

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

SISTEM ROBOT MOBIL DETEKSI RAMBU LALU LINTAS DENGAN PENGOLAHAN CITRA BERBASIS ESP32-CAM DAN EDGE IMPULSE

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

ALDRI LINANDA
11850512266

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2025

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

**SISTEM ROBOT MOBIL DETEKSI RAMBU LALU LINTAS
DENGAN PENGOLAHAN CITRA BERBASIS ESP32-CAM
DAN EDGE IMPULSE**

TUGAS AKHIR

Oleh :

ALDRI LINANDA
11850512266

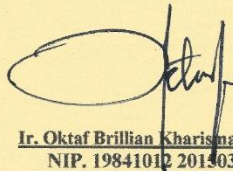
Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir
Program Studi Teknik Elektro Di Pekanbaru, Pada Tanggal 10 Juli 2025

Ketua Program Studi



Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
NIP. 19721021 200604 2 001

Pembimbing



Ir. Oktaf Brilliant Kharisma, S.T., M.T.
NIP. 19841012 201303 1 003

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

SISTEM ROBOT MOBIL DETEKSI RAMBU LALU LINTAS DENGAN PENGOLAHAN CITRA BERBASIS ESP32-CAM DAN EDGE IMPULSE

TUGAS AKHIR

Oleh:

ALDRI LINANDA
11850512266

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada Tanggal 10 Juli 2025


Pekanbaru, 10 Juli 2025

Mengesahkan



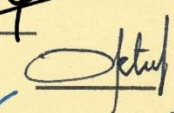
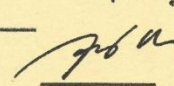


Dekan
Dr. Yusfenita Muda, S.Si., M. Sc.
NIP. 19770103 200710 2 001

Ketua Program Studi


Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
NIP. 1972102 1200604 2 001

Dewan Penguji	:	
Ketua Sidang	:	Sutoyo, S.T., M.T.
Sekretaris	:	Ir. Oktaf Brilliant Kharisma, S.T., M.T.
Anggota 1	:	Dr. Harris Simaremare, S.T., M.T.
Anggota 2	:	Abdillah, S.Si., M.L.T

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran Surat :
Nomor : Nomor 25/2021
Tanggal : 10 September 2021

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Aldri Linanda
NIM : 11850512266
Tempat/Tgl. Lahir : Danau Binkuang/ 20 November 1999
Fakultas/Pascasarjana : Sains dan Teknologi
Prodi : Teknik Elektro
Judul Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya*:
Sistem Robot Mobil Deteksi Rambu Lalu Lintas Dengan Pengolahan Citra Berbasis Esp32-Cam dan Edge Impulse

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya* dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya* saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apa bila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya* saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi peraturan perundang-undangan.

Demikianlah Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 21 Juli 2025
Yang membuat pernyataan



Aldri Linanda

NIM: 11850512266

*Pilih salah satu sesuai jenis karya tulis

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSEMBAHAN

1. Bukankah kami Telah melapangkan untukmu dadamu? 2. Dan kami Telah menghilangkan daripadamu bebanmu, 3. Yang memberatkan punggungmu 4. Dan kami tinggikan bagimu sebutan (nama)mu 5. Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, 6. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. 7. Maka apabila kamu Telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. 8. Dan Hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.

(Qs. Alam Nasrah 1-8)

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, yang mana memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya serta memberikan kesabaran dan kesehatan. Shalawat serta salam tak lupa saya ucapkan kepada junjungan alam yakni Nabi Besar Muhammad SAW, yang telah mengajarkan umat dari alam kebodohan menuju alam yang penuh dengan ilmu pengetahuan serta mencari ridha Allah SWT.

Saya persembahkan karya ilmiah ini sebagai bentuk penghargaan dan terima kasih kepada ayahanda dan ibunda serta sanak keluarga yang telah memberi saya kepercayaan dan dukungan. Inilah salah satu kado yang mungkin dapat menghibur hati kita semua. Karya ilmiah ini adalah awal dari keberhasilan yang lebih besar lagi dengan tetap berpegang teguh pada ajaran agama Islam.

SISTEM ROBOT MOBIL DETEKSI RAMBU LALU LINTAS DENGAN PENGOLAHAN CITRA BERBASIS ESP32-CAM DAN EDGE IMPULSE

ALDRI LINANDA

NIM : 11850512266

Tanggal sidang : 10 Juli 2025

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe sistem robot mobil pintar yang mampu mendeteksi rambu lalu lintas secara real-time menggunakan kamera ESP32-CAM dan model pembelajaran mesin dari platform Edge Impulse. Sistem ini memanfaatkan teknologi pengolahan citra dan kecerdasan buatan untuk mengklasifikasikan rambu-rambu seperti "STOP", "Belok Kiri", "Belok Kanan", dan "Kurangi Kecepatan", kemudian memberikan respons otomatis melalui kontrol motor. ESP32-CAM digunakan sebagai unit pemrosesan utama karena keunggulannya dalam efisiensi daya, biaya rendah, dan kemampuan untuk menjalankan model AI secara lokal. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mencapai akurasi rata-rata 78% dan waktu respons sekitar 420 ms, dengan tingkat keberhasilan aksi kendaraan sebesar 76,67%. Sistem juga menunjukkan kestabilan selama pengujian di lingkungan simulasi. Penelitian ini membuktikan bahwa ESP32-CAM dapat digunakan sebagai solusi hemat biaya untuk sistem kendaraan otonom skala kecil, serta berpotensi sebagai alat edukatif dalam pembelajaran robotika dan kecerdasan buatan.

Kata Kunci: ESP32-CAM, Deteksi Rambu Lalu Lintas, Edge Impulse, CNN, IoT, Kendaraan Otonom

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

A ROBOTIC CAR SYSTEM FOR TRAFFIC SIGN DETECTION USING IMAGE PROCESSING WITH ESP32-CAM AND EDGE IMPULSE

ALDRI LINANDA

NIM : 11850512266

Date of Final Exam : 10 Juli 2025

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science and Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. No. 155 Pekanbaru-Indonesia

ABSTRACT

This research aims to design and develop a prototype of an intelligent robotic car system capable of detecting traffic signs in real-time using the ESP32-CAM camera and a machine learning model from the Edge Impulse platform. The system leverages image processing and artificial intelligence to classify signs such as "STOP", "Turn Left", "Turn Right", and "Slow Down", then responds automatically via motor control. ESP32-CAM serves as the main processing unit due to its advantages in power efficiency, low cost, and ability to run AI models locally. Testing results show the system achieved an average detection accuracy of 78% and a response time of approximately 420 ms, with a vehicle action execution success rate of 76.67%. The system also demonstrated stability during testing in a simulated environment. This study proves that ESP32-CAM can be used as a cost-effective solution for small-scale autonomous vehicle systems and holds potential as an educational tool in robotics and artificial intelligence learning.

Keywords: ESP32-CAM, Traffic Sign Detection, Edge Impulse, CNN, IoT, Autonomous Vehicle

KATA PENGANTAR



Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillah Rabbil Alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah swt, berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Mini yang berjudul **“SISTEM ROBOT MOBIL DETEKSI RAMBU LALU LINTAS DENGAN PENGOLAHAN CITRA BERBASIS ESP32-CAM DAN EDGE IMPULSE”**. Shalawat beriringan salam semoga tetap tercurah kepada junjungan alam yakninya Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknin di Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Banyak sekali pihak yang telah membantu dalam menyusun Tugas Akhir ini, baik secara moril maupun materil. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua beserta keluarga besar yang senantiasa memberi dukungan serta mendoakan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ibuk Prof. Dr. Hj. Leny Nofianti, MS, SE, M.Si, Ak, CA. selaku Rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Bapak Dr. Yuslenita Muda, S.Si., M. Sc. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini, ST., MT selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
5. Bapak Sutoyo, S.T, M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Ir. Oktaf Brilliant Kharisma, S.T., M.T., IMP., APEC_Eng. selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Bapak Dr. Harris Simaremare, S.T., M.T dan Bapak Abdillah, S.Si., M.I.T selaku penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
8. Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga semester 14 ini.
9. Bapak Prof. Fitra Lestari Nohirza, M. Eng., Ph. D. selaku wakil dekan I yang telah memberikan nasehat kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Dr. Almi Jera, S.Sy., M.H. Saudara yang selalu ada dan memberikan nasehat kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Sahabat-sahabat penulis Rehza Rafiqi Ramadhan, Riski Kurniawan, Deri Arya, Akmal Fauzan yang selalu menghibur dan memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
13. Alumni/Senior serta Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2018 khususnya kelas B dan Konsentrasi Komputer.
14. Rekan-rekan seperjuangan dibawah naungan bimbingan pak oktaf yang telah membantu pengerjaan laporan Tugas Akhir ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya. Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Pekanbaru, 10 Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

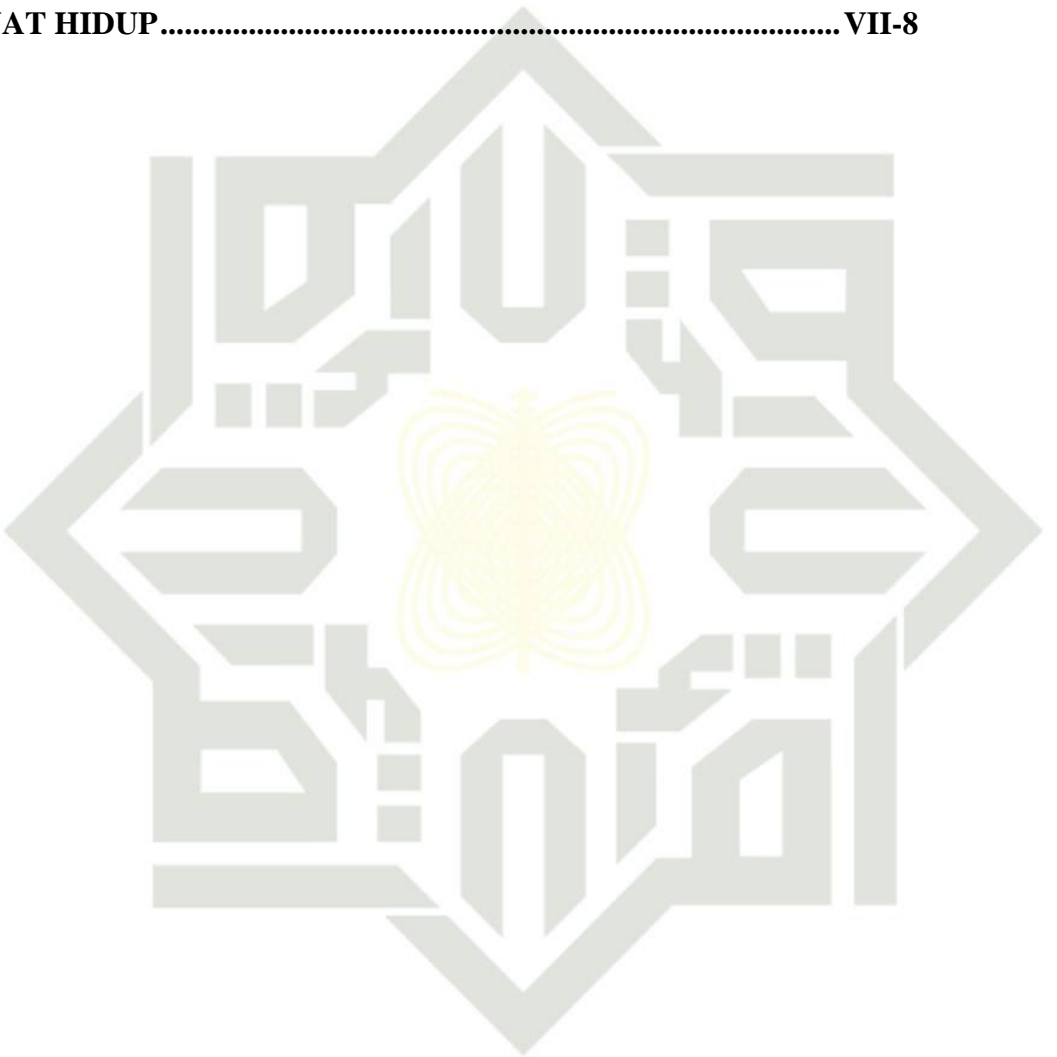
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I	I-1
PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-4
1.3 Tujuan Penelitian	I-4
1.4 Batasan Masalah	I-5
1.5 Manfaat Penelitian	I-5
BAB II.....	II-1
TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Definisi Mikrokontroller	II-3
2.3 Internet of Things (IoT)	II-4
2.4 ESP32-CAM	II-4
2.5 Motor Driver L298N	II-6
2.6 Motor DC dan Roda	II-8
2.7 Rangka Mobil (Chassis Mobil)	II-9
2.8 Power Supply	II-10
2.9 Edge Impulse	II-11
BAB III	III-1
METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1
3.1 Jenis Penelitian	III-1
3.2 Alur Penelitian	III-1
3.3 Pengumpulan Data	III-4
3.4 Analisa Kebutuhan Hardware dan Software	III-5

