

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern ini, teknologi berkembang pesat dan memiliki peran penting dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu inovasinya adalah kendaraan otonom atau Autonomous Vehicles (AV). Kendaraan otonom, yang sering disebut sebagai mobil tanpa pengemudi atau *self-driving cars*, adalah kendaraan yang mampu beroperasi tanpa campur tangan manusia (Rojas-Rueda dkk., 2020). Inovasi ini mengintegrasikan berbagai komponen, seperti kecerdasan buatan (AI), sensor, dan sistem pemrosesan data, untuk memungkinkan kendaraan bergerak secara mandiri (Sari, 2024) (Kalla Institute, 2024). Tujuan utama dari kendaraan otonom adalah meningkatkan efisiensi dalam berkendara sekaligus meminimalkan kesalahan manusia yang sering kali menjadi penyebab utama kecelakaan lalu lintas. Dengan bantuan sensor seperti GPS, LIDAR, dan kamera, kendaraan otonom mampu memahami lingkungan sekitarnya dan mengambil keputusan berkendara secara *real-time* untuk menjaga keselamatan (Sari, 2024) (Kalla Institute, 2024).

Populasi kendaraan otonom, diprediksi akan meningkat tajam dalam beberapa tahun ke depan. Peningkatan ini didorong oleh kenyamanan yang ditawarkan kendaraan otonom, dimana penumpang dapat melakukan aktivitas lain, seperti panggilan video, menonton film, atau bekerja selama perjalanan (McKinsey & Company, 2023). Hal ini meningkatkan pengguna, untuk menjadikan kendaraan otonom pilihan yang semakin menarik untuk memenuhi kebutuhan berkendara.

Selain itu, kendaraan listrik lebih ideal untuk kendaraan otonom karena tingkat elektrifikasi yang tinggi dan integrasi antara mekanik dan elektronik (Chai dkk., 2020). Oleh karena itu, kendaraan otonom dipersepsikan dapat mengurangi emisi serta meningkatkan efisiensi arus lalu lintas, yang mendukung keberlanjutan lingkungan. Manfaat ini sangat menarik bagi konsumen yang peduli terhadap lingkungan (Tian & Wang, 2022) (McKinsey & Company, 2023).

Pasar kendaraan otonom global pada tahun 2023 mencapai sekitar \$158,31 miliar dan diperkirakan akan meningkat menjadi sekitar \$2,75 triliun pada 2033, dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) sebesar 33% (Presedence Research, 2024). Sementara itu, menurut Abdelmohsen (2023) tentang “*Navigating*

the future of autonomous vehicles” dijelaskan bahwa pasar untuk kendaraan Tingkat 1 dan Tingkat 2 mencapai hampir \$106 miliar pada 2021 dan diperkirakan akan melampaui \$2,2 triliun pada 2030 dengan CAGR sebesar 35,6%. Pada 2040, diperkirakan akan ada lebih dari 33 juta kendaraan tanpa pengemudi di jalan, mencerminkan pergeseran besar menuju otomatisasi dalam transportasi pribadi dan komersial (Abdelmohsen, 2023).

Amerika Utara saat ini merupakan pasar yang terbesar untuk kendaraan otonom yang didorong oleh investasi signifikan dari produsen otomotif besar dan perusahaan teknologi (Mordor Intelligence, 2024) (Presedence Research, 2024). Di Asia-Pasifik, pasar diperkirakan akan tumbuh dengan pesat, terutama pada sektor taksi otonom dan layanan mobilitas bersama, seiring dengan meningkatnya permintaan di negara-negara seperti Cina, Jepang, India, dan Korea Selatan (Mordor Intelligence, 2024) (Abdelmohsen, 2023).

