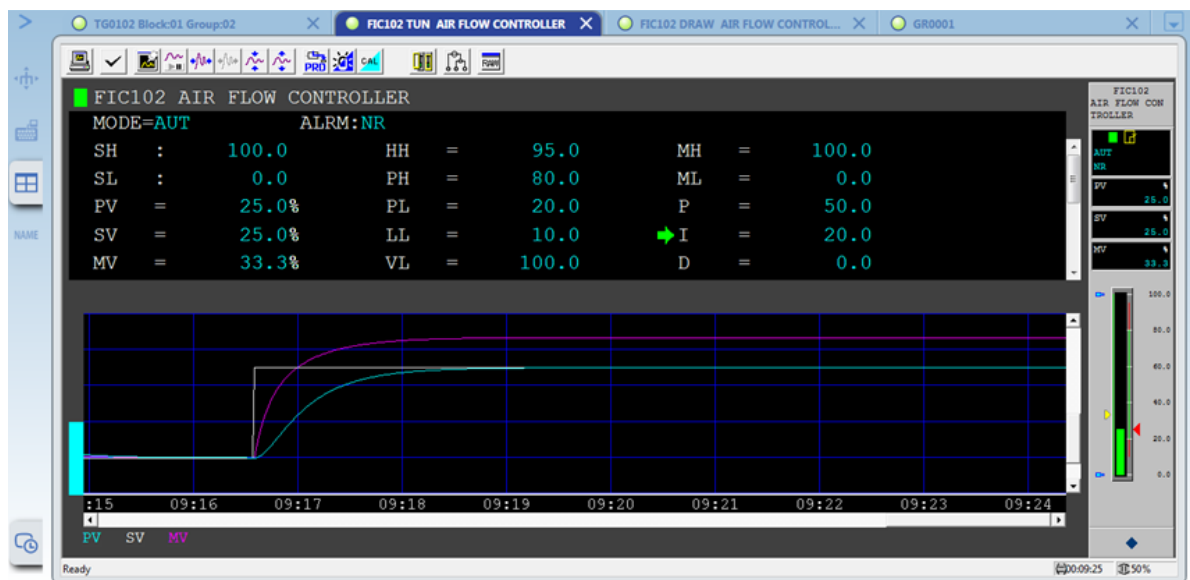
- *integral time* ($>$) : akan menghilangkan *offset* yang terjadi.
- *integral time* ($<$) : terjadi osilasi pada saat bagian integral menghilangkan *offset*, serta timbulnya *overshoot* apabila ada perubahan beban.

Dalam eksperimen ini, dilakukan perbandingan hasil *tuning* parameter pengendali terhadap kinerja sistem kendali yang diukur dari respon waktunya. Grafik pada Gambar 20 menunjukkan bentuk respon waktu sistem pada kendali *flow* sebelum pengendali FIC102 bekerja.



Gambar 20. Kondisi awal respon sistem sebelum pengendali FIC102 bekerja

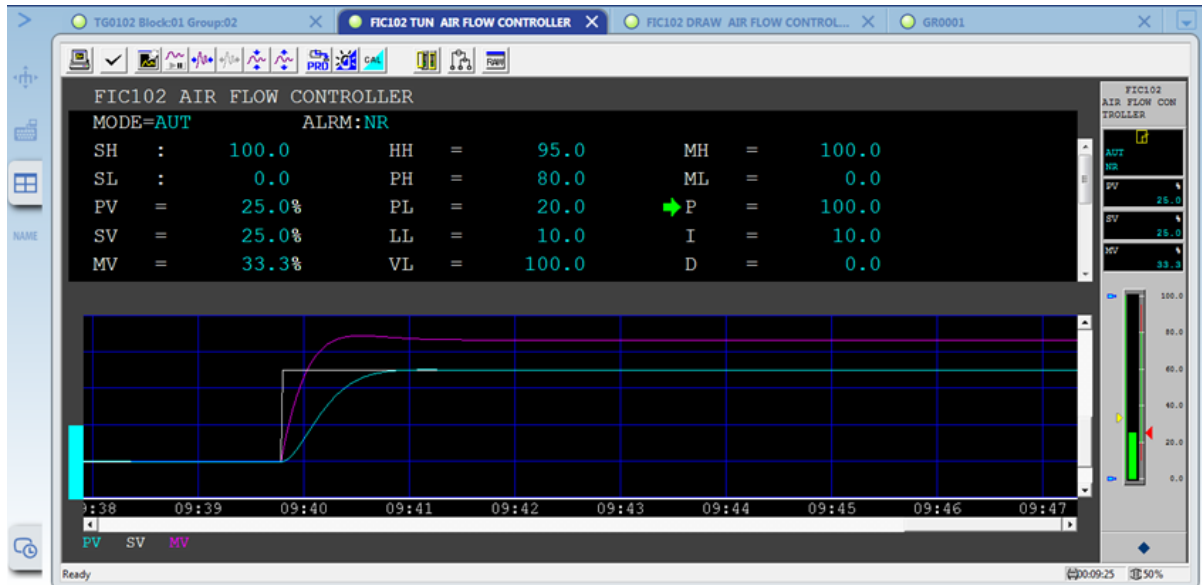
Saat dilakukan *tuning* parameter dengan nilai parameter $P = 50$, $I = 20$, dan $D = 0$ diperoleh grafik respon waktu seperti diberikan dalam Gambar 21. Dari hasil tersebut, diperoleh grafik dengan tipe respon berbentuk *critically damped* dengan ukuran kinerja *rise time* sekitar 2 menit 58 detik dan tidak terjadi *overshoot*.