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.4.1	Kebutuhan Perangkat Keras (Hardware)	III-5
3.4.2	Kebutuhan Perangkat Lunak (Software).....	III-6
3.5	Gambaran Sistem	III-6
3.5.1	Blok Diagram Perancangan Sistem	III-7
3.5.2	Gambaran Umum Sistem	III-8
3.6	Perancangan Hardware	III-9
3.7	Perancangan Software.....	III-10
3.7.1	Integrasi dengan Edge Impulse	III-11
3.8	Pengujian Sistem.....	III-14
3.8.1	Pengujian Kamera	III-14
3.8.2	Pengujian Deteksi Rambu	III-15
3.8.3	Pengujian Pergerakan Motor	III-16
3.8.4	Pengujian Keseluruhan.....	III-16
BAB IV		IV-1
HASIL DAN ANALISA		IV-1
4.1 Implementasi Perangkat Keras.....		IV-1
4.2 Hasil Pengujian Sistem.....		IV-3
4.2.1	Pengujian Akurasi Deteksi Rambu	IV-3
4.2.2	Pengujian Waktu Respons Sistem.....	IV-4
4.2.3	Pengujian Eksekusi Aksi Kendaraan.....	IV-5
3.3 Analisis Sistem		IV-9
4.4	Kode Program	IV-9
4.4.1	Library dan Konfigurasi Kamera	IV-9
4.4.2	Konfigurasi Kamera ESP32-CAM (AI Thinker)	IV-9
4.4.3	Konfigurasi Pin Motor L298N	IV-10
4.4.4	Variabel Global	IV-10
4.4.5	Fungsi setup()	IV-11
4.4.6	Fungsi loop()	IV-11
4.4.7	Fungsi ei_camera_init().....	IV-12
4.4.8	Fungsi ei_camera_deinit()	IV-13
4.4.9	Fungsi ei_camera_capture()	IV-13
4.4.10	Fungsi ei_camera_get_data().....	IV-13
4.4.11	Fungsi motor_init().....	IV-13
4.4.12	Fungsi control_motor().....	IV-14

BAB V	V-1
KESIMPULAN DAN SARAN.....	V-1
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-2
DAFTAR PUSTAKA	VI-1
LAMPIRAN	VII-1
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	VII-8

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang



UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 ESP32-CAM	II-5
Gambar 2.2 Motor Driver L298N	II-7
Gambar 2.3 Motor DC.....	II-8
Gambar 2.4 Chassis Mobil	II-10
Gambar 2.5 Power Supply.....	II-11
Gambar 2.6 Edge Impulse	II-12
Gambar 3.1 Tahap Pelaksanaan Alur Penelitian	III-2
Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan Sistem	III-7
Gambar 3.3 Gamabran Umum Sistem.....	III-9
Gambar 3.4 Skema Rangkaian Hardware Keseluruhan	III-10
Gambar 3.5 Flowchart Perancangan Software Sistem	III-11
Gambar 3.6 Proses Pengambilan Dataset.....	III-12
Gambar 3.7 Proses Labelling Objek.....	III-13
Gambar 3.8 Hasil Training di Edge Impulse.....	III-13
Gambar 3.9 Pengujian Kamera.....	III-15
Gambar 3.10 Hasil Deteksi Melalui Serial Monitor.....	III-15
Gambar 4.1 Tampak Depan Prototipe Robot Mobil Pintar Pendeteksi Rambu Lalu Lintas	IV-1
Gambar 4.2 Tampak Samping Kanan/Kiri Robot Mobil Pintar.....	IV-2
Gambar 4.3 Rangkaian Keseluruhan Sistem Elektronik pada Prototipe	IV-2
Gambar 4.4 Contoh Pengujian Deteksi Rambu.....	IV-3
Gambar 4.5 Tampilan Hasil Klasifikasi pada Serial Monitor	IV-4
Gambar 4.6 Robot Mobil Berhenti Setelah Deteksi Rambu STOP.....	IV-8

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi ESP32-CAM	II-5
Tabel 2.2 Spesifikasi Motor Driver L298N	II-7
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Akurasi Deteksi Rambu	IV-3
Tabel 4.2 Percobaan Aksi Kendaraan Berdasarkan Rambu	IV-5
Tabel 4.3 Percepatan Motor Berdasarkan Deteksi Rambu	IV-6

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Lalu lintas merupakan salah satu aspek vital dalam kehidupan masyarakat modern yang terus berkembang seiring meningkatnya populasi dan mobilitas kendaraan. Seiring dengan perkembangan jumlah kendaraan bermotor, sistem transportasi juga menghadapi tantangan serius seperti kemacetan, kecelakaan, pelanggaran lalu lintas, dan minimnya kepatuhan terhadap rambu-rambu lalu lintas. Rambu lalu lintas merupakan elemen penting dalam pengaturan arus lalu lintas serta menjamin keselamatan pengguna jalan. Oleh karena itu, kemampuan untuk mendeteksi dan mengenali rambu lalu lintas secara otomatis menjadi kebutuhan yang sangat penting, terutama dalam sistem transportasi cerdas (Intelligent Transportation System/ITS) dan kendaraan otonom.

Teknologi *computer vision* dan *machine learning* telah banyak digunakan dalam upaya otomatisasi pendeteksian rambu lalu lintas. Namun, sebagian besar penelitian dan penerapan nyata teknologi ini masih membutuhkan perangkat keras yang mahal, seperti GPU, kamera resolusi tinggi, dan sensor canggih lainnya. Di sisi lain, untuk kebutuhan edukasi, penelitian ringan, maupun aplikasi berbasis Internet of Things (IoT), diperlukan solusi yang lebih murah, hemat energi, dan tetap fungsional. Dalam konteks ini, penggunaan ESP32-CAM menjadi sangat relevan. ESP32-CAM merupakan modul mikrokontroler yang dilengkapi dengan kamera, konektivitas Wi-Fi, serta kemampuan komputasi yang cukup untuk menjalankan model pembelajaran mesin ringan di perangkat (edge computing)[1].

Penerapan ESP32-CAM untuk deteksi rambu lalu lintas merupakan langkah penting untuk mendemokratisasi teknologi kendaraan pintar. Dengan biaya rendah dan bentuk yang kompak, ESP32-CAM mampu

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

menjadi tulang punggung sistem monitoring cerdas yang dapat diterapkan pada kendaraan skala kecil seperti mobil mainan (RC car), robot edukasi, atau sistem prototipe kendaraan otonom. Sistem ini akan mampu menangkap gambar secara real-time, memproses data visual menggunakan model klasifikasi citra, dan mengambil keputusan sesuai hasil deteksi. Selain itu, dengan integrasi konektivitas nirkabel, sistem ini juga dapat dikendalikan dari jarak jauh dan mengirimkan data hasil deteksi ke server atau perangkat lain[2].

Berbagai studi sebelumnya menunjukkan bahwa implementasi deteksi rambu lalu lintas berbasis vision system memberikan hasil yang menjanjikan. Menurut penelitian oleh Cireşan et al.[3], penggunaan jaringan syaraf tiruan dalam pengenalan rambu lalu lintas telah mencapai akurasi tinggi pada dataset *German Traffic Sign Recognition Benchmark*[4]. Sementara itu, pada tingkat perangkat edge, Edge Impulse sebagai salah satu platform pembelajaran mesin berbasis *cloud* telah menyediakan solusi praktis untuk melatih model klasifikasi gambar yang dapat diunduh langsung ke mikrokontroler seperti ESP32 [5]. Hal ini memungkinkan pengembangan sistem yang tangguh, ringan, dan cocok untuk kondisi lapangan di negara berkembang.

Di Indonesia sendiri, kesadaran terhadap pentingnya pemanfaatan teknologi dalam bidang transportasi mulai meningkat. Kendati demikian, sebagian besar teknologi yang digunakan masih bergantung pada perangkat keras yang mahal dan sistem tertutup. Dengan adanya sistem berbasis ESP32-CAM, diharapkan akan muncul solusi lokal yang mampu menjawab tantangan tersebut dengan pendekatan open-source dan biaya rendah. Selain itu, sistem ini juga memiliki potensi besar dalam bidang edukasi *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*(STEM), terutama dalam pengajaran sistem embedded, robotika, dan kecerdasan buatan[6].

Namun, tantangan yang dihadapi tidak sedikit. Mulai dari keterbatasan daya pemrosesan ESP32, kondisi pencahayaan yang beragam

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

di jalanan, serta kebutuhan untuk mengintegrasikan sistem kamera dengan aktuator mobil RC secara real-time. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan desain sistem yang cermat, mulai dari pengumpulan dataset rambu lalu lintas lokal, pelatihan model menggunakan Edge Impulse, integrasi antara ESP32-CAM dengan motor driver (seperti L298N), serta manajemen daya dari sumber listrik seperti baterai 7.4V.

Proyek ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe mobil pintar skala kecil yang mampu mengenali rambu lalu lintas menggunakan kamera ESP32-CAM dan mengambil keputusan secara otomatis berdasarkan hasil deteksi tersebut. Sistem ini akan diuji dalam lingkungan terkendali dengan menggunakan miniatur rambu lalu lintas dan jalur simulasi. Dengan pendekatan ini, diharapkan tercipta solusi yang murah, efisien, dan mudah direplikasi baik untuk tujuan pendidikan maupun riset awal menuju sistem kendaraan otonom di masa depan.

Modul ESP32-CAM, yang menjadi inti dari sistem ini, merupakan solusi pemrosesan dan pemantauan yang efisien serta ekonomis, karena mengintegrasikan kamera berkualitas tinggi, mikrokontroler, dan modul Wi-Fi. Kombinasi ini memungkinkan sistem untuk melakukan streaming video secara real-time melalui jaringan nirkabel, sekaligus mendukung pengendalian jarak jauh melalui antarmuka web[7]. Kendaraan robotik yang dikembangkan dalam proyek ini dilengkapi dengan sejumlah komponen utama yang saling terintegrasi. Unit mikrokontroler (ESP32-CAM) bertanggung jawab terhadap proses pengambilan dan pengiriman data video. Untuk mendukung pergerakan kendaraan, sistem menggunakan motor driver dan aktuator yang memungkinkan manuver yang presisi dan responsif. Selain itu, sistem manajemen catu daya dan baterai dirancang untuk menjamin kestabilan pasokan energi sehingga kendaraan dapat beroperasi secara berkelanjutan. Modul komunikasi nirkabel berfungsi sebagai penghubung antara kendaraan dan pengguna, memungkinkan konektivitas Internet of Things (IoT) dan kontrol jarak jauh secara efisien.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Untuk meningkatkan kemampuan adaptif, sistem ini juga dapat dilengkapi dengan sensor tambahan seperti sensor gerak, suhu, atau pendeteksi rintangan yang dapat diintegrasikan dengan fitur kecerdasan buatan (AI) guna mendukung pengawasan yang lebih cerdas dan responsif terhadap perubahan lingkungan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penulis tertarik untuk mengangkat Tugas Akhir dengan judul **“Sistem Robot Mobil Deteksi Rambu Lalu Lintas Dengan Pengolahan Citra Berbasis Esp32-Cam Dan Edge Impulse”**. Adapun komponen utama yang digunakan dalam perancangan sistem ini antara lain: modul ESP32-CAM sebagai mikrokontroler dan unit pemroses visual, motor DC dan driver motor untuk penggerak robot, rangkaian roda dan sasis robot, modul Wi-Fi untuk komunikasi nirkabel, baterai sebagai sumber daya, serta sensor tambahan seperti sensor jarak untuk navigasi. Sistem ini juga didukung dengan platform web yang memungkinkan pengguna mengendalikan robot secara jarak jauh sekaligus memantau hasil deteksi rambu lalu lintas secara real-time.

Rumusan Masalah

Bagaimana Sistem Robot Mobil Deteksi Rambu Lalu Lintas Dengan Pengolahan Citra Berbasis Esp32-Cam Dan Edge Impulse yang mampu mendeteksi rambu lalu lintas ?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun Sistem Robot Mobil Deteksi Rambu Lalu Lintas Dengan Pengolahan Citra Berbasis Esp32-Cam Dan Edge Impulse yang mampu mendeteksi rambu lalu lintas secara real-time, serta menguji performa dari respon hasil deteksi rambu lalu lintas melalui pengendalian motor otomatis.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dibahas yaitu sebagai berikut:

1. Sistem hanya difokuskan pada pendeteksian rambu lalu lintas berbasis visual menggunakan kamera ESP32-CAM, tanpa implementasi pengenalan karakter atau teks rambu.
2. Sistem belum dilengkapi dengan GPS, sehingga tidak dapat menentukan lokasi geografis dari pelanggaran atau keberadaan kendaraan.
3. Pengujian sistem dilakukan dalam lingkungan simulasi atau ruang terbatas, bukan di jalan raya sesungguhnya.
4. Catu daya robot terbatas pada baterai isi ulang, sehingga durasi operasional bergantung pada kapasitas baterai yang digunakan.

