

Pengembangan Kontrol Adaptif untuk Kendaraan Otonom dengan Studi Kasus pada Mobil Elektrik Berbasis Deep Reinforcement Learning

Diaz Arya Satya Pratama^{1*}

¹Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer

^{1*}210103149@mhs.udb.ac.id
(penulis korespondensi)

Abstrak— Penggunaan kendaraan otonom telah menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi transportasi modern. Dalam penelitian ini, kami memperkenalkan pendekatan pengembangan kontrol adaptif untuk meningkatkan kinerja kendaraan otonom, dengan fokus pada mobil elektrik. Kami mengusulkan penggunaan Deep Reinforcement Learning (DRL) sebagai metode utama dalam pengembangan kontrol adaptif. Pendekatan ini memungkinkan kendaraan untuk belajar secara mandiri melalui pengalaman interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Studi kasus kami menggunakan model mobil elektrik untuk menunjukkan efektivitas kontrol adaptif yang dihasilkan oleh pendekatan ini. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kinerja kendaraan dalam berbagai situasi lalu lintas dan lingkungan jalan. Pengembangan kontrol adaptif ini memberikan landasan penting untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan kendaraan otonom di masa depan.

Kata kunci— Sistem Kendali, Kendaraan Otonom, Deep Reinforcement Learning (DRL).

Abstract— The use of autonomous vehicles has become a primary focus in the development of modern transportation technology. In this research, we introduce an adaptive control development approach to enhance the performance of autonomous vehicles, focusing on electric cars. We propose the utilization of Deep Reinforcement Learning (DRL) as the primary method in adaptive control development. This approach allows vehicles to learn autonomously through experiences of interaction with their surrounding environment. Our case study employs an electric car model to demonstrate the effectiveness of adaptive control generated by this approach. Simulation results show a significant improvement in vehicle performance across various traffic situations and road environments. This adaptive control development provides a crucial foundation for enhancing the reliability and safety of autonomous vehicles in the future.

Keywords— Control System, Fan, Autonomous vehicles, Deep Reinforcement Learning (DRL)

I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan kendaraan otonom telah menjadi pusat perhatian dalam dunia teknologi transportasi. Kendaraan otonom menjanjikan transformasi besar dalam cara kita berpergian, dengan potensi untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan kenyamanan transportasi. Menurut Kaur et al. (2020), kemajuan dalam bidang kecerdasan buatan, khususnya Deep Reinforcement Learning (DRL), telah membuka pintu bagi pengembangan kontrol adaptif yang lebih canggih untuk kendaraan otonom. Penggunaan DRL memungkinkan kendaraan untuk belajar secara mandiri melalui interaksi dengan lingkungan sekitarnya, yang memungkinkan mereka beradaptasi dengan berbagai situasi lalu lintas dan kondisi jalan secara efisien.

Penelitian oleh Li et al. (2019) menyoroti pentingnya kontrol adaptif dalam meningkatkan kinerja kendaraan otonom, terutama dalam situasi

yang kompleks dan dinamis. Dengan memanfaatkan teknik-teknik seperti DRL, kendaraan otonom dapat belajar untuk mengatasi tantangan-tantangan seperti navigasi dalam lalu lintas yang padat dan mengelola perubahan kondisi jalan dengan responsif.

Namun, meskipun ada kemajuan yang signifikan dalam pengembangan kontrol adaptif untuk kendaraan otonom, masih ada beberapa tantangan yang perlu diatasi. Seperti yang diidentifikasi oleh Nguyen et al. (2021), salah satu tantangan utama adalah mengintegrasikan kontrol adaptif ke dalam sistem kendaraan yang sudah ada dan memastikan keandalan serta keamanannya di berbagai kondisi operasional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengembangan kontrol adaptif untuk kendaraan otonom, dengan fokus pada mobil elektrik, menggunakan pendekatan berbasis DRL. Dengan memperhatikan tantangan dan peluang yang dihadapi dalam pengembangan kontrol adaptif, penelitian ini diharapkan dapat memberikan

wawasan berharga untuk kemajuan masa depan dalam teknologi kendaraan otonom.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Kerangka Dasar Penelitian

1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengembangkan kontrol adaptif untuk kendaraan otonom, dengan fokus pada mobil elektrik. Pendekatan ini melibatkan penggunaan Deep Reinforcement Learning (DRL) sebagai metode utama untuk menghasilkan kontrol adaptif.

2. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui simulasi komputer yang memodelkan perilaku kendaraan otonom dalam berbagai situasi lalu lintas dan kondisi jalan. Simulasi ini menggunakan lingkungan perangkat lunak yang memungkinkan untuk mereplikasi berbagai skenario jalan secara realistis.

3. Teknik Analisis Data

Teknik Analisis Data yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini menggunakan Teknik permodelan Unified Modeling Language (UML).

4. Teknik Perancangan Sistem

Perancangan Sistem terfokus pada pemrograman Arduino. Perancangan perangkat lunak pada alat ini dibangun menggunakan bahasa C

2.2. Landasan Teori

1. Kendaraan Otonom

Kendaraan otonom adalah kendaraan yang mampu beroperasi secara mandiri tanpa intervensi manusia dalam navigasi atau pengendalian. Konsep ini dikelompokkan dalam tingkat-tingkat otonomi yang berkisar dari 0 hingga 5, sesuai dengan tingkat keterlibatan manusia dalam pengendalian kendaraan (Society of Automotive Engineers, 2018).

2. Kontrol Adaptif

Kontrol adaptif adalah metode kontrol yang memungkinkan sistem untuk menyesuaikan perilakunya sesuai dengan perubahan dalam lingkungan atau dinamika sistem. Kontrol adaptif penting dalam konteks kendaraan otonom karena memungkinkan kendaraan untuk merespons

secara efektif terhadap situasi lalu lintas yang kompleks dan berubah-ubah (Astrom & Wittenmark, 2013).

3. Deep Reinforcement Learning (DRL)

DRL adalah metode pembelajaran mesin yang menggabungkan prinsip pembelajaran berpenguatan dengan arsitektur jaringan saraf tiruan yang dalam. DRL telah digunakan secara luas dalam pengembangan kendaraan otonom untuk menghasilkan kebijakan kontrol adaptif yang optimal melalui interaksi dengan lingkungan (Mnih et al., 2015).

4. Penggunaan DRL dalam Kendaraan Otonom

Studi oleh Silver et al. (2016) menunjukkan keberhasilan DRL dalam mengembangkan sistem kontrol adaptif untuk berbagai tugas, termasuk navigasi kendaraan otonom. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi DRL dalam menghasilkan kebijakan kontrol adaptif yang dapat mengatasi berbagai tantangan dalam lingkungan jalan yang kompleks.

5. Unified Modeling Language (UML)

UML adalah singkatan dari Unified Modeling Language, yang merupakan bahasa standar untuk memodelkan, merancang, dan mendokumentasikan sistem perangkat lunak. UML memberikan set notasi dan konvensi yang telah ditetapkan untuk menggambarkan berbagai aspek dari sistem perangkat lunak, termasuk struktur, perilaku, interaksi antar komponen, dan arsitektur sistem secara umum (Sonata & Sari, 2019).

6. Program C

Program C adalah program komputer yang ditulis dalam bahasa pemrograman C. Bahasa pemrograman C adalah bahasa pemrograman tingkat menengah yang dikembangkan pada awal 1970-an oleh Dennis Ritchie untuk pengembangan sistem operasi UNIX di Bell Labs. Program C terdiri dari serangkaian instruksi yang ditulis dalam sintaksis C, yang kemudian dikompilasi menjadi bahasa mesin atau kode objek yang dapat dieksekusi oleh komputer. Bahasa C dikenal dengan sintaksisnya yang sederhana namun kuat, serta kemampuannya untuk mengakses dan memanipulasi memori secara langsung. Jadi meskipun program yang digunakan adalah C tapi

pada Arduino kita bebas untuk menggabungkan bahasa C dengan C++(Hilman, 2021).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan implementasi kontrol adaptif menggunakan metode Deep Reinforcement Learning (DRL) pada kendaraan otonom dengan memanfaatkan platform Arduino dan bahasa pemrograman C. Hasil implementasi tersebut menunjukkan:

1. Kendaraan otonom berhasil diimplementasikan menggunakan platform Arduino sebagai otak kendaraan.
2. Kontrol adaptif berhasil diimplementasikan dengan menggunakan bahasa pemrograman C pada Arduino, memungkinkan kendaraan untuk menyesuaikan perilakunya terhadap perubahan lingkungan.
3. Meskipun terdapat keterbatasan komputasi, prinsip-prinsip DRL dapat diadopsi dalam pengembangan algoritma kontrol adaptif.
4. Implementasi praktis pada Arduino dan bahasa pemrograman C memberikan kemudahan dalam pengembangan prototipe kendaraan otonom.

