

Sistem Pengendali Steering Gear Otomatis Menggunakan Teknologi Kamera Thermal FLIR

1st Rachmat Arifyandy
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

rarifandy@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Fiky Y. Suratman
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

fysuratman@telkomuniversity.ac.id

3rd Arief Suryadi Satyawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

Verified email at brin.go.id

Abstrak — Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi mendorong berbagai inovasi, salah satunya adalah kendaraan listrik otonom (KLO) yang dapat mengurangi kelalaian manusia dalam mengemudi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem kemudi otomatis pada KLO menggunakan kamera FLIR (Forward-Looking Infrared). Kamera FLIR digunakan untuk mendeteksi lingkungan sekitar kendaraan dalam berbagai kondisi pencahayaan, seperti siang hari dan malam hari. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja kamera dalam menghasilkan gambar termal yang akurat dan memastikan deteksi serta identifikasi objek yang andal. Metode Convolutional Neural Network (CNN) dengan arsitektur ResNet-50 digunakan untuk meningkatkan efektivitas deteksi objek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kamera FLIR mampu mendeteksi objek dengan baik dalam kondisi siang dan malam hari, serta meningkatkan keselamatan dan navigasi kendaraan otonom. Penggunaan metode CNN terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi deteksi objek, memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem kemudi otomatis yang lebih aman dan efisien.

Kata kunci — Kendaraan Listrik Otonom (KLO), Sistem Kemudi Otomatis, Kamera FLIR, Deteksi Objek, Convolutional Neural Network (CNN), ResNet-50.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi saat ini bergerak cukup pesat, sehingga memungkinkan untuk dapat diaplikasikan diberbagai bidang kehidupan, termasuk mendorong berkembangnya di era industri 4.0. Khususnya pada bidang ilmu pengetahuan dan sistem komunikasi, Pada saat ini diberbagai negara telah mulai dikembangkan berbagai macam teknologi salah satunya ialah kendaraan listrik tanpa campur tangan manusia atau biasa disebut kendaraan listrik otonom (KLO). Kendaraan tersebut dapat mengurangi kelalaian manusia dalam mengemudi, selain itu dapat memberi kemudahan bagi orang dewasa hingga anak-anak untuk dapat bepergian tanpa keharusan mengemudi. Hasil studi dari Institut Studi Transportasi (INSTRAN) mendapatkan bahwa 65% kecelakaan lalu lintas berakibat kematian adalah pejalan kaki, dan kecenderungannya melibatkan kelalaian pengemudi kendaraan bermotor termasuk mobil. Kondisi ini menjadi pertimbangan berbagai pihak untuk menghadirkan kendaraan yang dapat dikendalikan tanpa pengemudi atau menggunakan komputer sehingga meminimalisir terjadinya kelalaian yang diakibatkan pengemudi [1].

Berdasarkan data yang dihimpun dari BPS (Badan Pusat Statistik), kecelakaan lalu lintas merupakan serangkaian kejadian yang pada akhirnya sesaat sebelum terjadi kecelakaan didahului oleh gagalnya pemakai jalan dalam mengantisipasi keadaan sekelilingnya, termasuk dirinya sendiri dan kecelakaan lalu lintas mengakibatkan terjadinya korban atau kerugian harta benda. Menurut badan pusat statistika jumlah kecelakaan, korban mati, luka berat, luka ringan, dan kerugian materi 2019 – 2021 [2].

Selanjutnya menurut IIHS dalam studinya menemukan bahwa kendaraan otonom mampu mencegah sekitar 34% untuk meminimalisir peluang terjadinya kecelakaan [3] maka dari itu KLO perlu diciptakan. Agar KLO dapat terwujud maka sistem pendukung otonomnya harus bekerja dengan baik. Para pengembang kendaraan KLO seperti Waymo dan Tesla [4] telah berlomba-lomba mengembangkan sistem pendeteksian objek, sistem tersebut berbasis LiDAR, kamera maupun radar.