Manfaat Penelitian

Pelaksanaan Penelitian ini bermanfaat untuk menghadirkan solusi inovatif dalam mendeteksi rambu lalu lintas secara otomatis guna mendukung sistem keselamatan berkendara. Dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) dan modul ESP32-CAM, sistem ini memungkinkan mendeteksi rambu secara real-time, serta memberikan kontribusi dalam bidang edukasi robotika dan transportasi cerdas berbasis IoT dan machine learning.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terkait

Penelitian tugas akhir ini diawali dengan tinjauan pustaka yang bertujuan untuk membangun landasan teoritis yang kuat serta mengidentifikasi referensi yang relevan dengan permasalahan yang dikaji. Penulis memanfaatkan berbagai sumber informasi terpercaya, seperti jurnal ilmiah, artikel penelitian, buku teks, dan dokumentasi teknis lainnya. Proses ini bertujuan untuk memahami berbagai teori dan konsep yang berkaitan dengan pengolahan citra digital, sistem deteksi objek, pembelajaran mesin (machine learning), serta implementasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem robotika.

Perancangan sistem robot mobil pendeteksi rambu lalu lintas berbasis ESP32-CAM dan Edge Impulse merupakan bagian dari upaya penerapan teknologi cerdas dalam bidang transportasi, khususnya dalam mendukung sistem kendaraan otonom dan peningkatan keselamatan di jalan raya. Sistem ini memiliki peran penting dalam mengenali berbagai jenis rambu lalu lintas secara real-time melalui kamera, serta mengolah citra tersebut menggunakan model kecerdasan buatan yang telah dilatih melalui platform Edge Impulse. Dengan memanfaatkan ESP32-CAM sebagai perangkat utama, sistem ini tidak hanya memiliki keunggulan dalam hal efisiensi biaya dan ukuran, namun juga mendukung pemrosesan data secara lokal tanpa memerlukan server eksternal.

Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi teoritis dalam pengembangan sistem ini dan memberikan kontribusi dalam memahami serta menyelesaikan berbagai tantangan teknis pada proses deteksi dan klasifikasi rambu lalu lintas secara otomatis.

Percobaan yang dilakukan dalam jurnal "Surveillance Robo Car Using ESP32-CAM Module" bertujuan untuk merancang dan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

mengimplementasikan sebuah mobil robot pengintai yang dapat dikendalikan dari jarak jauh menggunakan jaringan Wi-Fi, serta mampu mengirimkan video secara real-time. Sistem ini dibangun menggunakan beberapa komponen utama, yaitu modul ESP32-CAM sebagai pusat kendali dan kamera, motor DC untuk penggerak, motor driver L298N sebagai pengendali arah motor, serta catu daya dan chassis robot sebagai platform fisik. Proses percobaan dimulai dengan perakitan perangkat keras, di mana semua komponen diintegrasikan ke dalam kerangka robot mobil. Setelah itu, modul ESP32-CAM diprogram untuk mengaktifkan server web yang memungkinkan pengguna mengakses video kamera dan kontrol arah kendaraan melalui antarmuka web di browser smartphone. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan smartphone ke jaringan Wi-Fi yang sama dengan ESP32-CAM, kemudian mengakses halaman kontrol untuk mengendalikan mobil dan memantau video secara langsung. Hasil dari percobaan menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik dalam jarak yang masih dalam cakupan jaringan Wi-Fi, serta mampu menampilkan video secara real-time meskipun dengan sedikit keterlambatan tergantung pada kualitas koneksi. Sistem ini menunjukkan potensi besar untuk diterapkan dalam pengawasan jarak jauh dengan biaya rendah dan efisiensi tinggi[8].

Percobaan yang dilakukan dalam jurnal Robot “Car Using ESP32 Cam” bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sebuah robot mobil berbasis ESP32-CAM yang dapat dikendalikan secara nirkabel melalui aplikasi seluler berbasis gestur, serta mampu melakukan streaming video secara real-time melalui jaringan internet. Sistem ini menggabungkan modul ESP32-CAM sebagai kamera utama dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, serta ESP8266 sebagai pengontrol utama yang menerima sinyal dari aplikasi kontrol berbasis MIT App Inventor. Mobil robot ini dilengkapi dengan driver motor L298N untuk mengatur arah gerak motor-motor DC yang terhubung ke roda, sementara suplai daya diperoleh dari baterai 12V untuk sistem kontrol dan motor, serta baterai 9V untuk ESP32-

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

CAM. Dalam percobaannya, pengguna dapat mengontrol arah pergerakan robot hanya dengan memiringkan ponsel ke arah yang diinginkan—maju, mundur, kiri, atau kanan. Setelah koneksi Wi-Fi aktif dan alamat IP ESP8266 dimasukkan ke aplikasi, pengguna dapat menggerakkan robot serta mengakses tampilan kamera secara langsung di aplikasi. Hasil dari percobaan menunjukkan bahwa robot mampu merespons kontrol gestur secara efektif dan mengirimkan video secara langsung ke ponsel pengguna, menjadikannya solusi potensial untuk sistem pengawasan bergerak, patroli keamanan, atau aplikasi pemantauan jarak jauh lainnya[9].

2.2 Definisi Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sirkuit terpadu / Integrated Circuit (IC) ringkas yang dirancang untuk mengatur operasi tertentu dalam sistem tertanam (embedded system). Secara umum, mikrokontroler terdiri dari prosesor, memori, dan input/output (I/O) periferal pada satu chip. Mikrokontroler kadang-kadang disebut sebagai pengendali tertanam (embedded controller) atau unit mikrokontroler. Mikrokontroler dapat ditemukan pada kendaraan, robot, mesin kantor, perangkat medis, pemancar radio bergerak, mesin penjual otomatis dan peralatan rumah tangga. Saat ini sudah terdapat mikrokontroler yang sudah terintegrasi dengan komponen-komponen elektronik lainnya sehingga siap digunakan untuk berbagai kebutuhan, salah satu contohnya adalah mikrokontroler Arduino[10].

Perbedaan selanjutnya yaitu terletak pada perbandingan antara RAM dan ROM. Karena rasio besar RAM terhadap ROM dalam sistem, program pengguna disimpan dalam ruang RAM yang relatif besar dan rutinitas interface hardware disimpan dalam ruang ROM kecil. Untuk mikrokontroler, perbandingan antara ROM dan RAM tidak sama, program kontrol yang disimpan oleh memori ROM relatif lebih besar, dan RAM sebagai tempat memori sementara untuk proses-proses berisi register-register yang digunakan oleh mikrokontroler.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah sistem komputasi yang menghubungkan mesin atau objek dengan pengidentifikasi unik, memungkinkan komunikasi data melalui jaringan atau Internet tanpa intervensi manusia. IoT menyediakan berbagai aplikasi yang dapat mempermudah kehidupan. Pembuatan produk IoT melibatkan menghubungkan objek fisik ke Internet atau jaringan lokal untuk mengumpulkan data, berbagi informasi, dan menjalankan tindakan fisik berdasarkan data yang dikumpulkan[11].

Sebuah prototipe IoT terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk antarmuka pengguna (baik aplikasi *smartphone* maupun antarmuka web), perangkat keras seperti sensor, aktuator, dan prosesor, serta perangkat lunak *backend* yang mengimplementasikan logika bisnis dan menyimpan data. Koneksi yang memungkinkan perangkat keras terhubung ke *backend*, dan *backend* berinteraksi dengan antarmuka pengguna, juga menjadi bagian penting dari sistem IoT.

Sensor digunakan untuk mengukur fenomena fisik dan mengubahnya menjadi sinyal listrik, sedangkan aktuator menerima input listrik dan menghasilkan tindakan fisik. Prozessor dalam sistem IoT umumnya berupa mikrokontroler (MCU) yang bertanggung jawab atas pemrosesan data, menjalankan perangkat lunak terkait, dan memfasilitasi konektivitas nirkabel. MCU dalam objek IoT adalah solusi *prototyping* yang menyediakan prosesor dengan daya rendah, mendukung berbagai lingkungan pemrograman, mengumpulkan data sensor menggunakan firmware, dan mentransfer data ke server lokal atau *cloud*.

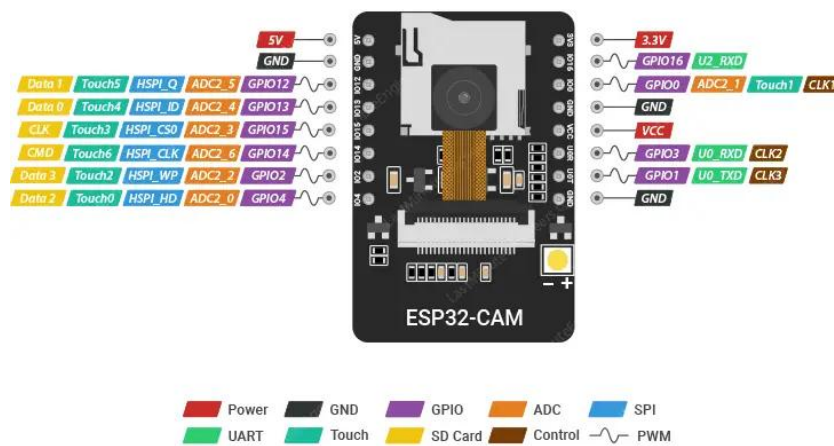
ESP32-CAM

ESP32 CAM adalah papan pengembangan berbasis ESP32 yang dilengkapi dengan modul kamera. ESP32 CAM memiliki fasilitas berupa *Bluetooth*, *WiFi*, kamera, dan slot kartu microSD. Dibandingkan dengan produk ESP sebelumnya, ESP32 CAM memiliki lebih sedikit pin I/O yang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

hanya memiliki akses ke 10 pin GPIO. Pin lain pada ESP32 CAM digunakan secara internal untuk fungsi kamera dan fungsi slot kartu microSD. Modul ESP32 CAM tidak memiliki port microUSB sehingga memerlukan adaptor FTDI eksternal. Adaptor FTDI berfungsi sebagai port untuk menghubungkan modul ESP32 CAM dengan komputer. Fitur utama dari modul ESP32 CAM adalah fitur kamera. Sensor kamera yang terdapat pada modul ESP32 CAM adalah OV2640. Chip sensor OV2640 dapat digunakan untuk deteksi objek dan pengenalan wajah[12]. ESP32 CAM terdapat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 ESP32 CAM

Spesifikasi lengkap dari ESP32-Cam sebagai berikut[13]:

Tabel 2.1 Spesifikasi ESP32-Cam.

Fitur	Spesifikasi
Chip	ESP32-D0WDQ6
Prosesor	Dual-core 32-bit Tensilica LX6, hingga 240 MHz
Memori	520 KB SRAM, 448 KB ROM, 4 MB Flash, 4 MB PSRAM
Sensor Kamera	OV2640, 2 MP
Resolusi Gambar	1600x1200 (UXGA), 1280x1024 (SXGA), 800x600 (SVGA), 640x480 (VGA), dst.
Frame Rate	15 fps (UXGA), 30 fps (SVGA), 60 fps (CIF)
Format Output Gambar	JPEG (OV2640), BMP, Grayscale, YUV422, YUV420, RGB565, RGB555

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Wi-Fi	802.11 b/g/n, kecepatan hingga 10-15 Mbps
Bluetooth	Bluetooth v4.2 BR/EDR dan BLE
Antena	PCB antenna terintegrasi, gain 2dBi
Slot microSD	Mendukung hingga 4 GB
Port I/O	GPIO, I2C, UART, SPI, PWM, ADC, DAC
Jumlah Port IO	9
Baud-rate Serial	Default 115200 bps
Dimensi	27 x 40.5 x 4.5 mm
Berat	10 gram
Daya Operasi	5V DC, konsumsi 180-200 mA (aktif), deep-sleep hingga 6 mA
Suhu Operasi	-20°C hingga 85°C
Keamanan Wi-Fi	WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
Mode Operasi	STA/AP/STA+AP
Mode Sleep	Deep-sleep, Modem-sleep, Light-sleep
Dukungan Kamera	OV2640 dan OV7670
Output Video	Mendukung streaming dan upload via Wi-Fi
Kompatibilitas	Arduino IDE, FreeRTOS, Lwip

2.5 Motor Driver L298N

Motor driver L298N adalah modul yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan dan arah putaran motor DC maupun motor stepper. Modul ini berbasis IC L298N, sebuah dual H-Bridge driver yang memungkinkan kontrol dua motor DC secara independen atau satu motor stepper. Dengan menggunakan prinsip H-Bridge, L298N memungkinkan motor berputar searah jarum jam (*clockwise*) atau berlawanan arah jarum jam (*counter-clockwise*), serta berhenti atau melambat dengan mengatur tegangan dan polaritas arus listrik[14].