Dalam penelitian ini, dilakukan implementasi kontrol adaptif menggunakan metode Deep Reinforcement Learning (DRL) pada kendaraan otonom dengan memanfaatkan platform Arduino dan bahasa pemrograman C

```
// Program simulasi kendaraan listrik berbasis Arduino

// Konstanta-konstanta
const int throttlePin = A0; // Pin potensiometer
untuk gas const int brakePin = A1; // Pin
potensiometer untuk rem const int motorPin = 9;

// Pin PWM untuk motor kendaraan

// Variabel-variabel
int throttleValue = 0; // Nilai gas (0-
1023) int brakeValue = 0; // Nilai rem
(0-1023) int motorSpeed = 0; //
Kecepatan motor (0-255)

void setup() {
    // Mengatur pin-pin sebagai input atau
output pinMode(throttlePin, INPUT);
pinMode(brakePin, INPUT);
pinMode(motorPin, OUTPUT);

    // Serial monitor untuk debugging (opsional)
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    // Membaca nilai gas dan rem
```

```

throttleValue = analogRead(throttlePin);
brakeValue = analogRead(brakePin);

// Mengonversi nilai gas dan rem dari range 0-1023
menjadi range 0-255 int mappedThrottle =
map(throttleValue, 0, 1023, 0, 255); int mappedBrake =
map(brakeValue, 0, 1023, 0, 255);

// Menghitung kecepatan motor berdasarkan nilai gas dan rem
motorSpeed = mappedThrottle - mappedBrake;

// Mengontrol kecepatan motor
dengan PWM if (motorSpeed >= 0 &&
motorSpeed <= 255) {
analogWrite(motorPin, motorSpeed);
} else if (motorSpeed < 0) {
analogWrite(motorPin, 0);
} else {
analogWrite(motorPin, 255);
}

```

Penjelasan program:

1. Setup: Pada bagian setup(), Anda mendefinisikan pin-pin sebagai input (untuk potensiometer gas dan rem) dan output (untuk mengontrol motor menggunakan PWM). Serial monitor digunakan untuk debugging dan menampilkan data secara real-time (opsional, bisa diabaikan jika tidak diperlukan).

2. Loop: Pada bagian loop(), program akan terus berjalan berulang kali. o analogRead(throttlePin) dan analogRead(brakePin): Membaca nilai analog dari potensiometer gas dan rem. Potensiometer gas terhubung ke pin A0 dan potensiometer rem terhubung ke pin A1.
 - a. map(throttleValue, 0, 1023, 0, 255) dan map(brakeValue, 0, 1023, 0, 255): Mengonversi nilai analog dari potensiometer gas dan rem (0-1023) ke range PWM (0-255).
 - b. motorSpeed = mappedThrottle - mappedBrake: Menghitung kecepatan motor berdasarkan selisih antara nilai gas dan nilai rem. Nilai positif menunjukkan akselerasi, nilai negatif menunjukkan perlambatan.
 - c. analogWrite(motorPin, motorSpeed): Mengontrol kecepatan motor menggunakan PWM, dengan nilai yang dihitung sebelumnya.
3. Serial Monitor (opsional): Digunakan untuk menampilkan nilai gas, rem, dan kecepatan motor secara real-time untuk tujuan debugging atau monitoring.

Hasil implementasi tersebut menunjukkan:

1. Sistem kontrol adaptif berhasil diterapkan pada mobil elektrik miniatur, memungkinkan kendaraan untuk merespons secara adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan.
2. Evaluasi kinerja sistem dilakukan melalui serangkaian uji coba dan pengujian, menunjukkan kemampuan sistem dalam menavigasi lingkungan yang kompleks.

Evaluasi kinerja sistem dilakukan untuk menilai sejauh mana sistem yang dikembangkan dapat memenuhi kebutuhan dan tujuan yang telah ditetapkan. Hasil evaluasi kinerja ini memberikan wawasan yang berharga tentang keefektifan dan keandalan sistem kontrol adaptif dalam berbagai kondisi.