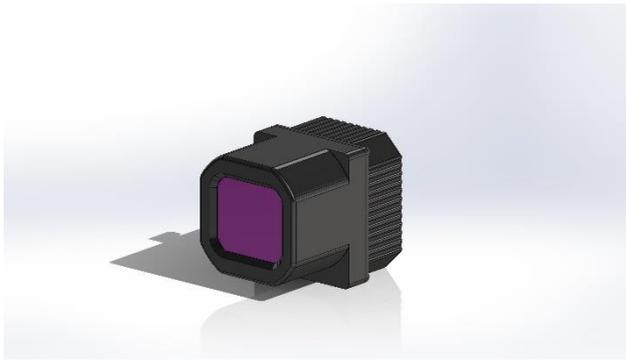
II. KAJIAN TEORI

A. Sistem Kemudi Otomatis

Sistem kemudi otomatis, atau yang sering disebut sebagai sistem kemudi otonom, adalah teknologi yang memungkinkan kendaraan untuk mengemudi sendiri tanpa perlu intervensi manusia. Teknologi ini mengandalkan kombinasi berbagai sensor, kamera, radar, dan perangkat lunak kecerdasan buatan (AI) untuk memahami dan menilai lingkungan sekitar kendaraan. Dengan informasi ini, sistem dapat membuat keputusan mengemudi secara langsung dan responsif terhadap kondisi jalan dan lalu lintas.

B. Kamera FLIR

Kamera FLIR (*Forward-Looking Infrared*) adalah sebuah teknologi yang vital dalam sistem kemudi otomatis karena memungkinkan kendaraan untuk mendeteksi dan menginterpretasikan lingkungan sekitarnya secara efektif. Berbeda dengan kamera visual biasa yang bergantung pada cahaya terlihat, kamera FLIR menggunakan inframerah untuk menangkap gambar. Hal ini sangat menguntungkan dalam kondisi-kondisi di mana cahaya terbatas atau cuaca tidak mendukung seperti malam hari, kabut tebal, atau hujan deras. Dengan kemampuannya ini, kendaraan dapat dengan lebih akurat mengenali objek, pejalan kaki, atau bahkan hewan di sekitarnya, meningkatkan keamanan dan efisiensi operasional dalam berbagai kondisi lingkungan yang tidak ideal.



GAMBAR 1
Kamera FLIR

C. Prinsip Pendeteksian Kamera FLIR

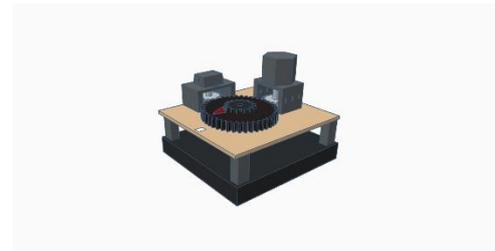
Kamera FLIR (*Forward-Looking Infrared*) bekerja dengan mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh objek di sekitarnya. Objek dengan suhu di atas nol mutlak memancarkan radiasi ini. Kamera mengonversi radiasi inframerah menjadi sinyal listrik, kemudian mengolahnya menjadi citra termal yang menampilkan pola suhu objek dalam bidang pandang kamera. Citra ini digunakan untuk identifikasi objek, pengukuran suhu relatif, dan mendukung pengambilan keputusan dalam kendaraan otonom, terutama di kondisi cahaya minim atau cuaca buruk seperti malam hari, kabut tebal, atau hujan lebat.

D. Identifikasi Kamera FLIR

Kamera FLIR (*Forward-Looking Infrared*) dalam kamera FLIR dilakukan dengan menganalisis dan menginterpretasikan pola suhu yang terlihat dalam citra termalnya. Setiap objek atau fenomena memiliki jejak panas yang unik, memungkinkan kamera untuk membedakan antara berbagai objek berdasarkan distribusi suhu mereka. Sistem ini menggunakan teknologi pengolahan citra dan kecerdasan buatan untuk mengenali pola suhu yang terkait dengan objek tertentu, seperti kendaraan, pejalan kaki, atau hewan. Dengan cara ini, kamera FLIR membantu kendaraan otonom untuk memahami lingkungan sekitarnya dan mengambil keputusan yang tepat dalam berbagai kondisi, termasuk saat cahaya rendah atau cuaca buruk seperti malam hari atau hujan lebat.