Modul L298N umumnya dilengkapi dengan terminal input (IN1, IN2, IN3, IN4) untuk mengendalikan arah motor, terminal output untuk motor (OUT1–OUT4), terminal suplai daya motor (VMS atau VCC), dan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ground (GND). Selain itu, terdapat pin ENA dan ENB untuk mengaktifkan atau menonaktifkan motor serta mengontrol kecepatannya menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Modul ini juga dilengkapi dengan regulator 5V internal yang dapat diaktifkan untuk memberi daya pada mikrokontroler, selama tegangan input cukup tinggi.



Gambar 2. 2 Motor Driver L298N

Spesifikasi lengkap dari Motor Driver L298N sebagai berikut[15][16]:

Tabel 2.2 Spesifikasi Motor Driver L298N.

Fitur	Spesifikasi
IC Utama	L298N (Dual Full-Bridge Driver)
Tegangan Input Motor	5V – 35V (beberapa sumber menyebut hingga 40V atau 46V)
Tegangan Input Logika	5V
Arus Output Maksimum	2A per channel (kontinu), puncak sesaat hingga 3A
Daya Maksimum	20W – 25W
Arus Logika	0 – 36 mA
Jumlah Channel	2 (dapat mengendalikan 2 motor DC atau 1 motor stepper)
Dimensi Modul	± 43 x 43 x 27 mm
Suhu Operasi	-25°C hingga +130°C
Proteksi	Over-temperature protection, dioda flyback internal

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Kontrol	Input logika TTL, PWM untuk kontrol kecepatan
Pin Enable	ENA & ENB untuk mengaktifkan/mengatur kecepatan motor A & B
Output 5V	Tersedia (jika input < 12V dan jumper 5V terpasang)
Indikator	LED power
Berat	± 26 gram

2.6 Motor DC dan Roda

Motor DC (*Direct Current*) adalah jenis motor listrik yang paling umum digunakan dalam aplikasi robotik karena kesederhanaannya dan kemampuan untuk berputar dalam dua arah (maju dan mundur) tergantung pada arah aliran arus listrik. Motor DC bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana aliran arus listrik ke kumparan menyebabkan medan magnet yang menghasilkan gerakan rotasi. Pada robot mobil ini, motor DC akan bertanggung jawab untuk menggerakkan roda, yang memungkinkan robot bergerak maju, mundur, atau berbelok[17].



Gambar 2.3 Motor DC

Motor DC digunakan dalam proyek robotik karena mudah dikendalikan menggunakan driver motor seperti L298N. Dengan mengatur tegangan yang diterapkan pada motor, kita dapat mengontrol kecepatan dan arah putaran roda. Pada proyek ini, dua motor DC akan digunakan, satu

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

untuk roda kiri dan satu untuk roda kanan, memungkinkan robot untuk bergerak maju, mundur, dan berbelok. Motor DC ini biasanya dihubungkan dengan roda yang dipasang pada sasis robot untuk memberikan gerakan. Kecepatan putaran motor ini dapat dikendalikan lebih lanjut dengan menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk membuat robot bergerak dengan kecepatan yang lebih halus dan terkendali.

Rangka Mobil (Chassis Mobil)

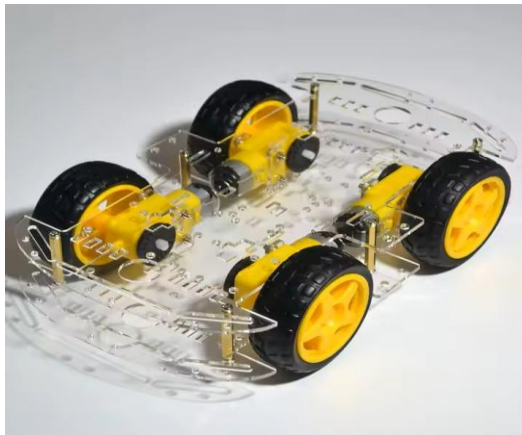
Chassis adalah kerangka atau rangka dari robot yang menyatukan semua komponen fisik seperti motor, roda, dan elektronik ke dalam satu struktur yang stabil. Pada proyek robot mobil, *chassis* berfungsi untuk mendukung dan melindungi semua komponen, serta memberikan bentuk dan stabilitas yang diperlukan agar robot dapat bergerak dengan baik. *Chassis* biasanya terbuat dari bahan ringan seperti plastik, akrilik, atau logam, tergantung pada kebutuhan[18].

Selain menyatukan komponen, chassis juga harus dirancang dengan ruang yang cukup untuk menempatkan baterai, motor, dan modul lain seperti ESP32-CAM dan driver motor. Dalam beberapa desain chassis, terdapat slot atau tempat khusus untuk menempatkan komponen tambahan, seperti sensor atau modul lain yang diperlukan. Dalam proyek robot ini, chassis juga harus memiliki ukuran yang cukup untuk menampung dua motor DC, driver motor L298N, dan ESP32-CAM dengan kamera yang menghadap ke depan untuk mendeteksi rambu lalu lintas.

Pada beberapa robot, desain *chassis* juga memperhitungkan kemampuan untuk berbelok atau memanipulasi arah gerakan. Oleh karena itu, pengaturan roda dan posisi motor harus disesuaikan agar robot dapat bergerak dengan lincah dan efisien. Biasanya, desain chassis ini sederhana dan berbentuk persegi panjang atau segi empat, tetapi dapat divariasikan sesuai dengan preferensi atau kebutuhan aplikasi khusus.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.4 Chassis Mobil

Power Supply

Power supply adalah salah satu komponen penting dalam proyek robot, karena menyuplai energi yang dibutuhkan oleh semua komponen elektronik dan motor. Dalam proyek robot mobil ini, *power supply* terdiri dari dua bagian utama: baterai dan step-down converter. Baterai yang umum digunakan untuk robotik adalah baterai Li-ion atau Li-Po (*Lithium Polymer*), yang dapat memberikan daya yang cukup untuk motor DC dan ESP32-CAM. Baterai ini sering kali memiliki kapasitas yang cukup besar dan dapat digunakan untuk beberapa jam operasi[19].

Namun, karena ESP32-CAM membutuhkan tegangan 5V sementara motor DC biasanya membutuhkan tegangan yang lebih tinggi (misalnya 7,4V atau 12V), digunakan *step-down converter* untuk menurunkan tegangan baterai yang lebih tinggi (misalnya 7,4V) menjadi 5V untuk ESP32-CAM. *Step-down converter* adalah perangkat yang mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah tanpa kehilangan banyak daya, sehingga sangat efisien dalam pengelolaan daya. *Converter* ini memungkinkan ESP32-CAM beroperasi dengan stabil, sementara motor DC tetap mendapatkan suplai daya yang cukup untuk bergerak.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.5 Power Supply

Edge Impulse

Edge Impulse adalah sebuah platform pengembangan *machine learning* (ML) berbasis cloud yang dirancang secara khusus untuk perangkat embedded dan edge computing, seperti mikrokontroler dan perangkat *Internet of Things* (IoT). Platform ini memberikan kemudahan bagi para pengembang dalam membangun, melatih, menguji, dan menerapkan model kecerdasan buatan ke perangkat dengan sumber daya terbatas secara efisien dan cepat. *Edge Impulse* mendukung berbagai jenis input sensor, termasuk kamera (citra), mikrofon (audio), akselerometer, dan lainnya, yang menjadikannya sangat ideal untuk aplikasi seperti deteksi objek, pengenalan suara, analisis getaran, dan pemantauan lingkungan.

Keunggulan *Edge Impulse* terletak pada antarmuka web-nya yang interaktif dan alur kerja yang lengkap, mulai dari akuisisi data, pelabelan dataset, ekstraksi fitur, pelatihan model, validasi, hingga *deployment* ke perangkat edge. Platform ini juga menyediakan opsi untuk mengeksport model ke dalam bentuk pustaka C++ atau file model *TensorFlow Lite*, sehingga dapat diintegrasikan langsung ke perangkat seperti ESP32, Arduino, atau Raspberry Pi. Dalam konteks penelitian ini, *Edge Impulse* digunakan untuk membangun sistem klasifikasi citra rambu lalu lintas yang diperoleh dari kamera ESP32-CAM. Dataset gambar rambu dikumpulkan dan dilabeli, lalu digunakan untuk melatih model klasifikasi secara visual.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil pelatihan kemudian diekspor dan dimasukkan ke dalam perangkat ESP32-CAM untuk melakukan pendeteksian rambu secara real-time[20].



Gambar 2.6 *Edge Impulse*



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah penelitian rekayasa (*engineering research*). Penelitian ini berfokus pada pengembangan suatu sistem berbasis teknologi untuk menghasilkan produk prototipe yang dapat menyelesaikan masalah tertentu. Dalam hal ini, sistem yang dikembangkan adalah robot mobil pintar yang mampu mendeteksi rambu lalu lintas secara otomatis menggunakan pengolahan citra berbasis ESP32-CAM dan *Edge Impulse*. Penelitian ini juga bersifat eksperimental karena dilakukan pengujian secara langsung terhadap kinerja sistem yang dibuat guna mengukur keefektifan dan keandalannya dalam mendeteksi serta merespons berbagai kondisi nyata di lapangan.

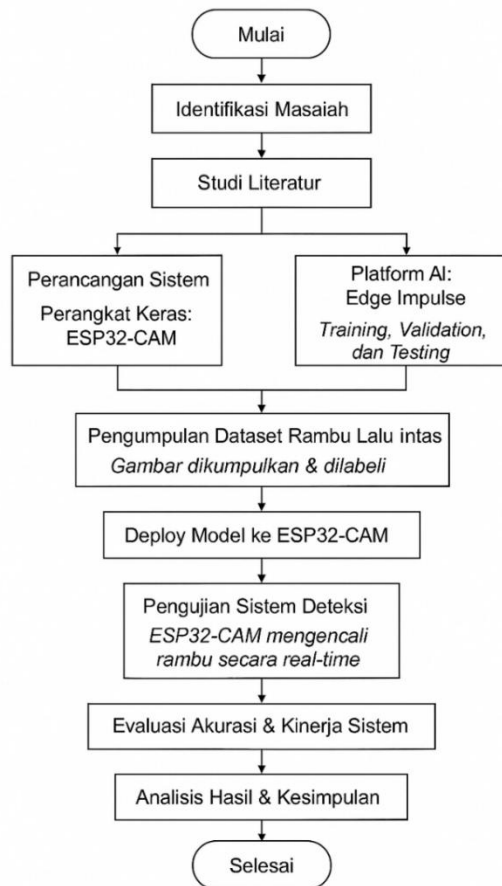
Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada beberapa tingkatan kemudian disusun secara sistematis dengan terlebih dahulu mengamati permasalahan yang ada kemudian dilanjutkan dengan perolehan data, kemudian merancang sistem yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Setelah menyelesaikan desain sistem perangkat keras dan perangkat lunak, menganalisis temuan dan melanjutkan ke tahap pengujian.

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Tahap pelaksanaan alur penelitian

1. Identifikasi Masalah

Langkah awal dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi permasalahan yang ada di lapangan, yaitu perlunya sistem otomatis yang mampu mendeteksi rambu lalu lintas secara real-time untuk mendukung sistem keselamatan berkendara. Rambu lalu lintas sering kali tidak diperhatikan oleh pengemudi, baik karena kelalaian maupun kondisi visual yang tidak mendukung. Oleh karena itu, perlu dirancang sebuah sistem yang mampu mengenali rambu secara otomatis menggunakan teknologi berbasis kamera dan kecerdasan buatan.

2. Studi Literatur

Penelitian dilanjutkan dengan studi literatur untuk memahami konsep dan teknologi yang relevan. Literatur yang ditinjau mencakup pengenalan citra menggunakan metode machine learning, penggunaan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ESP32-CAM sebagai perangkat pengolah citra ringan, serta pemanfaatan platform Edge Impulse untuk pelatihan dan deployment model AI. Studi ini juga menelusuri berbagai pendekatan yang telah digunakan dalam penelitian serupa sebagai referensi dalam merancang sistem.

3. Perancangan Sistem

Tahap ini mencakup desain keseluruhan arsitektur sistem. ESP32-CAM dipilih sebagai perangkat utama karena memiliki kamera terintegrasi dan cukup ringan untuk menjalankan model inferensi sederhana. Sistem juga menggunakan Edge Impulse sebagai platform untuk membuat dan melatih model klasifikasi citra. Desain sistem meliputi skema pengambilan gambar, alur pemrosesan data, serta bagaimana hasil deteksi akan ditampilkan atau digunakan lebih lanjut.