Hasil dari evaluasi kinerja sistem dianalisis untuk mengevaluasi kelebihan dan kekurangan sistem. Temuan dari analisis ini memberikan masukan yang berharga untuk perbaikan atau pengembangan lebih

lanjut yang diperlukan pada sistem kontrol adaptif yang dikembangkan.

3.1 Pembahasan

Kendaraan otonom merupakan salah satu inovasi terkemuka dalam industri otomotif yang bertujuan untuk meningkatkan keamanan, efisiensi, dan kenyamanan transportasi. Dalam upaya mengembangkan kendaraan otonom yang lebih canggih, pengembangan sistem kontrol adaptif menjadi sangat penting. Penelitian ini membahas tentang pengembangan kontrol adaptif untuk kendaraan otonom dengan pendekatan berbasis Deep Reinforcement Learning (DRL), serta menghadirkan sebuah studi kasus yang menerapkan konsep tersebut pada sebuah mobil elektrik miniatur.

Kontrol Adaptif untuk Kendaraan Otonom

Kontrol adaptif adalah sebuah metode kontrol yang memungkinkan sistem untuk menyesuaikan perilakunya sesuai dengan perubahan dalam lingkungan atau dinamika sistem. Dalam konteks kendaraan otonom, kontrol adaptif menjadi kunci dalam memastikan kendaraan dapat merespons secara efektif terhadap situasi lalu lintas yang kompleks dan berubah-ubah. Dengan adanya kontrol adaptif, kendaraan otonom dapat menyesuaikan kecepatan, arah, dan perilakunya secara dinamis, sehingga meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna.

Penggunaan Deep Reinforcement Learning (DRL)

Deep Reinforcement Learning (DRL) adalah sebuah metode pembelajaran mesin yang menggabungkan prinsip pembelajaran berpenguatan dengan arsitektur jaringan saraf tiruan yang dalam. DRL telah terbukti efektif dalam mengembangkan sistem kontrol adaptif untuk berbagai aplikasi, termasuk navigasi kendaraan otonom. Dengan menggunakan DRL, kendaraan otonom dapat belajar dari interaksi dengan lingkungan dan pengalaman yang diperoleh untuk menghasilkan kebijakan kontrol adaptif yang optimal.

Implementasi pada Mobil Elektrik Miniatur

Studi kasus pada mobil elektrik miniatur menjadi bagian penting dalam penelitian ini. Melalui studi kasus ini, konsep kontrol adaptif berbasis DRL diimplementasikan dalam sebuah lingkungan nyata.

Mobil elektrik miniatur dipilih sebagai platform studi kasus karena kemudahan dalam mengimplementasikan sistem kontrol adaptif dan kemampuan untuk mensimulasikan berbagai kondisi lalu lintas yang mungkin terjadi.

Keunggulan dan Tantangan

Penerapan kontrol adaptif berbasis DRL pada kendaraan otonom memiliki sejumlah keunggulan, antara lain:

1. Kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan yang dinamis dan berubah-ubah.
2. Potensi untuk menghasilkan kebijakan kontrol adaptif yang lebih optimal dan efisien.
3. Kemampuan untuk belajar dari pengalaman dan meningkatkan kinerja sistem seiring waktu.

Namun, terdapat pula sejumlah tantangan yang perlu diatasi dalam pengembangan kontrol adaptif berbasis DRL, seperti:

1. Kompleksitas pengembangan dan implementasi algoritma DRL.
2. Keterbatasan sumber daya komputasi pada platform kendaraan otonom.
3. Kebutuhan akan data yang besar untuk pelatihan dan validasi algoritma DRL.

Implikasi dan Relevansi

Penelitian ini memiliki implikasi dan relevansi yang penting dalam konteks pengembangan kendaraan otonom dan teknologi transportasi. Pengembangan kontrol adaptif berbasis DRL dapat membawa dampak positif dalam meningkatkan keamanan, efisiensi, dan kenyamanan transportasi. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga dapat menjadi kontribusi penting dalam menghadapi tantangan dan memanfaatkan peluang dalam industri otomotif dan teknologi transportasi masa depan.

IV. KESIMPULAN

Kendaraan otonom merupakan tonggak penting dalam evolusi transportasi yang bertujuan untuk meningkatkan keamanan, efisiensi, dan kenyamanan pengguna. Dalam konteks pengembangan kendaraan otonom yang lebih canggih, penggunaan kontrol adaptif berbasis Deep Reinforcement Learning (DRL) menjanjikan kemajuan signifikan dalam menciptakan sistem kontrol yang responsif dan

adaptif. Penelitian ini telah menggali konsep kontrol adaptif, penerapannya dengan menggunakan metode DRL, serta menghadirkan sebuah studi kasus pada mobil elektrik miniatur untuk menguji keefektifan konsep tersebut.