E. *Steering Gear Automatic*

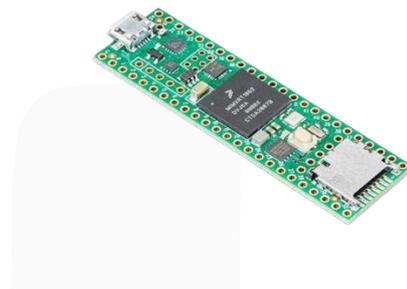
Steering Gear Automatic (SGA) adalah teknologi canggih dalam sistem kendaraan yang dirancang untuk mengotomatisasi fungsi kemudi. SGA menggunakan sensor-sensor seperti kamera, radar, dan lidar untuk mengumpulkan data tentang lingkungan sekitar kendaraan. Data ini kemudian diolah oleh sistem kontrol yang menggunakan algoritma untuk menentukan gerakan kemudi yang optimal. Tujuan utama SGA adalah meningkatkan keamanan, mengurangi kesalahan pengemudi, dan meningkatkan kenyamanan dalam mengemudi. Sistem ini dapat beroperasi dalam mode semi-otonom, di mana pengemudi masih terlibat namun sistem memberikan bantuan aktif, serta dalam mode otonom penuh di mana kendaraan mengendalikan kemudi sepenuhnya tanpa intervensi manusia. Implementasi SGA diharapkan dapat mengurangi kecelakaan lalu lintas dan meningkatkan efisiensi kendaraan, membawa mobilitas kendaraan menuju masa depan yang lebih aman dan efisien.



GAMBAR 2
Steering Gear Automatic

D. *Teensy 4.1*

Teensy 4.1 adalah papan mikrokontroler canggih buatan PJRC yang menggunakan prosesor ARM Cortex-M7 berkecepatan hingga 600 MHz. Papan ini memiliki 1 MB RAM dan 8 MB Flash memory, serta banyak pin I/O untuk beragam aplikasi. Mendukung protokol komunikasi seperti UART, SPI, I2C, CAN, dan USB, serta dilengkapi slot microSD dan konektor Ethernet untuk penyimpanan dan konektivitas jaringan. Kompatibel dengan Teensyduino, add-on untuk Arduino IDE, sehingga memudahkan pengembangan dan pemrograman proyek.



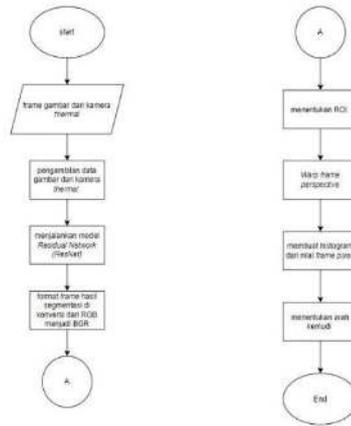
GAMBAR 3
Teensy 4.1

E. NVIDIA Jetson AGX Xavier

NVIDIA Jetson AGX Xavier Developer Kit adalah kit pengembangan AI yang dapat digunakan untuk menjalankan berbagai kebutuhan AI modern dengan kinerja luar biasa. Dengan NVIDIA Jetson AGX Xavier, pengembang dapat menjalankan framework dan model AI untuk aplikasi pengenalan gambar, pengenalan objek, segmentasi, pengenalan suara, dan banyak lagi. Jetson AGX Xavier mendukung banyak kerangka kerja pengembangan kecerdasan buatan seperti TensorFlow, PyTorch, Caffe, dan MXNet sebagai komputer untuk pemrosesan kecerdasan buatan. Hal ini memungkinkan pemrogram untuk membangun mesin dengan sistem kecerdasan buatan yang otonom dan kompleks dengan menerapkan fitur seperti image recognition, object detection, localization, pose estimation, semantic segmentation, video enhancement dan intelligent analytics.



GAMBAR 4
NVIDIA Jetson AGX Xavier



GAMBAR 7
Flowchart Kamera FLIR

III. METODE

A. Desain Alat

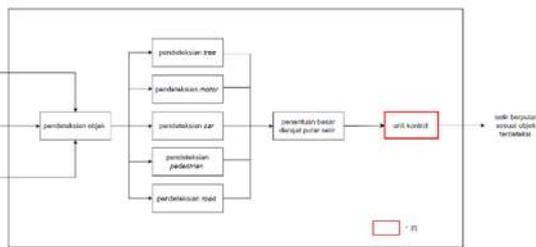
Pada gambar di bawah, merupakan peletakan komponen – komponen pada sistem kemudi otomatis. Dimana kamera FLIR diletakan pada bagian atas kendaraan untuk memindai area jalan dan dibawah roda belakang tempat *Steering Gear*.