Gambar 21. *Tuning* FIC102 dengan parameter $P = 50$, $I = 20$ dan $D = 0$

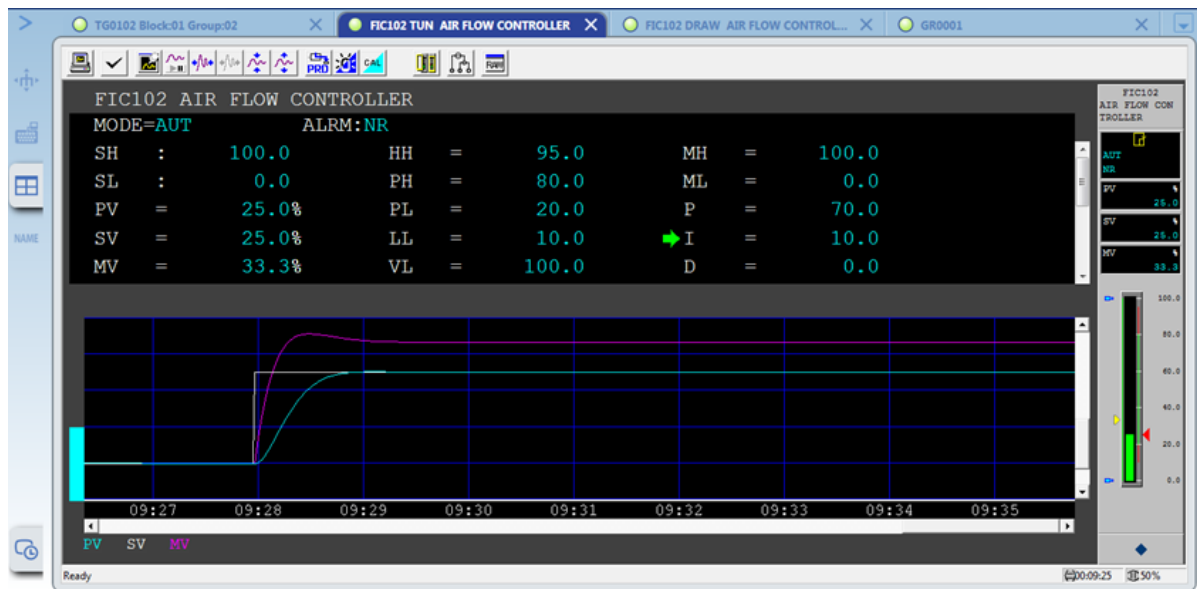
Eksperimen berikutnya dilakukan dengan melakukan *tuning* nilai parameter $P = 100$, $I = 10$, dan $D = 0$ dan diperoleh grafik respon waktu seperti diperlihatkan dalam Gambar 22. Hasil tersebut menunjukkan bentuk respon *underdamped* dengan waktu yang diperlukan untuk sistem mencapai SV (*rise time*) sekitar 1 menit 10 detik, sedangkan waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai maksimum (*peak time*)

sekitar 1 menit 26 detik. Sementara itu, nilai *settling time* sebesar 1 menit 53 detik dan *maximum overshoot* sekitar 0,2 %.