Menurut data dari *6wresearch*, pasar kendaraan otonom Indonesia berada pada tahap awal tetapi menunjukkan potensi pertumbuhan. Investasi dari produsen otomotif dan perusahaan teknologi semakin meningkat, dengan tujuan untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi dalam transportasi (6Wresearch, 2023). PT Astra Honda Motor dan PT Toyota Astra Motor terlibat aktif dalam penelitian dan pengembangan teknologi mengemudi otonom di Indonesia (6Wresearch, 2023).

Selain dari sisi pasar, kerangka regulasi juga ikut berkembang untuk mendukung pengujian dan penerapan kendaraan otonom. Misalnya, data dari Digwatch menyatakan bahwa *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) saat ini dapat mengizinkan hingga 2.500 kendaraan otonom untuk diuji setiap tahun.

Pemerintah Indonesia mendukung pengembangan AV, dengan Presiden Joko Widodo mendorong integrasi sistem otonom ke dalam berbagai aspek perencanaan kota, khususnya di ibu kota baru (Permana, 2021). Inisiatif penelitian yang dipimpin oleh lembaga seperti ITB (Institut Teknologi Bandung) berfokus pada pengembangan teknologi AI untuk AV, termasuk aplikasi pembelajaran mesin dan pembelajaran mendalam untuk meningkatkan kapabilitas kendaraan (Permana, 2021). Selain itu, pada penelitian lain Sebagian besar responden mendukung penerapan kendaraan otonom di jalan untuk transportasi umum dan menyatakan

bahwa hal tersebut akan meningkatkan kualitas dan aksesibilitas transportasi umum (Sitinjak dkk., 2023).

Kesadaran dan minat konsumen terhadap kendaraan otonom semakin meningkat sebagai bagian dari pergeseran yang lebih luas menuju solusi transportasi berkelanjutan. Pandemi COVID-19 mempercepat minat terhadap teknologi otomatis dan tanpa sentuhan, sehingga mendorong investasi dalam sektor ini (Surya Cipta, 2024) (6Wresearch, 2023).

Namun dalam pengembangannya, kendaraan otonom masih memiliki banyak tantangan, salah satunya adalah biaya. Teknologi yang dibutuhkan untuk kendaraan otonom mahal. Misalnya, sistem LIDAR saja dapat mencapai sekitar \$75,000, sehingga total biaya setup mencapai sekitar \$150,000 per kendaraan, angka yang masih jauh dari jangkauan sebagian besar konsumen saat ini (Google Autonomous Vehicle, n.d.).

Kendaraan yang dilengkapi dengan kemampuan otonom Tingkat 2+ umumnya memiliki biaya komponen antara \$1,500 hingga \$2,000, sedangkan untuk tingkat otomatisasi yang lebih tinggi (L3 dan L4) dapat menimbulkan biaya tambahan yang melebihi \$5,000 per kendaraan pada fase awal peluncuran (McKinsey & Company, 2023). Pada penelitian lain yang dilakukan oleh google, harga perangkat sensor yang diperlukan mencapai lebih dari \$250,000 per kendaraan. Ditambah dengan harga mobil dasar Lexus RX450h seharga \$45,000 dan komponen kustom lainnya, biaya satu unit mobil otonom ini melebihi \$300,000 (Thomas, 2012).

Imitation Learning (IL) berpotensi untuk mengurangi biaya dalam pengembangan kendaraan otonom. Dalam sebuah studi yang memperkenalkan kerangka kerja bernama PLUTO, peneliti menunjukkan bahwa *imitation learning* dapat meningkatkan kinerja dibandingkan dengan sistem berbasis aturan tradisional. Dengan meningkatkan kemampuan perencanaan melalui *imitation learning*, pendekatan ini mengurangi ketergantungan pada sistem berbasis aturan yang kompleks, yang pada gilirannya dapat menekan biaya pengembangan dan operasional pada solusi kendaraan otonom (Cheng dkk., 2024).