4. Pengumpulan Dataset

Dataset merupakan bagian penting dalam pelatihan model AI. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan gambar-gambar rambu lalu lintas dari berbagai sumber atau pengambilan langsung menggunakan kamera. Gambar-gambar ini kemudian dikategorikan sesuai jenis rambu (seperti rambu stop, belok kanan dan belok kiri). Seluruh gambar diberi label dan diproses ulang agar siap digunakan untuk pelatihan model.

5. Pelatihan Model AI di Edge Impulse

Dataset yang telah dikumpulkan diunggah ke platform Edge Impulse untuk pelatihan model. Proses ini melibatkan pembuatan pipeline machine learning, seperti ekstraksi fitur, training, dan evaluasi model. Model dilatih untuk mengenali perbedaan antara berbagai jenis rambu lalu lintas berdasarkan citra. Hasil pelatihan akan diuji melalui validasi dan pengujian untuk mengukur akurasi dan performanya.

6. Deploy Model ke ESP32-CAM

Model AI yang telah selesai dilatih diunduh dan diimplementasikan ke perangkat ESP32-CAM. Model ini dijalankan secara lokal di dalam mikrokontroler tanpa memerlukan koneksi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

internet. Hal ini memungkinkan sistem bekerja secara real-time dan efisien dalam mengenali rambu langsung dari kamera yang tertanam.

7. Pengujian Sistem

Sistem yang telah lengkap kemudian diuji di lingkungan nyata atau dalam kondisi simulasi. ESP32-CAM akan menangkap gambar secara langsung, mengirimkannya ke model untuk klasifikasi, lalu menampilkan hasil deteksi. Hasil dari sistem dicatat untuk dianalisis apakah sistem mampu mengenali rambu dengan baik dalam berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pandang.

8. Evaluasi Kinerja Sistem

Setelah pengujian, dilakukan evaluasi terhadap kinerja sistem. Aspek yang dianalisis mencakup akurasi deteksi, kecepatan respon, dan efisiensi penggunaan memori atau energi. Evaluasi ini bertujuan mengetahui kekuatan dan keterbatasan sistem, serta apakah sistem sudah sesuai dengan tujuan awal penelitian.

9. Analisis Hasil dan Kesimpulan

Tahap akhir dari penelitian ini adalah menyusun analisis hasil pengujian dan menyimpulkan keberhasilan sistem. Peneliti mengevaluasi apakah sistem pendeteksi rambu yang dikembangkan dapat bekerja secara efektif dan memberi rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut, seperti pengintegrasian dengan sistem suara, pemanfaatan cloud untuk logging data, atau peningkatan model agar lebih ringan dan akurat.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga pendekatan utama yang saling melengkapi, yaitu studi literatur, pengumpulan dataset, dan observasi eksperimental. Studi literatur dilakukan sebagai landasan teori untuk memahami konsep-konsep dasar yang berkaitan dengan sistem deteksi rambu lalu lintas, mikrokontroler ESP32-CAM, machine learning, serta platform Edge Impulse. Referensi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

diperoleh dari jurnal ilmiah, buku teks, dokumentasi perangkat keras dan lunak, serta artikel daring yang kredibel.

Selanjutnya, pengumpulan dataset dilakukan dengan cara mengumpulkan gambar-gambar rambu lalu lintas. Gambar ini dapat diperoleh baik secara manual dengan mengambil foto langsung menggunakan kamera ESP32-CAM, maupun dari dataset publik yang tersedia secara daring. Setiap gambar diklasifikasikan dan dilabeli sesuai jenis rambu untuk digunakan dalam proses pelatihan model klasifikasi citra pada Edge Impulse. Pemilihan data yang beragam dan representatif menjadi penting untuk memastikan akurasi dan generalisasi model terhadap kondisi nyata.

Setelah sistem selesai dirakit dan model klasifikasi selesai diimplementasikan, dilakukan observasi eksperimental terhadap performa sistem. Pengujian ini bertujuan untuk mencatat dan mengevaluasi bagaimana sistem merespons rambu lalu lintas yang ditampilkan di lingkungan simulasi. Data yang dikumpulkan meliputi akurasi deteksi, kecepatan respon, stabilitas sistem, serta interaksi antara modul kamera, pemrosesan citra, dan aktuator robot. Hasil observasi ini menjadi dasar evaluasi efektivitas dan efisiensi sistem yang telah dirancang.

3.4 Analisa Kebutuhan *Hardware* dan *Software*

Kebutuhan Analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan apa saja yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem secara menyeluruh agar sistem bekerja optimal sesuai dengan fungsinya.

3.4.1 Kebutuhan Perangkat Keras (*Hardware*)

1. ESP32-CAM: Komponen utama sebagai pusat pemrosesan dan akuisisi citra. Mampu menjalankan model AI secara lokal dan terhubung dengan Wi-Fi.
2. Driver Motor L298N: Modul pengendali motor yang berfungsi mengatur arah putaran dan kecepatan motor DC.
3. Motor DC: Digunakan sebagai aktuator untuk menggerakkan robot maju, mundur, atau belok.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Roda: Membentuk sistem kemudi robot agar stabil dalam bergerak.
5. Chassis Mobil: Struktur dasar untuk memasang seluruh komponen.
6. Power Bank / Baterai 7.4V: Sumber energi utama untuk seluruh sistem.
7. Kabel Jumper: Penghubung antar komponen elektronik dalam sistem.

3.4.2 Kebutuhan Perangkat Lunak (Software)

1. Arduino IDE: Lingkungan pengembangan untuk menulis, mengedit, dan mengunggah kode ke ESP32-CAM.
2. Edge Impulse Studio: Platform cloud untuk pelatihan dan pengujian model klasifikasi berbasis AI.
3. Fritzing/Proteus: Digunakan untuk merancang dan mensimulasikan rangkaian elektronik sebelum direalisasikan secara fisik.

3.5 Gambaran Sistem

Perancangan dan desain sistem pada penelitian ini dibuat sesuai dengan tujuan awal, yaitu untuk mengembangkan sistem pendeteksi rambu lalu lintas otomatis berbasis kamera ESP32-CAM dan platform Edge Impulse. Sistem ini ditujukan untuk diterapkan pada kendaraan, agar mampu mendeteksi rambu lalu lintas secara real-time dan memberikan informasi visual kepada pengemudi.

ESP32-CAM digunakan sebagai inti sistem karena sudah dilengkapi dengan kamera serta modul Wi-Fi, memungkinkan pengambilan citra dan pengolahan data secara lokal. Gambar rambu yang tertangkap oleh kamera akan langsung diproses oleh model kecerdasan buatan yang sebelumnya telah dilatih di Edge Impulse.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pengolahan data dilakukan secara efisien langsung di perangkat (edge processing), sehingga tidak membutuhkan koneksi ke server eksternal. Namun, dengan adanya konektivitas Wi-Fi, sistem ini juga memungkinkan integrasi dengan platform lain seperti dashboard web atau notifikasi aplikasi untuk menampilkan hasil deteksi secara langsung kepada pengguna. Pendekatan ini mendukung implementasi sistem yang ringan, real-time, dan hemat daya, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi kendaraan cerdas di masa kini. adalah tampilan Blok Perancangan Sistem secara keseluruhan.

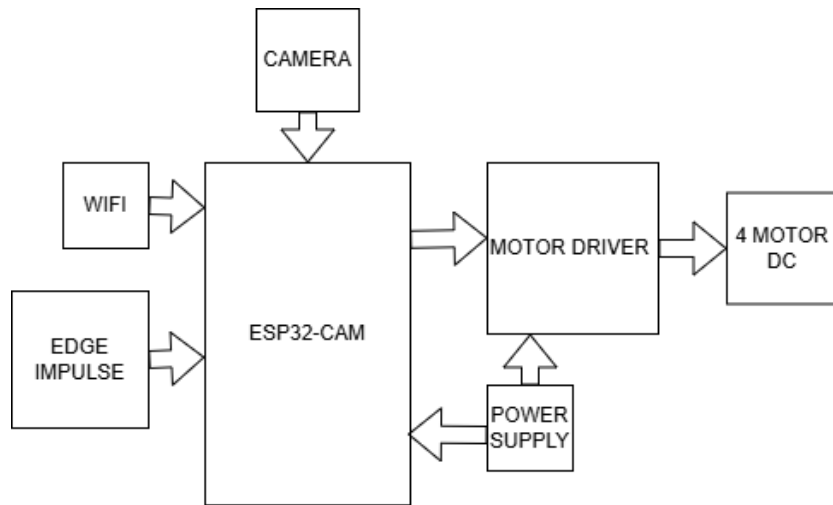
3.5.1 Blok Diagram Perancangan Sistem

Diagram perancangan sistem dibuat berdasarkan cara kerja keseluruhan dari mobil pintar pendeteksi rambu lalu lintas. Diagram ini memperlihatkan komponen input, proses, dan output dari sistem. Komponen input terdiri dari ESP32-CAM dan modul OV2640 yang berfungsi sebagai kamera untuk menangkap gambar rambu lalu lintas di lingkungan sekitar. Data gambar ini kemudian dikirim ke Edge Impulse untuk dilakukan klasifikasi rambu menggunakan model machine learning. Komponen proses mencakup ESP32-CAM yang juga menjalankan proses pengambilan keputusan berdasarkan hasil klasifikasi. Berdasarkan jenis rambu yang terdeteksi, ESP32 akan mengontrol arah dan kecepatan motor DC menggunakan motor driver L298N.

Komponen output meliputi aktuator seperti motor DC dan roda yang menggerakkan chasis mobil sesuai perintah, serta penyimpanan data pada microSD card sebagai pencatatan log deteksi rambu. Diagram ini memberikan gambaran bagaimana sistem mobil mendeteksi dan merespons rambu lalu lintas secara otomatis, menggabungkan pengolahan citra, kontrol motor, dan penyimpanan data dalam satu kesatuan sistem yang cerdas.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan Sistem

3.5.2 Gambaran Umum Sistem

Gambaran umum ini bertujuan untuk memberikan konsep menyeluruh tentang mekanisme kerja sistem dalam mendeteksi rambu secara otomatis dan real-time, sedangkan blok diagram berfungsi untuk memetakan alur hubungan antar komponen utama seperti kamera, modul pemrosesan AI, dan output sistem. Dengan perancangan ini, alur kerja sistem dapat divisualisasikan dengan jelas dan implementasi teknis dapat dilakukan secara lebih terarah. Hal ini juga membantu memastikan bahwa sistem dapat beroperasi secara efektif dan efisien dalam mengenali rambu lalu lintas serta menyampaikan informasi yang tepat kepada pengguna kendaraan.

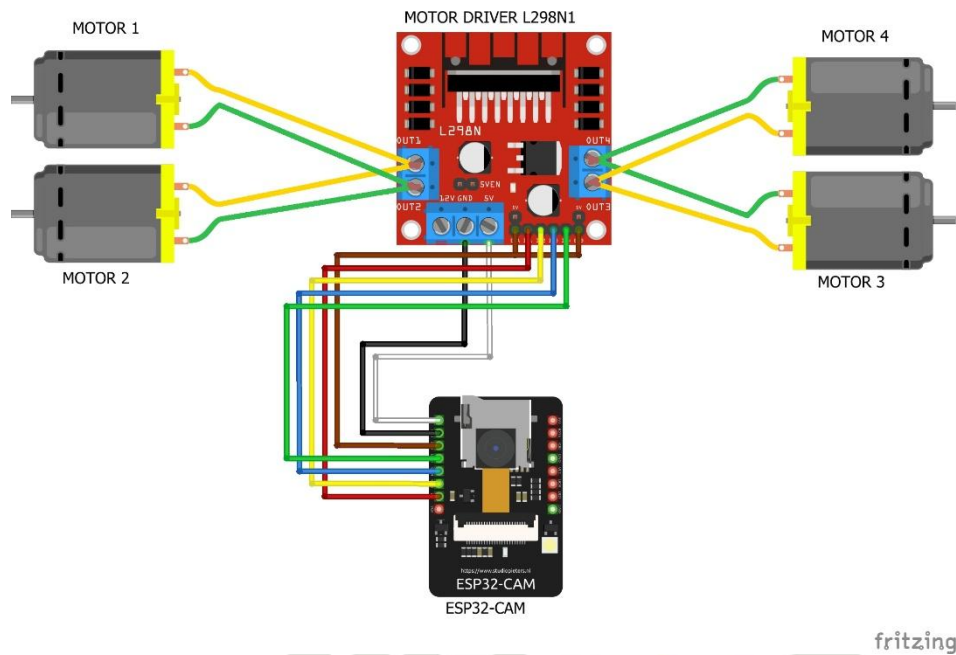


Secara menyeluruh, rancangan perangkat keras (*hardware*) pada sistem robot mobil pintar ini menggabungkan berbagai komponen utama yang saling terintegrasi. ESP32-CAM bertugas sebagai otak sistem yang mengontrol dan memproses citra dari kamera, sedangkan L298N digunakan untuk mengendalikan motor DC sebagai aktuator gerak robot. Kedua motor DC tersebut dipasangkan pada rangka (*chassis*) robot yang dilengkapi roda untuk mobilitas.