Gambar 22. Tuning FIC102 dengan parameter $P = 100$, $I = 10$, dan $D = 0$

Eksperimen lainnya dilakukan dengan *tuning* parameter $P = 70$, $I = 10$, dan $D = 0$ dan diperoleh grafik seperti pada Gambar 23. Dengan *tuning* parameter nilai tersebut, respon waktunya berbentuk *underdamped* dengan kinerja respon waktu *rise time* sekitar 58 detik, *peak time* sekitar 1 menit 14 detik, *settling time* sekitar 1 menit 34 detik, dan *maximum overshoot* sekitar 0,2 %.



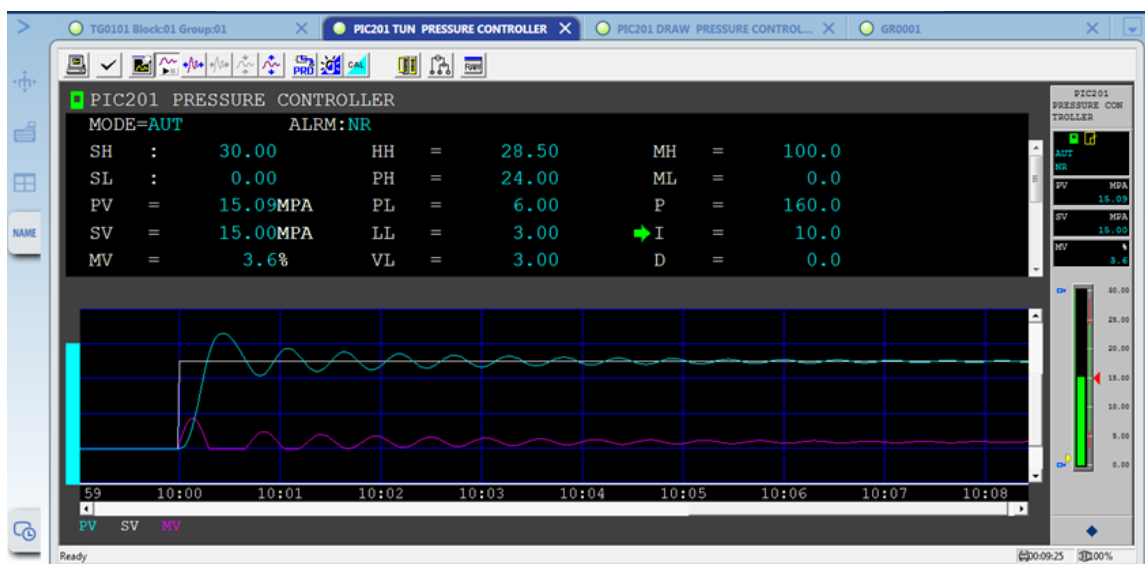
Gambar 23. Tuning FIC102 dengan parameter $P = 70$, $I = 10$, dan $D = 0$

Selanjutnya, hasil *tuning* parameter PID pada kontrol *flow* FIC102 yang diuraikan di atas disajikan pada Tabel 2.