GAMBAR 5

Desain Peletakan komponen – komponen pada Kendaraan Listrik Otonom

B. Diagram Blok Sistem

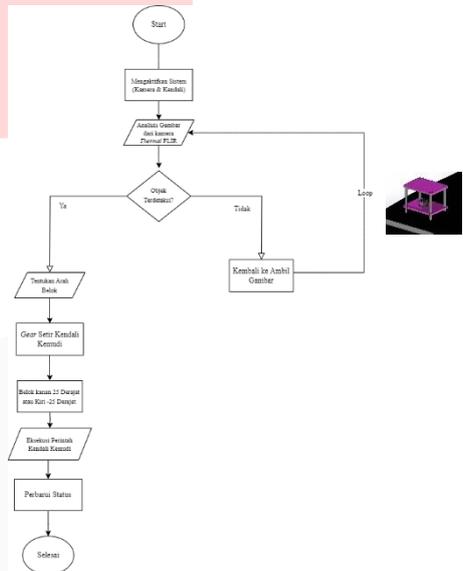


GAMBAR 6

Diagram Blok Kamera FLIR

Pada blok diagram sistem kemudi otomatis, proses pendeteksian objek dijelaskan. Ketika objek terdeteksi, unit kontrol akan memproses derajat putaran setir. Jika objek teridentifikasi, unit kontrol akan menyesuaikan derajat putaran setir sesuai dengan karakteristik objek tersebut. Namun, jika tidak ada objek yang terdeteksi, unit kontrol akan menentukan derajat putaran setir berdasarkan kondisi jalan yang ada.

C. Flowchart



GAMBAR 8
Flowchart Steering Gear

Gambar 4 menampilkan diagram alir atau flowchart dari sistem yang mulai dengan pengambilan frame gambar dari kamera thermal. Setelah itu, frame tersebut diproses menggunakan model Residual Network (ResNet). Hasil segmentasi dari frame ini kemudian dikonversi dari format RGB ke BGR dan dilakukan perubahan nilai pada HSV dari frame hasil segmentasi tersebut. Langkah selanjutnya adalah menentukan Region Of Interest (ROI) untuk memproses setiap pixel citra. Kemudian, dilakukan koreksi gambar dengan menggunakan algoritma warp frame perspectives. Hasil dari koreksi ini dibuatkan histogram nilai pixel frame-nya. Akhirnya, unit kontrol akan menentukan arah kemudi berdasarkan objek yang terdeteksi atau kondisi jalan yang akan ditempuh. Gambar 5 di atas menggambarkan proses kerja sistem kemudi otomatis yang dimulai dengan pengambilan gambar dari kamera untuk menganalisis kondisi sekitarnya. Gambar yang diambil kemudian dianalisis menggunakan model deteksi objek seperti ResNet dan FLIR untuk mendeteksi keberadaan objek. Pada titik keputusan, sistem memeriksa apakah ada objek yang terdeteksi. Jika objek terdeteksi, sistem menentukan arah kemudi sesuai dengan objek yang terdeteksi, menggerakkan setir kendali, mengubah posisi kemudi sebesar 25 derajat atau

kelipatannya, dan mengeksekusi perintah kemudi. Setelah itu, status sistem diperbarui dan proses berakhir.

Lalu jika objek tidak terdeteksi, sistem kembali mengambil gambar untuk dianalisis ulang dalam *loop* hingga objek terdeteksi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi



GAMBAR 9

Kendaraan Listrik Otonom dengan *Thermal Camera FLIR*

Gambar 9 adalah saat kamera dipasang pada bagian atas mobil guna mengambil data pada jalan yang akan dilewati oleh mobil.



GAMBAR 10
Steering Gear

Gambar 10 di atas menunjukkan steering gear kendaraan listrik otonom roda tiga. Steering gear ini terletak di roda bagian belakang dan berfungsi untuk mengatur arah kendaraan dengan mengubah sudut roda belakang sesuai dengan perintah sistem kendali. Gear tersebut terdiri dari komponen motor listrik yang terhubung dengan mekanisme roda gigi untuk menggerakkan roda.



GAMBAR 11

Hasil Konversi Video Menjadi *Frame* sebelum penggunaan metode CNN

Pengkoversian video menjadi *frame* dilakukan untuk ResNet karena ResNet dirancang untuk memproses gambar statis. Oleh karena itu, agar bisa diproses menggunakan ResNet, video tersebut perlu dipecah menjadi *frame* individu. Setiap frame kemudian dapat diproses secara terpisah oleh ResNet.