III-9

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.4 skema rangkaian hardware Keseluruhan

3.7 Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak pada sistem robot mobil pintar ini melibatkan dua komponen utama, yaitu pemrograman ESP32-CAM dan integrasi dengan platform *Edge Impulse*. Keduanya dirancang secara terstruktur agar dapat bekerja secara sinkron dalam mendeteksi dan merespons rambu lalu lintas secara otomatis.

Secara umum, perangkat lunak pada sistem ini bertugas melakukan proses sebagai berikut:

1. Menyiapkan kamera ESP32-CAM dan koneksi jaringan Wi-Fi
2. Menangkap gambar dari kamera secara berkala
3. Melakukan klasifikasi citra menggunakan model AI yang ditanamkan
4. Menginterpretasikan hasil klasifikasi menjadi instruksi kontrol motor
5. Mengatur pergerakan motor melalui sinyal dari pin GPIO ESP32

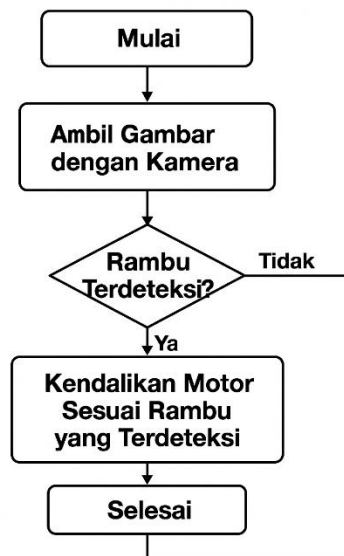
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

6. Menyediakan antarmuka web untuk memantau hasil klasifikasi secara real-time

Flowchart berikut menggambarkan alur program *software* dari awal sistem dijalankan hingga robot melakukan pergerakan sesuai hasil deteksi:

Perancangan Software



Gambar 3.5 Flowchart Perancangan Software Sistem

3.7.1 Integrasi dengan *Edge Impulse*

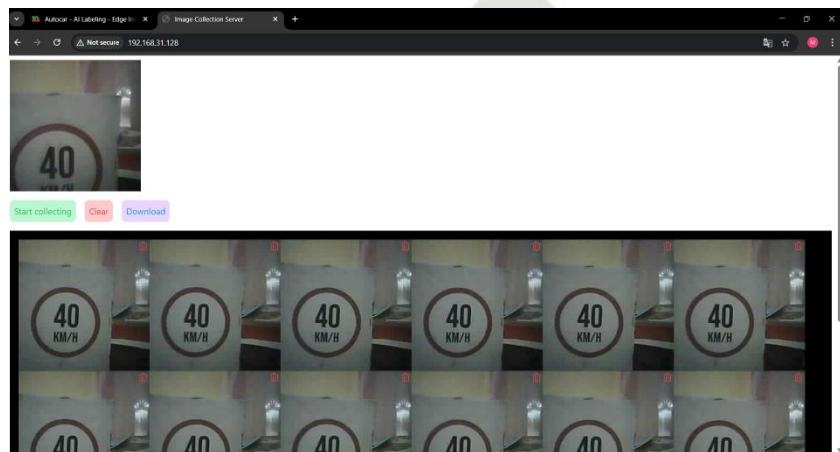
Integrasi dengan *Edge Impulse* merupakan salah satu komponen kunci dalam perancangan perangkat lunak pada sistem ini, karena memungkinkan ESP32-CAM untuk menjalankan proses inferensi machine learning secara lokal. *Edge Impulse* adalah platform berbasis cloud yang dirancang untuk membangun, melatih, dan menerapkan model pembelajaran mesin khususnya untuk perangkat edge seperti mikrokontroler dan mikropemroses.

Proses integrasi dengan *Edge Impulse* dimulai dari pengumpulan dataset yang terdiri dari gambar berbagai jenis rambu

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

lalu lintas. Dataset ini dapat diunggah langsung ke dashboard *Edge Impulse*, kemudian dilakukan proses labeling untuk menandai setiap gambar sesuai kategorinya, misalnya: 'Stop', 'Belok Kanan', 'Belok Kiri', dan sebagainya. Label ini akan menjadi acuan bagi model dalam proses pelatihan.

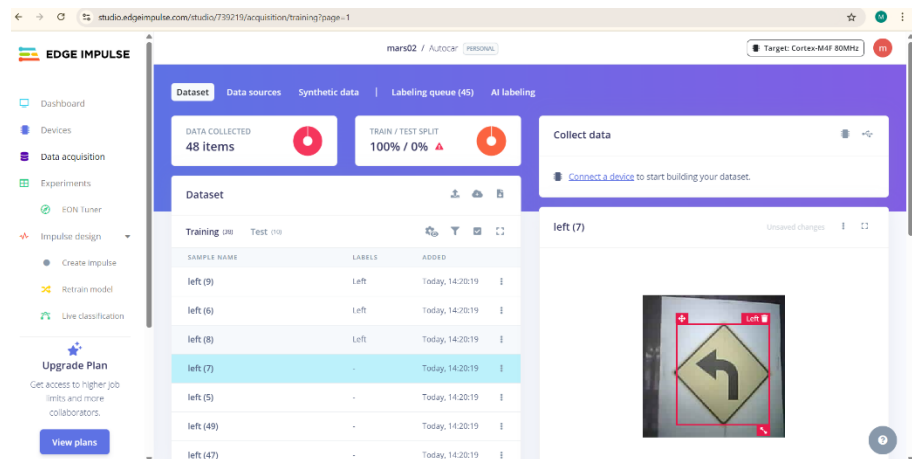


Gambar 3.6 Proses Pengambilan dataset

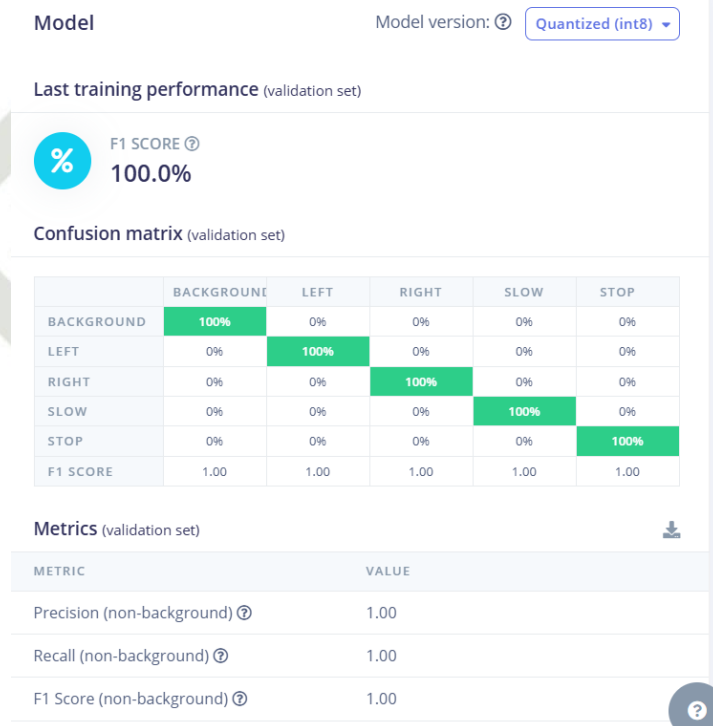
Setelah labeling selesai, dilakukan pelatihan (*training*) model menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network* (*CNN*) yang tersedia di *Edge Impulse*. Proses pelatihan ini melibatkan pembelajaran fitur-fitur citra yang dapat membedakan antar kelas rambu. Model yang telah dilatih kemudian diuji menggunakan data validasi untuk mengetahui akurasi. Jika performa model belum optimal, dapat dilakukan optimasi seperti augmentasi data, pemangkasan model (*model pruning*), atau penyesuaian parameter.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.7 Proses labelling objek



Gambar 3.8 Hasil *training* di Edge Impulse

Apabila model sudah mencapai tingkat akurasi yang diinginkan, maka model tersebut diekspor dalam format yang sesuai untuk digunakan di ESP32-CAM, yaitu dalam bentuk file C++ (*.h) melalui opsi 'Deploy to Arduino Library'. File ini berisi seluruh parameter bobot dan struktur model CNN yang telah dikompresi dan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dioptimalkan agar efisien dijalankan pada perangkat berspesifikasi rendah.

Langkah berikutnya adalah mengimpor file .h hasil *export* ke dalam proyek Arduino ESP32-CAM. Di dalam *sketch* Arduino, file model tersebut dihubungkan dengan library inferensi Edge Impulse seperti *ei_classifier*. Saat ESP32-CAM menangkap gambar dari kamera, data citra tersebut langsung diproses oleh fungsi klasifikasi (*run_classifier*), lalu menghasilkan output berupa label prediksi. Dengan integrasi ini, ESP32-CAM mampu secara mandiri mendeteksi jenis rambu lalu lintas tanpa bergantung pada *server* eksternal. Hal ini menjadikan sistem lebih efisien, cepat, dan cocok diterapkan di lingkungan dengan keterbatasan konektivitas internet.

3.8 Pengujian Sistem

Pengujian sistem bertujuan untuk mengevaluasi apakah seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem robot mobil pintar bekerja sesuai fungsinya. Pengujian ini mencakup empat aspek utama: pengujian kamera dan web server, pengujian deteksi rambu lalu lintas, pengujian pergerakan motor, dan pengujian keseluruhan sistem. Setiap pengujian dilakukan secara bertahap di lingkungan simulasi guna memastikan keandalan sistem dalam situasi nyata.

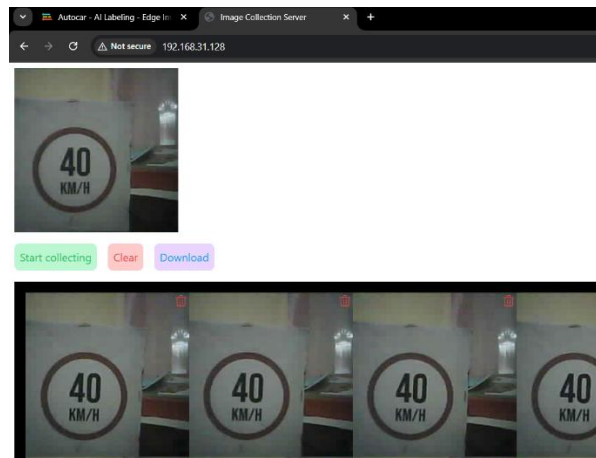
3.8.1 Pengujian Kamera

Tujuan dari pengujian ini adalah memastikan bahwa ESP32-CAM dapat menangkap gambar secara real-time dan menampilkannya melalui web server. Pengujian dilakukan dengan:

1. Menghubungkan ESP32-CAM ke jaringan Wi-Fi lokal.
2. Mengakses alamat IP ESP32-CAM melalui web browser.
3. Memastikan bahwa video streaming dari kamera tampil secara live tanpa lag signifikan.
4. Mengamati kestabilan koneksi dan kecepatan refresh gambar.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



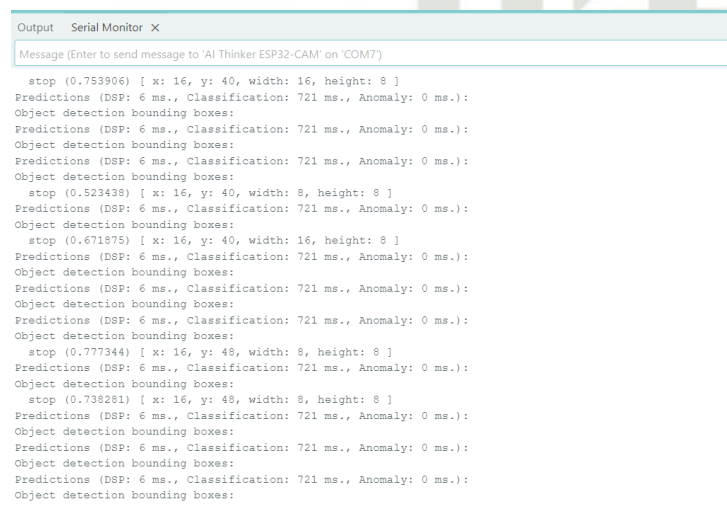
Gambar 3.9 Pengujian kamera

Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa ESP32-CAM dan koneksi web server berjalan stabil, serta kamera mampu memberikan citra yang diperlukan untuk proses klasifikasi..

3.8.2 Pengujian Deteksi Rambu

Pengujian ini berfokus pada kemampuan sistem dalam mengenali rambu lalu lintas yang telah dipelajari sebelumnya. Langkah-langkah pengujian:

1. Menampilkan satu per satu rambu lalu lintas di depan kamera.
2. Mengamati hasil klasifikasi pada antarmuka web dan/atau serial monitor.