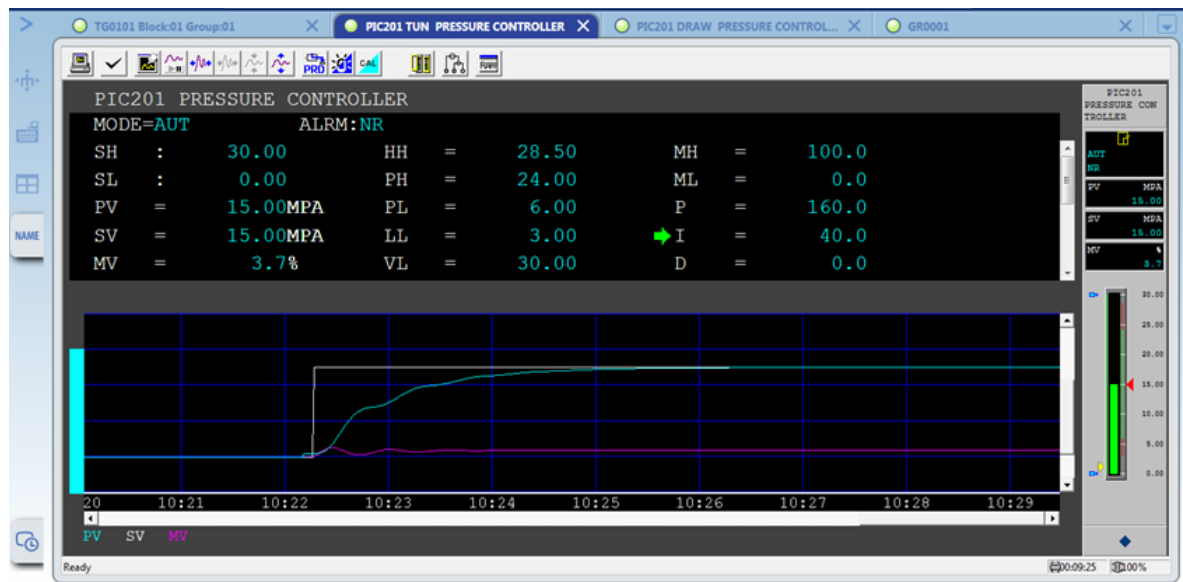
Tabel 2. *Tuning* parameter pengendali PID pada Kontrol *Flow* (FIC102)

Parameter	Tuning			Keterangan
	1	2	3	
Scale High (SH)	100%	100%	100%	Maksimum range <i>transmitter</i>
Scale Low (SL)	0%	0%	0%	Minimum range <i>transmitter</i>
High High Alarm (HH)	95%	95%	95%	Alarm akan aktif pada saat <i>flow</i> mencapai nilai 95%
High Alarm (HI)	80%	80%	80%	Alarm akan aktif pada saat <i>flow</i> mencapai nilai 80%
Low Alarm (LO)	20%	20%	20%	Alarm akan aktif pada saat <i>flow</i> mencapai nilai 20%
Low Low Alarm (LL)	10%	10%	10%	Alarm akan aktif pada saat <i>flow</i> mencapai nilai 10%
Proporsional (P)	50	100	70	
Integral (I)	20	10	10	
Set Value (SV)	25%	25%	25%	
Respon sistem	Nilai Offset rendah	Nilai Offset rendah	Nilai Offset rendah	
	Respon mengejar SV lambat	Respon mengejar SV cepat	Respon mengejar SV cepat	

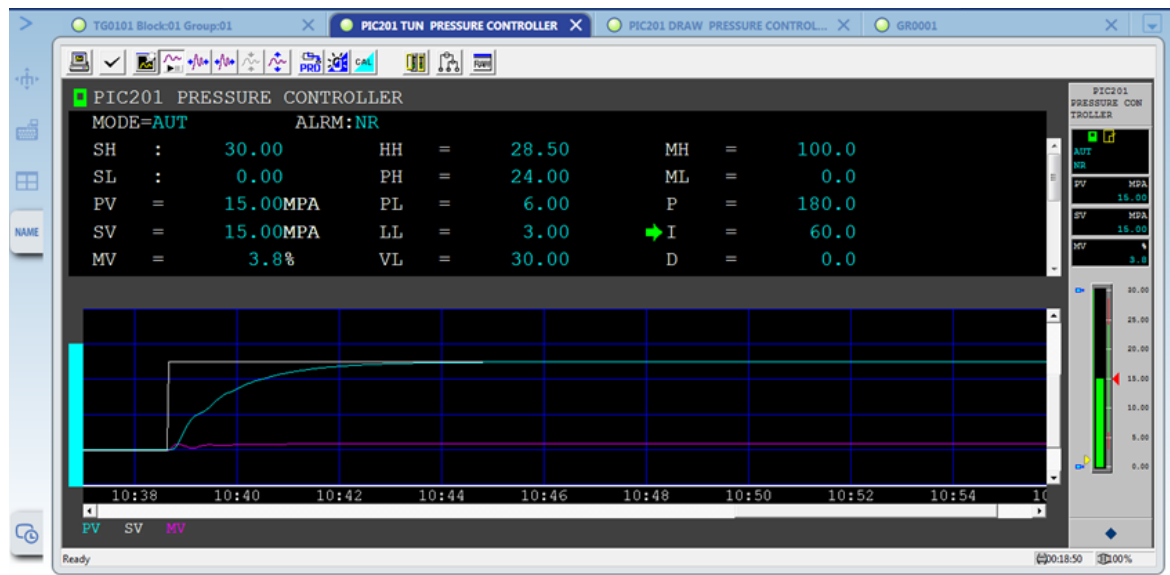
Selain pengendalian *flow*, eksperimen juga dilakukan untuk pengendalian *pressure* dengan pengendali PIC201. Sama halnya dengan pengendalian *flow*, *tuning* parameter PID untuk pengendalian *pressure* juga dilakukan dengan menguji coba tiga kombinasi parameter PID yaitu P = 160, I = 10, D = 0; P = 160, I = 40, D = 0; dan P = 180, I = 60, D = 0. Respon waktu dari sistem untuk setiap *tuning* parameter PID diperlihatkan dalam Gambar 24-26. Untuk nilai parameter P = 160, I = 10, D = 0, bentuk responnya adalah *underdamped* dengan nilai *rise time* sekitar 15 detik, *peak time* dicapai dalam 5 detik, *settling time* sekitar 13 menit 9 detik, dan nilai *maximum overshoot* adalah 4.67 MPa. Untuk nilai parameter P = 160, I = 40, D = 0, bentuk responnya menjadi *critically damped* dengan nilai *rise time* 5 menit 56 detik. Sementara itu, untuk parameter P = 180, I = 60, D = 0, bentuk responnya *critically damped* dengan nilai *rise time* sekitar 8 menit 48 detik.