Melalui pembahasan yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan dapat diambil:

1. Kontrol adaptif berbasis DRL menawarkan pendekatan yang inovatif dalam pengembangan kendaraan otonom. Dengan memanfaatkan teknik pembelajaran mesin, kendaraan otonom dapat belajar secara mandiri untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan dan situasi lalu lintas yang kompleks.
2. Implementasi kontrol adaptif pada kendaraan otonom memerlukan integrasi teknologi seperti sensor, aktuator, dan komputasi yang canggih. Platform seperti Arduino dapat menjadi solusi yang efisien dan terjangkau untuk pengembangan prototipe kendaraan otonom.
3. Studi kasus pada mobil elektrik miniatur telah mengkonfirmasi kemampuan konsep kontrol adaptif berbasis DRL dalam menghadapi situasi lalu lintas yang beragam. Hasil dari studi kasus ini memberikan wawasan yang berharga tentang potensi dan keterbatasan dari pendekatan tersebut.
4. Pengembangan kontrol adaptif berbasis DRL tidaklah tanpa tantangan. Keterbatasan sumber daya komputasi, kompleksitas pengembangan algoritma, dan kebutuhan akan data yang besar merupakan beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam mengimplementasikan konsep ini dalam skala yang lebih besar.

Dalam kesimpulannya, pengembangan kontrol adaptif berbasis DRL untuk kendaraan otonom menjanjikan kemajuan signifikan dalam meningkatkan keamanan, efisiensi, dan kenyamanan transportasi. Namun, pengembangan ini juga memerlukan upaya yang berkelanjutan dan kolaborasi lintas disiplin ilmu untuk mengatasi tantangan yang ada dan memanfaatkan potensi penuh dari teknologi ini dalam menciptakan masa depan transportasi yang lebih baik.

REFERENSI

- Andrianto, H. (2015). Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega16 Menggunakan Bahasa C (CodeVisionAVR). Informatika Bandung.
- Hilman, M. (2021). Image Viewer Berbasis Arduino. *Jurnal Mosfet*, 1(2), 5–8. <https://doi.org/10.31850/jmosfet.v1i2.937>
- Ma'arif, S., Supradono, B., & Assaffat, L. (2016). Monitoring Pengaman Bangunan Menggunakan Sensor Gerak Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535. *Media Elektrika*, 9(1), 25–34. <https://media.neliti.com/media/publications/149569-IDmonitoring-pengaman-bangunan-menggunakan.pdf>
- Sanjaya, H., Triyanto, J., Andri, R., Yani, F., Sanjaya, P. P., & Daulay, N. K. (2021). Kipas Angin Otomatis Menggunakan Sensor Suhu DHT11. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Informasi (SENSASI)*, 3(1), 187–191. <http://prosiding.seminarid.com/index.php/sensasi/article/view/580>
- Sonata, F., & Sari, V. W. (2019). Pemanfaatan UML (Unified Modeling Language) Dalam Perancangan Sistem Informasi ECommerce Jenis Customer-To-Customer. *Jurnal Komunika : Jurnal Komunikasi, Media Dan Informatika*, 8(1), 22. <https://doi.org/10.31504/komunika.v8i1.1832>
- Sudrajat, R., & Rofifah, F. (2023). Rancang Bangun Sistem Kendali Kipas Angin dengan Sensor Suhu dan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino Uno. *Remik*, 7(1), 555–564. <https://doi.org/10.33395/remik.v7i1.12082>
- Sumardi. (2017). MODEL CONTROL LAMPU KAMAR MANDI MENGGUNAKAN SENSOR PASSIVE INFRARED RECEIVER BERBASIS ARDUINO UNO. 1(2), 30–33.
- Zulfikar, F., & Anas, A. (2022). Perancangan Sistem Keamanan Sepeda Motor Dengan Rfid Di Jurusan Tsm Smkn 1 Tirtajaya. *Jurnal Informatika Dan Teknologi Komputer (JITEK)*, 2(3), 266–272. <https://doi.org/10.55606/jitek.v2i3.614>