Gambar 3.10 Hasil deteksi melalui serial monitor

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Mencatat apakah rambu dikenali dengan benar dan sesuai label.
4. Mengulangi pengujian pada berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pandang.

Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui tingkat akurasi dari model klasifikasi citra yang telah dilatih di Edge Impulse dan mengevaluasi ketepatannya terhadap data nyata.

3.8.3 Pengujian Pergerakan Motor

Setelah rambu berhasil dikenali, langkah selanjutnya adalah menguji reaksi sistem terhadap hasil klasifikasi dengan mengamati pergerakan motor. Prosedur pengujian:

1. Sistem menampilkan rambu yang memerintahkan aksi tertentu, seperti berhenti, belok kanan, atau kurangi kecepatan.
2. Hasil klasifikasi digunakan untuk mengendalikan pin output ke driver motor L298N.
3. Peneliti mencatat apakah motor merespons sesuai dengan rambu yang dikenali.

Pengujian ini menguji keberhasilan integrasi antara model AI dan sistem kendali aktuator (motor).

3.8.4 Pengujian Keseluruhan

Pada tahap akhir, robot diuji secara keseluruhan dalam jalur simulasi miniatur yang meniru lingkungan nyata. Aspek yang diuji meliputi:

1. Akurasi klasifikasi rambu: Seberapa sering sistem mendeteksi rambu dengan benar.
2. Kecepatan respons: Waktu antara deteksi rambu dan reaksi motor.
3. Stabilitas sistem: Apakah sistem tetap berfungsi tanpa crash selama pengujian panjang.
4. Daya tahan baterai: Waktu operasi maksimal robot saat digunakan secara terus-menerus.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Selama proses pengujian, sistem tidak mengalami crash atau kegagalan fungsi, menunjukkan bahwa integrasi antara kamera, model CNN, dan kontrol motor telah berjalan stabil. Namun, performa menurun ketika pencahayaan terlalu redup atau ketika terdapat gangguan visual seperti debu, pantulan cahaya, atau rambu yang miring. Ini menunjukkan pentingnya optimalisasi sistem pencahayaan atau algoritma peningkatan kualitas gambar.

Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa sistem mobil pendeteksi rambu lalu lintas berbasis CNN pada ESP32-CAM dapat berfungsi secara efektif dalam lingkungan simulasi. Akurasi tinggi dan respon cepat membuat sistem ini layak dikembangkan lebih lanjut untuk kebutuhan kendaraan otonom skala kecil. Kendati demikian, tantangan pada kondisi pencahayaan dan sudut pengambilan gambar harus diatasi untuk meningkatkan keandalan sistem dalam kondisi nyata.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian sistem robot mobil pintar pendeteksi rambu lalu lintas berbasis ESP32-CAM dan Edge Impulse, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan modul ESP32-CAM yang mampu mendeteksi empat jenis rambu lalu lintas ("STOP", "Kurangi Kecepatan", "Belok Kiri", dan "Belok Kanan") secara real-time dengan model klasifikasi gambar berbasis Convolutional Neural Network (CNN) dari platform Edge Impulse.
2. Akurasi deteksi rata-rata sistem mencapai 70%, dengan tingkat keberhasilan deteksi tertinggi pada rambu "STOP" (80%), diikuti oleh "Kurangi Kecepatan" (60%), serta "Belok Kiri" dan "Belok Kanan" masing-masing 70%. Akurasi ini menunjukkan performa yang cukup baik untuk perangkat dengan sumber daya terbatas, meskipun masih terdapat ruang untuk peningkatan.
3. Waktu respons sistem sangat cepat, dengan rata-rata 1s dari pengambilan gambar hingga eksekusi aksi motor, menunjukkan efisiensi pemrosesan lokal pada ESP32-CAM.
4. Sistem menunjukkan stabilitas tinggi selama pengujian di lingkungan simulasi, tanpa crash atau gangguan signifikan, meskipun performa deteksi menurun pada kondisi pencahayaan redup, sudut pandang rambu yang tidak optimal, atau gangguan visual seperti pantulan cahaya.
5. Tingkat keberhasilan aksi kendaraan mencapai 70%, dengan respons motor yang konsisten sesuai perintah rambu, menunjukkan integrasi yang baik antara model AI, pengolahan citra, dan kendali motor.
6. Penelitian ini membuktikan bahwa ESP32-CAM dapat digunakan sebagai solusi hemat biaya untuk sistem kendaraan otonom skala kecil, dengan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

potensi besar sebagai alat edukatif dalam pembelajaran robotika dan kecerdasan buatan.

5.2 Saran

1. Optimalisasi model klasifikasi AI melalui pelatihan dengan dataset yang lebih beragam dan jumlah gambar yang lebih banyak, terutama dalam berbagai kondisi pencahayaan dan sudut pandang.
2. Penambahan sistem pencahayaan tambahan (seperti LED) pada robot untuk membantu visibilitas kamera dalam kondisi kurang cahaya, terutama pada penggunaan luar ruangan atau di lingkungan dengan pencahayaan minim.
3. Integrasi sensor tambahan seperti sensor ultrasonik atau inframerah untuk mendukung navigasi dan menghindari tabrakan, sehingga robot dapat bergerak lebih aman dalam lingkungan dinamis.
4. Pengembangan antarmuka kontrol berbasis web atau mobile yang lebih interaktif dan user-friendly, serta memungkinkan pemantauan dan logging data secara real-time melalui koneksi cloud.
5. Eksperimen lebih lanjut di lingkungan nyata, seperti jalur miniatur outdoor atau pameran, agar sistem dapat diuji dalam kondisi yang lebih kompleks dan mendekati aplikasi riil.
6. Penggunaan kamera beresolusi lebih tinggi dan modul pemrosesan tambahan (seperti ESP32-S3 atau Raspberry Pi) untuk meningkatkan performa deteksi tanpa mengorbankan kecepatan respon.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Espressif Systems, "ESP32-CAM Development Board with OV2640 Camera Module."
- [2] A. Herwandi, A. A. Ramadhan, N. T. Sunggono, and F. Ferawati, "Analisis Kinerja ESP32-CAM Dalam Mendeteksi Objek," *bit-Tech*, vol. 7, no. 3, pp. 1014–1021, Apr. 2025, doi: 10.32877/bt.v7i3.2296.
- [3] D. Cireşan, U. Meier, J. Masci, and J. Schmidhuber, "Multi-column deep neural network for traffic sign classification," *Neural Networks*, vol. 32, 2012, doi: 10.1016/j.neunet.2012.02.023.
- [4] Edge Impulse Inc., "Edge Impulse: The leading development platform for embedded machine learning."
- [5] F. Wahid and M. Pratama, "Pengenalan Rambu Lalu Lintas Menggunakan Metode CNN pada Kendaraan Cerdas Berbasis Raspberry Pi," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, vol. 15, pp. 31–39, 2021.
- [6] N. Mulya Maulida, M. Yahya, and S. Gunawan Zain, "conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY) International License. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Sistem Real Time Captioning Menggunakan ESP-32 Cam Untuk Pemantauan Pertumbuhan Tanaman Hidroponik (Real Time Captioning System Using ESP-32 Cam to Monitor Hydroponic Plant Growth)."
- [7] B. U. Sejati and H. Triyo, "Sistem Pemantauan Gudang Berbasis ESP32-Cam untuk Deteksi Gerakan dan Keberadaan Objek," 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/just-it/index>
- [8] Prof. Dr. Kaushika Patel, Meghsinh Gadaria, and Krisha Kansagra, "Surveillance Robo Car Using ESP32 CAM Module," *Int J Sci Res Sci Eng Technol*, vol. 12, no. 2, pp. 559–571, Apr. 2025, doi: 10.32628/IJSRSET25122176.
- [9] L. V. Bhale, N. Laxman Sumnure, H. S. Maske, and S. S. Patil, "Robot Car Using ESP32 Cam," *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJAR SCT) International Open-Access, Double-Blind, Peer-Reviewed, Refereed, Multidisciplinary Online Journal*, vol. 3, no. 1, 2023, doi: 10.48175/IJAR SCT-11280.
- [10] Binus University, "Mengenal Mikrokontroler," <https://binus.ac.id/bandung/2019/11/mengenal-mikrokontroler/>.
- [11] Rahmat Gunawan, Arif Maulana Yusuf, and Lysa Nopitasari, "RANCANG BANGUN SISTEM PRESENSI MAHASISWA DENGAN MENGGUNAKAN QR



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

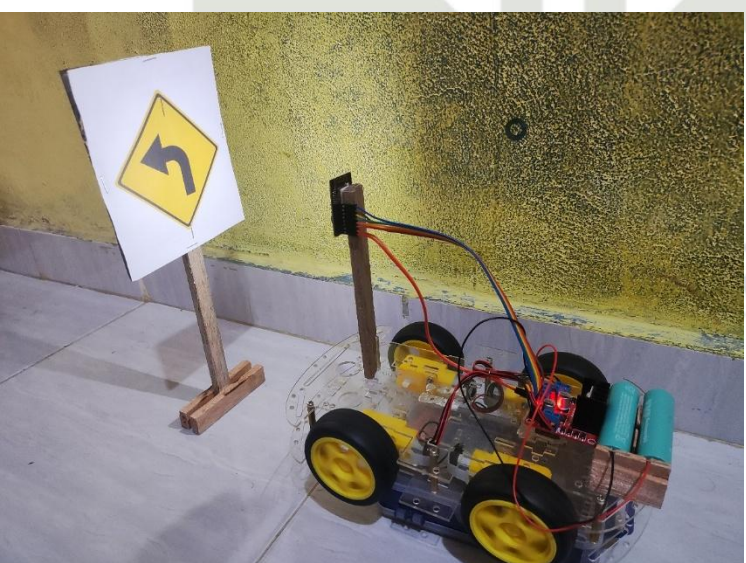
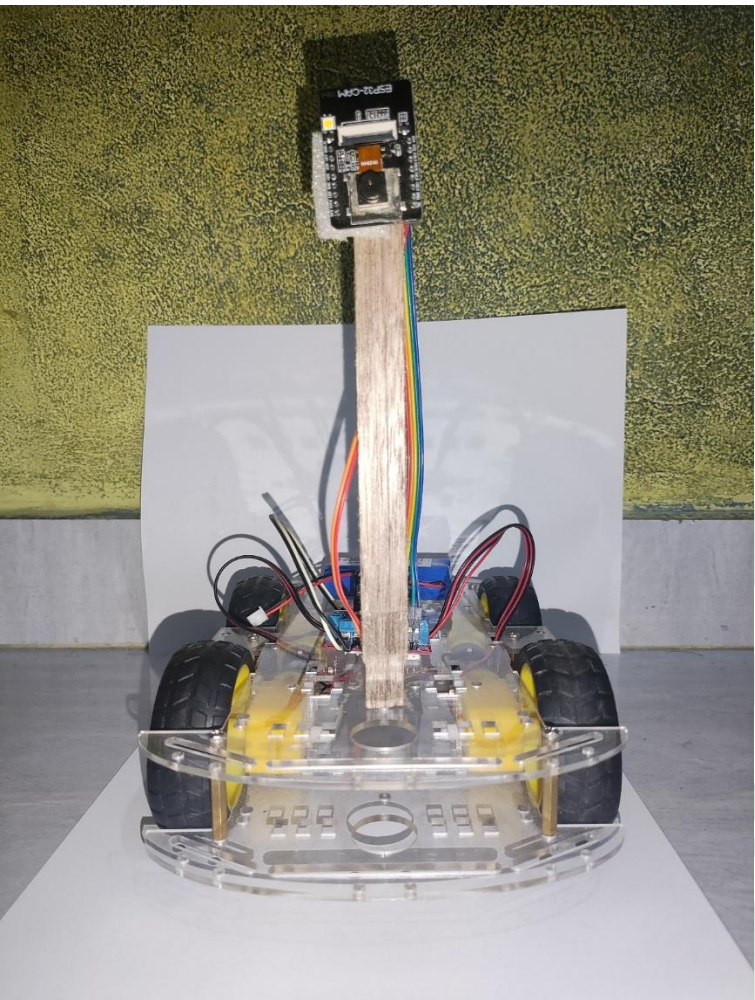
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- CODE BERBASIS ANDROID,” *Elkom : Jurnal Elektronika dan Komputer*, vol. 14, no. 1, 2021, doi: 10.51903/elkom.v14i1.369.
- [12] A. Febryan and J. Teknik Elektro, “RANCANG BANGUN SISTEM KEAMANAN RUMAH BERBASIS TELEGRAM MENGGUNAKAN ESP 32 CAM,” vol. 15, no. 1, p. 2023.
 - [13] Indobot Academy, “Datasheet ESP32-CAM dengan Modul Kamera IoT Serba Guna,” <https://blog.indobot.co.id/datasheet-esp32-cam-dengan-modul-kamera-iot-serba-guna/>.
 - [14] Elga Aris Prastyo, “Driver Motor L298N,” Arduino Indonesia.
 - [15] Components101, “L298N Motor Driver Module,” <https://components101.com/modules/l293n-motor-driver-module>.
 - [16] AVAQ, “L298 H-Bridge Motor Driver IC: Datasheet, Specification, Pinout and Circuit Diagram,” <https://www.avaq.com/technology/l298-h-bridge-motor-driver-ic-datasheet-specification-pinout-and-circuit-diagram>.
 - [17] · Book, “MOTOR-MOTOR LISTRIK,” 2018. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/323986635>
 - [18] E. Prasetyo Widyanto, A. Novianto, J. Teknik Otoranpur, P. Malang, J. Teknik Mesin, and U. Merdeka Malang, “ANALISA KEMAMPUAN CHASSIS PADA ROBOT TEMPUR KOTA DENGAN SOFTWARE MSC. NASTRAN,” 2018.
 - [19] Misel, “Power Supply dalam Elektronik: Pengertian, Fungsi dan Proses Kerjanya,” <https://misel.co.id/power-supply-dalam-elektronik-pengertian-fungsi-dan-proses-kerjanya/>.
 - [20] Edge Impulse, “What is Edge Impulse?,” <https://docs.edgeimpulse.com/docs/concepts/edge-ai-fundamentals/what-is-edge-impulse>.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