Gambar 24. *Tuning* PIC201 dengan parameter P = 160, I = 10 dan D = 0.



Gambar 25. Tuning PIC201 dengan parameter $P = 160$, $I = 40$ dan $D = 0$.



Gambar 26. Tuning PIC201 dengan parameter $P = 180$, $I = 60$ dan $D = 0$.

Hasil *tuning* parameter PID pada kontrol *pressure* PIC201 yang diuraikan di atas disajikan pada Tabel 3.

IV. KESIMPULAN

Sistem kendali *furnace* menggunakan DCS Centum VP R5.04.20 telah berhasil direalisasikan dengan menggunakan pengendali PI. Untuk FIC102 kondisi stabil diperoleh dengan nilai $P = 100$ dan $I = 10$, sedangkan untuk PIC201 kondisi stabil diperoleh dengan nilai $P = 180$ dan $I = 60$. Dengan menggunakan kendali PI diperoleh respon sistem yang diinginkan, yaitu nilai *offset* yang rendah dan respon PV mengejar SV lebih cepat. Selain itu, pengendalian *furnace* menggunakan metode *ratio control*, dimana *ratio* yang dikendalikan adalah aliran bahan bakar dan udara. Aliran bahan bakar sebagai aliran yang dikendalikan dan aliran udara sebagai aliran *wild (wild stream)*. Nilai parameter PI untuk mengendalikan besaran *flow* dan *pressure* telah diperoleh melalui proses *tuning parameter* agar respon sistem berjalan sesuai dengan yang diinginkan.

Penelitian lanjutan yang mungkin dilakukan adalah dengan menerapkan metode klasik tetapi praktis dalam melakukan proses *tuning* parameter pengendali PID seperti Ziegler-Nichols atau menerapkan metode kendali dengan pendekatan kecerdasan buatan seperti logika fuzzy atau jaringan syaraf tiruan.

Tabel 3. *Tuning* parameter pengendali PID pada Kontrol Pressure (PIC201)

Parameter	<i>Tuning</i>			Keterangan
	1	2	3	
Scale High (SH)	30MPa	30MPa	30MPa	Maksimum range transmitter
Scale Low (SL)	0MPa	0MPa	0MPa	Minimum range transmitter
High High Alarm (HH)	28.5MPa	28.5MPa	28.5MPa	Alarm akan aktif pada saat pressure mencapai nilai 28.5MPa
High Alarm (HI)	24MPa	24MPa	24MPa	Alarm akan aktif pada saat pressure mencapai nilai 24MPa
Low Alarm (LO)	6MPa	6MPa	6MPa	Alarm akan aktif pada saat pressure mencapai nilai 6MPa
Low Low Alarm (LL)	3MPa	3MPa	3MPa	Alarm akan aktif pada saat pressure mencapai nilai 3MPa
P	160	160	180	
I	10	40	60	
Set Value (SV)	15MPa	15MPa	15MPa	
Respon sistem	Nilai Offset tinggi	Nilai Offset rendah	Nilai Offset rendah	
	Respon mengejar SV cepat dan terjadi osilasi	Respon mengejar SV relatif lambat dan terjadi osilasi	Respon mengejar SV relatif lambat	