Ditambah lagi, penelitian yang dilakukan oleh Ahn dkk. (2022) berpendapat bahwa metode *imitation learning* mengurangi kebutuhan pemrograman manual yang kompleks dan pemodelan yang rumit, hal ini membantu menekan biaya

pengembangan secara keseluruhan dan meningkatkan kemampuan kendaraan otonom untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi berkendara (Ahn dkk., 2022).

Imitation learning adalah pendekatan pembelajaran mesin yang digunakan dalam mengemudi otonom dengan meniru tindakan yang dilakukan oleh pengemudi manusia (Yildirim dkk., 2024). Pendekatan ini, terutama melalui model *behavior cloning*, memungkinkan kendaraan untuk belajar dari data yang dikumpulkan oleh pengemudi ahli, dengan tujuan mereplikasi perilaku tersebut dalam situasi nyata (Yildirim dkk., 2024).

Ditambah lagi, *behavioral cloning* adalah teknik yang sederhana dan efektif untuk memetakan pengamatan menjadi tindakan dengan memanfaatkan data mengemudi manusia secara terawasi. Metode ini tidak memerlukan pemodelan eksplisit terhadap dinamika lingkungan atau pendefinisian fungsi penghargaan yang kompleks seperti yang dibutuhkan oleh metode seperti GAIL (Kebria dkk., 2020) (Morga-Bonilla dkk., 2024).

Dengan mengintegrasikan *Imitation Learning* dan pelatihan yang melibatkan manusia, pelatihan agen dapat ditingkatkan dengan memberikan koreksi yang lebih spesifik sesuai dengan tugas yang dihadapi, serta mengurangi waktu pelatihan dan kebutuhan sumber daya (Malato dkk., 2022). Selain itu, penelitian lain juga menunjukkan bahwa penggunaan arsitektur CNN dan teknik *behavior cloning* berhasil mengungguli penelitian-penelitian sebelumnya dalam sistem kendaraan otonom (Abhiman dkk., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan teknik *behavior cloning* pada sistem kendaraan otonom.

Pada penelitian sebelumnya, *behavior cloning* telah diterapkan untuk membantu menyelesaikan masalah biaya pada pengembangan kendaraan otonom. Sebagai contoh, Morga-Bonilla dkk. (2024) mengimplementasikan pendekatan ini pada tiga skenario berbeda, yaitu simulasi UDACITY *self driving car engineer*, simulasi CARLA, dan penerapan pada dunia nyata. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Moraes dkk. (2024) mengkaji penggunaan *behavior cloning* untuk kendaraan otonom di dunia nyata dengan konsep mengikuti jalur yang telah disediakan.

Namun demikian, penelitian Morga-Bonilla dkk. (2024) masih menggunakan simulasi UDACITY *self driving car engineer* sebagai salah satu skenario utama,

yang memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan kondisi dunia nyata secara lebih kompleks. Sementara itu, baik pada penelitian tersebut maupun pada penelitian Moraes dkk. (2024), pengujian *behavior cloning* pada kendaraan otonom masih terbatas pada skenario di dalam ruangan.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini akan menggunakan *Robot Operating System* (ROS) untuk menciptakan lingkungan yang fleksibel dan dapat disesuaikan dengan spesifikasi perangkat keras kendaraan otonom. Selain itu, uji coba akan dilakukan di luar ruangan dengan mempertimbangkan berbagai kondisi waktu, yaitu pagi, siang, dan sore.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan pada sub bab sebelumnya, dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah penelitian, yakni:

1. Bagaimana menerapkan *Behavior cloning* sebagai *lane keeping assist* pada kendaraan otonom?
2. Bagaimana kinerja kendaraan otonom sebagai *lane keeping assist* dengan menggunakan algoritma *Behavior cloning*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Menerapkan *Behavior cloning* sebagai *lane keeping assist* pada kendaraan otonom.
2. Melakukan uji kinerja kendaraan otonom sebagai *lane keeping assist* yang menggunakan algoritma *Behavior cloning*.