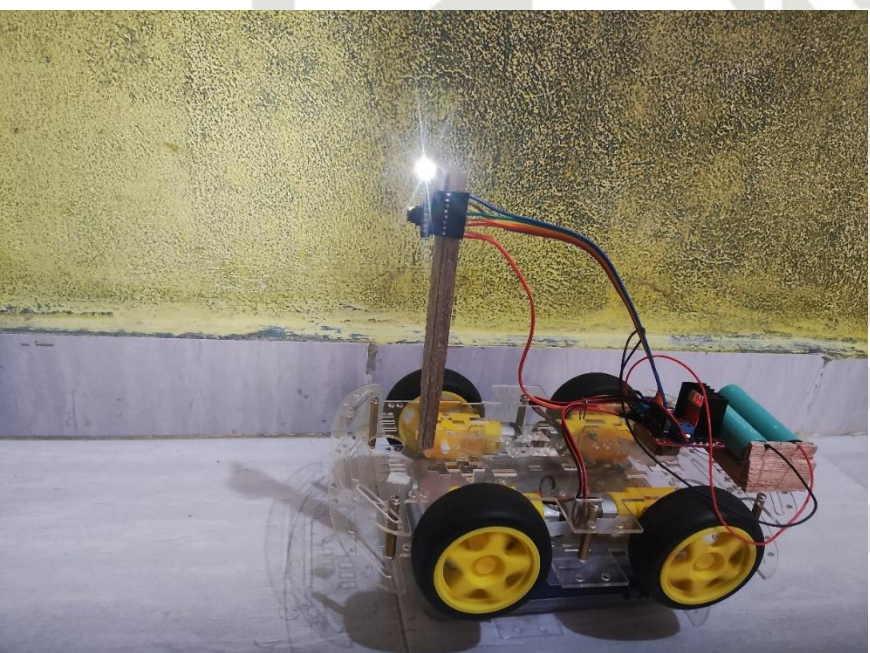
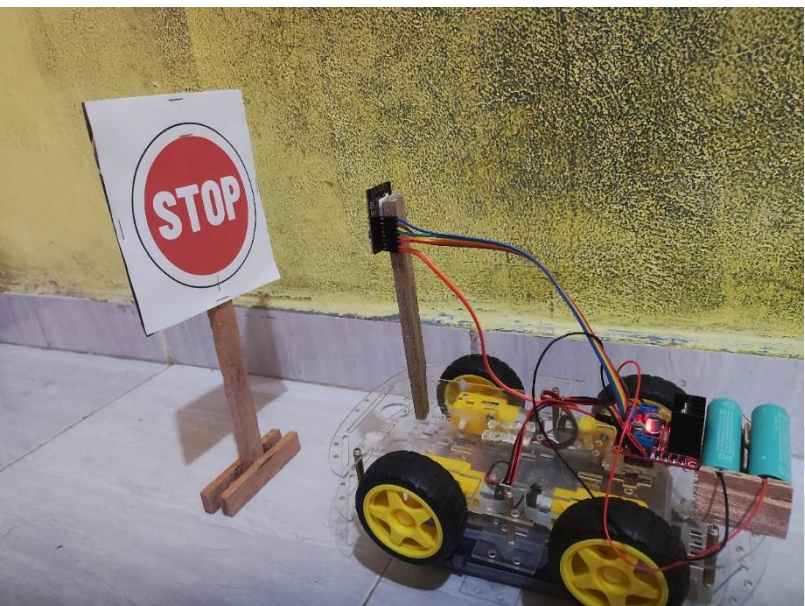
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN



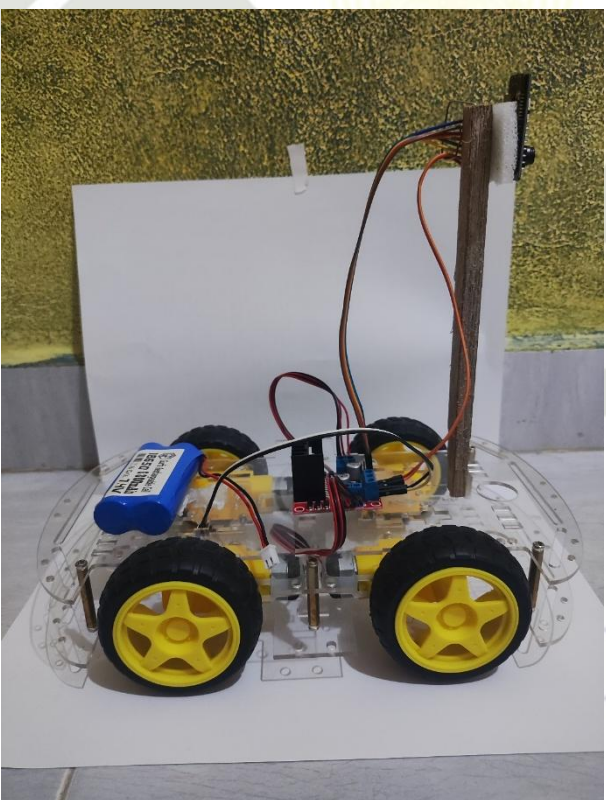
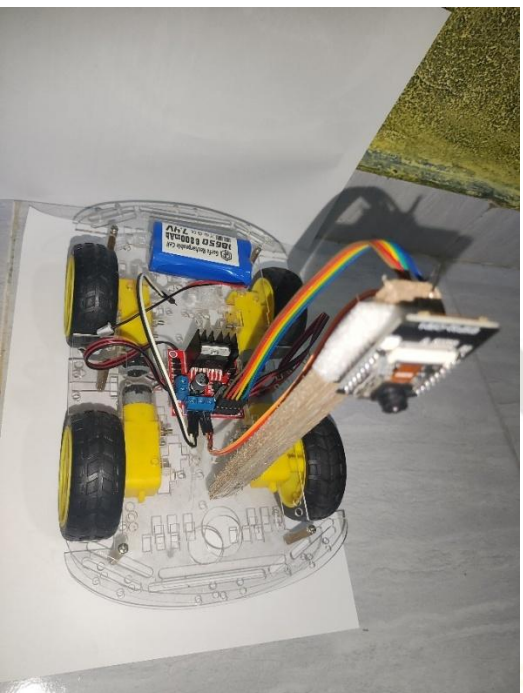
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



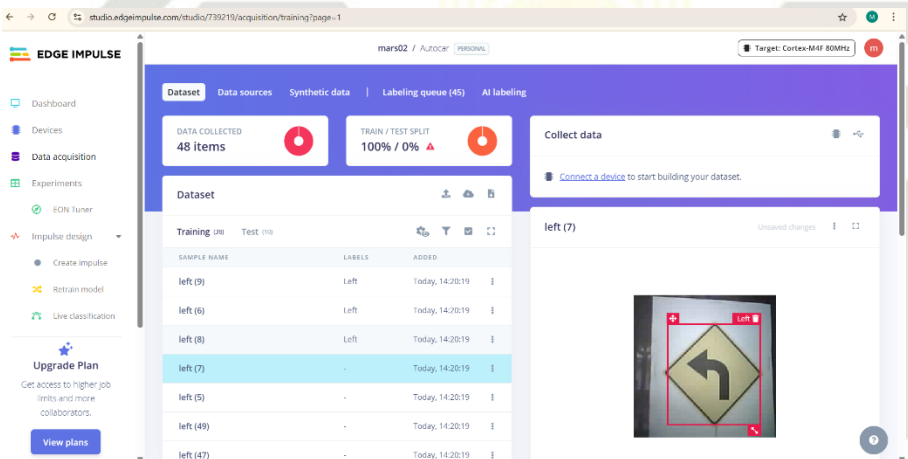
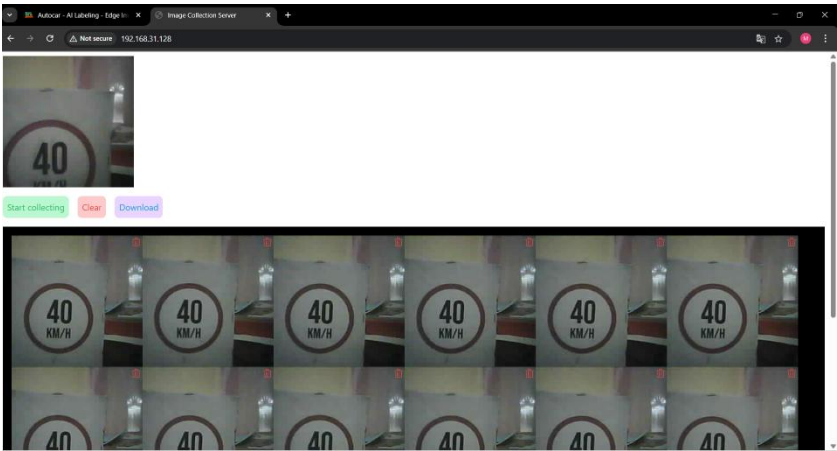
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



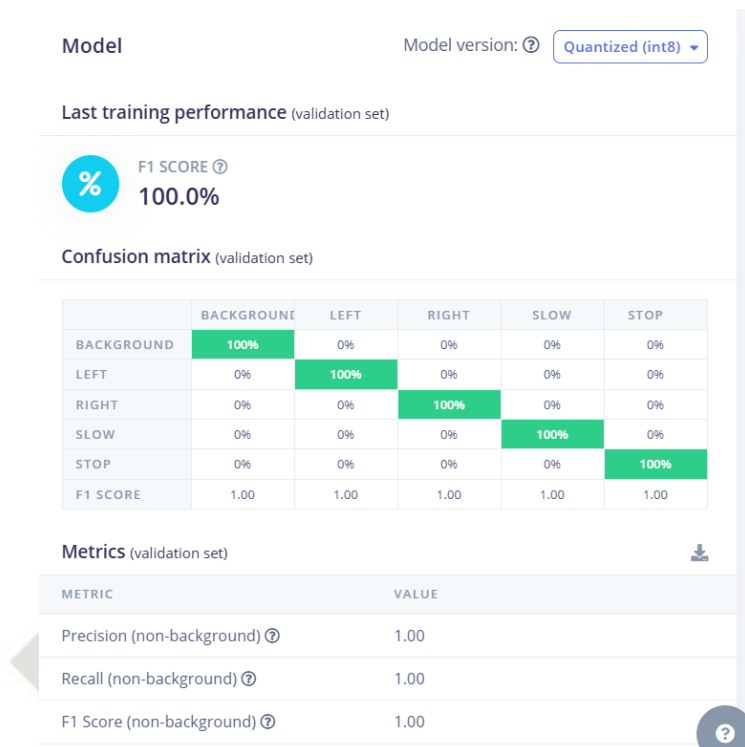
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Aldri Linanda, lahir di Dana Bingkuang, 20 November 1999 sebagai anak kedua dari pasangan ayah yang Bernama Muhammad Amin dan ibu Yusneti yang beralamat di Pulau Permai, Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar.

Penulis dapat dihubungi di:

Email : aldrilinanda11@gmail.com.

HP : 082284163930

Riwayat Pendidikan Formal :

- SD Negeri 003 Pulau Permai

MTs Pondok Pesantren Ansharullah Pulau Birandang

SMKs Global Cendekia Kualu Nenas, Jurusan Akuntansi

UIN Suska Riau Prodi Teknik Elektro, Konsentrasi Komputer Tahun 2018 - 2025

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.