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani dan Pusat Riset dan Teknologi Atmosfer Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan fasilitas dalam melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. H. Khisty, "SCADA Systems in Oil and Gas : Driving Innovation and Efficiency in the Digital Age," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 8, pp. 96–107, 2024.
- [2] L. Zhang and J. Wang, "Intelligent safe operation and maintenance of oil and gas production systems : Connotations and key technologies," *Nat. Gas Ind. B*, vol. 10, no. 3, pp. 293–303, 2023, doi: 10.1016/j.ngib.2023.05.006.
- [3] A. S. Allahloh, M. Sarfraz, A. M. Ghaleb, and S. Mejjaouli, "IIoT-Based Intelligent Process Control for Crude Oil Separation : Investigating the Impact of Model-Based Control and Genetic Algorithms," *J. Sensors*, vol. 2023, no. 1909835, pp. 1–20, 2023, doi: 10.1155/2023/1909835.
- [4] A. U. Mentsiev and I. A. Mutaev, "Automation and control of thermal processes in the furnace," in *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 734, 2020, p. 012212, doi: 10.1088/1757-899X/734/1/012212.
- [5] S. Skogestad, "Ratio control : Theoretical basis and practical implementation," 2025. [Online]. Available: [https://skoge.folk.ntnu.no/publications/2025/skogestad-ratio-control/Ratio_control\(8\).pdf](https://skoge.folk.ntnu.no/publications/2025/skogestad-ratio-control/Ratio_control(8).pdf).
- [6] E. T. A. B. A. Alobaidi and O. A. Alqahtani, "Feed forward and Ratio control," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 12, no. 11, pp. 95–99, 2022, doi: 10.9790/9622-12119599.
- [7] L. S. Paraschiv, A. Serban, and S. Paraschiv, "Calculation of combustion air required for burning solid fuels (coal / biomass / solid waste) and analysis of flue gas composition," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 36–45,

- 2020, doi: 10.1016/j.egy.2019.10.016.
- [8] M. Tkáčik, J. Jadlovsky, S. Jadlovská, A. Jadlovská, and T. Tkáčik, “Modeling and Analysis of Distributed Control Systems: Proposal of a Methodology,” *Processes*, vol. 12, no. 5, pp. 1–20, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/pr12010005>.
- [9] -----, “OpreX Control – Distributed Control System (DCS).” <https://www.yokogawa.com/id/solutions/products-and-services/control/control-and-safety-system/distributed-control-systems-dcs/>.
- [10] V. Athappan, M. Saravanabalaji, and S. Ranganathan, “Real Time Temperature Process Plant Automation Using Yokogawa DCS Centum VP,” in *International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*, 2021, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICAECA52838.2021.9675780.
- [11] N. Qu and W. You, “Design and fault diagnosis of DCS sintering furnace’s temperature control system for edge computing,” *PLoS One*, vol. 16, no. 7, p. e0253246, 2021, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253246>.
- [12] T. Yawisit, “Performance Analysis of Distributed Control System: Implementation and Optimization of Yokogawa Centum-VP,” King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2025.
- [13] M. Tutar *et al.*, “Optimized CFD modelling and validation of radiation section of an industrial top-fired steam methane reforming furnace,” *Comput. Chem. Eng.*, vol. 155, p. 107504, 2021, doi: 10.1016/j.compchemeng.2021.107504.
- [14] T. Lee, E. Han, U.-C. Moon, and K. Y. Lee, “Supplementary Control of Air-Fuel Ratio Using Dynamic Matrix Control for Thermal Power Plant Emission,” *Energies*, vol. 13, no. 226, pp. 1–15, 2020.
- [15] S. Li and Y. Wang, “Performance Assessment of a Boiler Combustion Process Control System Based on a Data-Driven Approach,” *Processes*, vol. 6, no. 200, pp. 1–35, 2018, doi: 10.3390/pr6100200.