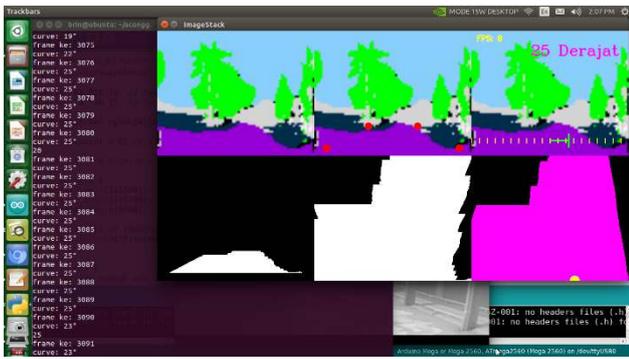
B. Hasil Pengujian

1. Thermal Camera FLIR

Pengujian kamera FLIR (Forward-Looking Infrared) pada siang hari dan malam hari dilakukan untuk memastikan kinerja yang konsisten dan andal dalam berbagai kondisi pencahayaan. Pada siang hari, pengujian diperlukan untuk mengatasi tantangan cahaya latar yang kuat dan kontras tinggi, sementara pada malam hari, pengujian memastikan kemampuan kamera mendeteksi objek dalam kegelapan total dengan hanya mengandalkan radiasi inframerah. Pengujian ini juga membantu dalam evaluasi algoritma kecerdasan buatan (AI) yang digunakan untuk analisis data, memastikan deteksi dan identifikasi objek yang akurat dalam kondisi terang dan gelap, serta memastikan keselamatan dan navigasi yang optimal pada kendaraan otonom dalam berbagai kondisi lingkungan.

2. *Steering Gear*

Dalam pengujian yang dilakukan, steering gear ini diuji untuk memastikan bahwa kendaraan listrik otonom dapat berbelok dan bermanuver dengan baik berdasarkan data yang diolah oleh sistem navigasi berbasis Deep Learning. Model Convolutional Neural Networks (CNN) yang digunakan dalam pengenalan objek dan fitur jalan memungkinkan kendaraan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi berbagai objek di sekitar seperti bangunan, tiang, pohon, pejalan kaki, trotoar, dan jalan, sehingga kendaraan dapat menyesuaikan arah dan kecepatan sesuai kondisi lingkungan. Selain itu, model Recurrent Neural Networks (RNN) membantu dalam pemetaan lokasi kendaraan dan merencanakan rute navigasi yang efisien, menghindari hambatan di jalan, dan beradaptasi dengan perubahan kondisi lalu lintas secara real-time. Dengan demikian, steering gear ini memainkan peran penting dalam memastikan kendaraan dapat dikendalikan secara akurat dan aman berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem navigasi canggih.



GAMBAR 12

Pendeteksian Malam Hari sesudah penggunaan metode CNN

Hasil pengujian pendeteksian area jalan menggunakan *thermal camera FLIR* sesudah penggunaan metode *CNN (Convolutional Neural Network)* dengan jenis *ResNet-50*.



GAMBAR 13

Serial Monitor posisi Gear

Serial monitor Arduino di atas menunjukkan data yang diterima langsung dari Jetson melalui koneksi serial RX dan TX. Teks "Received: SET SP 25.00" menunjukkan bahwa *Teensy* menerima perintah untuk mengatur *setpoint* ke 25.00 derajat dari Jetson. Setelah itu, Serial monitor menampilkan nilai *setpoint* yang telah diatur dan beberapa nilai data lainnya. Nilai *setpoint* 25.00 adalah target yang ingin dicapai dan Nilai 24.97 merupakan hasil pembacaan dari *rotary encoder*, yang menunjukkan posisi aktual yang mendekati *setpoint*.

C. Analisis Hasil Pengujian

TABEL 1
Data pengujian hasil pendeteksian kamera FLIR

Percobaan ke-	Keadaan Malam Hari						Selisih		
	Belok Kanan (derajat) Decision Python	Lurus (derajat) Decision Python	Belok Kiri (derajat) Decision Python	Belok Kanan (derajat) Serial Teensy	Lurus (derajat) Serial Teensy	Belok Kiri (derajat) Serial Teensy			
	X	Y	Z	X	Y	Z	IXI	IYI	IZI
1	16.10	0.19	15.15	15.00	0.00	15.00	1.10	0.19	0.15
2	25.32	0.37	9.17	25.00	0.00	10.00	0.32	0.37	0.83
3	19.16	0.44	9.17	20.00	0.00	10.00	0.84	0.44	0.83
4	5.79	0.22	4.42	5.00	0.00	5.00	0.79	0.22	0.58
5	10.19	0.31	15.85	10.00	0.00	15.00	0.19	0.31	0.85
6	24.26	0.36	15.15	25.00	0.00	15.00	0.74	0.36	0.15
7	9.13	0.49	19.20	10.00	0.00	20.00	0.87	0.49	0.80
8	15.64	0.42	4.24	15.00	0.00	5.00	0.64	0.42	0.76
9	15.47	0.17	24.65	15.00	0.00	25.00	0.47	0.17	0.35
10	20.47	0.28	20.19	20.00	0.00	20.00	0.47	0.28	0.19
Nilai Rata-Rata	16.15	0.32	13.72	16.00	0.00	14.00	0.64	0.32	0.55
Nilai Error X							0.04		
Nilai Error Y							1.00		
Nilai Error Z							0.04		