1.4 Manfaat Penelitian

Pengembangan sistem ini diharapkan memberikan manfaat yaitu berupa memberikan rekomendasi mengenai penerapan metode pembelajaran imitasi dan prosedur pelatihan data yang paling efektif untuk digunakan dalam pengembangan kendaraan otonom. Rekomendasi ini diharapkan dapat membantu pengembang dan peneliti selanjutnya dalam merancang sistem yang lebih baik dan lebih aman untuk pengguna kendaraan otonom.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan yang ditetapkan, diantaranya sebagai berikut:

1. Uji kinerja dilakukan di lingkungan terbatas dengan batasan fisik tertentu, yaitu di KST Samaun Samadikun, BRIN, Bandung.
2. Eksperimen dilakukan di area yang bebas dari hambatan fisik yang berpotensi mengganggu pergerakan kendaraan otonom.
3. Pengambilan data dan pengujian prototipe dilakukan di lingkungan luar ruangan (*outdoor*) pada waktu pagi, siang, dan sore hari, dengan mempertimbangkan rentang intensitas cahaya (*lux*) antara 20.000 hingga 100.000 lux.
4. Pengumpulan data dan pengujian prototipe dilakukan hanya pada kondisi cuaca cerah.
5. Pengujian kendaraan O-SEATER tidak dilakukan pada jalur yang membentuk putaran tertutup, melainkan pada jalur yang menyerupai bentuk huruf 'U', dikarenakan keterbatasan sumber daya.
6. Kendaraan otonom yang digunakan dalam penelitian ini berjenis kendaraan satu penumpang.
7. Sensor yang dipasang pada kendaraan hanya berupa kamera yang terletak di bagian depan.
8. Seluruh pengambilan data dan pengujian prototipe dilakukan pada kecepatan yang konstan.
9. Model *behavior cloning* dirancang pada penelitian ini mereplikasi perilaku yang diamati menggunakan *supervised learning*.

1.6 Struktur Organisasi Skripsi

Sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian ini secara garis besar mengacu pada Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Pendidikan Indonesia Tahun 2021. Adapun sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

1. Bab I: Pendahuluan

Bab I menjelaskan dasar-dasar penelitian yang dilakukan. Pada bab ini, dijelaskan latar belakang yang menjadi alasan pentingnya penelitian ini dilaksanakan, perumusan masalah yang ingin diselesaikan, serta tujuan penelitian

yang hendak dicapai. Selain itu, bab ini juga mencakup manfaat penelitian yang diharapkan dapat berguna bagi pihak-pihak tertentu, batasan penelitian yang menjelaskan ruang lingkup studi, serta penjelasan mengenai struktur organisasi skripsi untuk memberikan gambaran alur pembahasan dalam dokumen ini.

2. Bab II: Tinjauan Pustaka

Bab II memuat kajian pustaka yang berisi ulasan teori dan literatur relevan yang menjadi dasar penelitian. Dalam bab ini, berbagai referensi terkait yang mendukung dan memperkuat penelitian diuraikan secara sistematis.

3. Bab III: Metode Penelitian

Bab III menguraikan metode penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan studi. Bab ini mencakup penjelasan mengenai objek penelitian, prosedur penelitian yang diterapkan, serta metodologi yang digunakan, baik dalam perancangan maupun pengujian.

4. Bab IV: Temuan dan Pembahasan

Bab IV memaparkan hasil temuan dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil tersebut mencakup implementasi metode *behavior cloning* pada sistem simulasi maupun pada platform O-SEATER. Selain itu, bab ini juga membahas analisis hasil yang diperoleh, menginterpretasikan data, dan mengevaluasi sejauh mana hasil penelitian menjawab permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya.

5. Bab V: Simpulan, Implikasi, dan Rekomendasi

Pada Bab V Simpulan, Implikasi dan Rekomendasi membahas mengenai hasil dan kesimpulan berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dikaji. Serta pembahasan mengenai pengembangan yang bisa dilakukan berdasarkan hasil penelitian ini.