Tabel tersebut menunjukkan hasil pengukuran dari beberapa percobaan yang dilakukan pada malam hari untuk membandingkan dua metode, yaitu "*Decision Python*" dan "*Serial Teensy*" dalam tiga kondisi yaitu belok kanan, lurus, dan belok kiri. Tabel mencakup sepuluh percobaan dengan

hasil pengukuran pada sumbu X, Y, dan Z untuk kedua metode. Kolom terakhir menunjukkan selisih antara pengukuran dari kedua metode untuk setiap kondisi. Tabel diatas juga mencantumkan nilai rata-rata dari pengukuran serta nilai *error* untuk masing-masing sumbu X, Y, dan Z. Data ini membantu dalam menilai konsistensi dan efektivitas kedua metode dalam kondisi yang berbeda pada malam hari.

V. KESIMPULAN

Pengujian kamera FLIR (Forward-Looking Infrared) pada kendaraan listrik otonom (KLO) menyoroti pentingnya evaluasi di berbagai kondisi pencahayaan untuk memastikan kinerja yang konsisten dan andal. Pengujian di siang hari diperlukan untuk mengatasi tantangan cahaya latar yang kuat dan kontras tinggi, sementara pengujian di malam hari bertujuan untuk memastikan kemampuan kamera dalam mendeteksi objek dalam kegelapan total dengan bantuan radiasi inframerah. Hasil dari pengujian ini juga berperan dalam mengevaluasi algoritma kecerdasan buatan (AI) yang digunakan dalam analisis data, sehingga memastikan deteksi dan identifikasi objek yang akurat, serta mendukung keselamatan dan navigasi optimal kendaraan otonom. Penggunaan metode CNN (Convolutional Neural Network) dengan varian ResNet-50 terbukti meningkatkan efektivitas deteksi objek baik pada siang maupun malam hari. Secara keseluruhan, implementasi dan pengujian kamera FLIR ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem kemudi otomatis yang lebih aman dan efisien. steering gear memastikan kendaraan dapat berbelok dan bermanuver dengan baik berdasarkan data dari sistem navigasi berbasis Deep Learning. Model CNN digunakan untuk mengenali objek dan fitur jalan, sedangkan RNN (Recurrent Neural Networks) membantu dalam pemetaan lokasi dan perencanaan rute navigasi yang efisien, menghindari hambatan, dan menyesuaikan dengan kondisi lalu lintas secara real-time.

Kombinasi kamera FLIR dan steering gear yang didukung oleh CNN dan RNN memastikan kendaraan listrik otonom beroperasi dengan efisien dan aman dalam berbagai kondisi lingkungan dan pencahayaan, berkontribusi pada pengembangan teknologi kendaraan otonom yang lebih canggih dan andal.

REFERENSI

- [1] Waymo, <https://id.wikipedia.org/wiki/Waymo>, 21 June 2021.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Jumlah Kecelakaan, Korban Mati, Luka Berat, Luka Ringan, dan Kerugian Materi 2019-2021," bps.go.id/indicator/17/513/1/jumlah-kecelakaankorban-mati-luka-berat-luka-ringan-dan-kerugian-materi.html
- [3] <https://www.iivs.org/ratings> 13 July 2023
- [4] Tesla, https://id.wikipedia.org/wiki/Tesla,_Inc., 21 June 2021.

- [5] Flir,
<https://www.flir.eu/discover/instruments/firefighting>,
1 January 2023
- [6] Hilman Lajuardhie (2022) Kendali stabilitas kemudi
pada kendaraan listrik otonom roda tiga. Sarjana

thesis, UIN Sunan Gunung Djati Bandung:
<https://digilib.uinsgd.ac.id/59433/>

