

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor listrik akhir-akhir ini mendapat banyak perhatian karena terus berkembangnya penerapannya di berbagai sektor industri seperti otomotif, dirgantara, mesin industri, dan peralatan konsumen. Sepeda motor mengkonsumsi sekitar 40% listrik dunia dan menyumbang sekitar 13% emisi karbon global. Pasar motor listrik diperkirakan akan mencapai \$169 miliar pada tahun 2026, dengan tingkat pertumbuhan tahunan sebesar 6,9% dibandingkan dengan perkiraan \$113 miliar pada tahun 2020. Besarnya pasar yang semakin besar Motor listrik menimbulkan tantangan yang signifikan dalam pengelolaan motor di akhir masa pakainya. . sepeda motor listrik. motivasi dan persyaratan untuk strategi yang tepat untuk bahan bernilai tinggi. (Tiwari et al., 2021)

Karakteristik motor listrik menentukan performa berkendara dan pengereman BEV (*Battery Electric Vehicle*), dan fungsi pengereman dapat dilakukan tanpa aktuator tambahan. Kecepatan reaksi motor listrik lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan reaksi aktuator hidrolik sistem pengereman gesekan, hal ini menunjukkan bahwa sistem pengereman motor listrik memiliki dua keunggulan yaitu respon cepat dan penundaan yang rendah. Oleh karena itu, pada saat pengereman, penggunaan motor listrik sebagai satu- satunya penggerak rem dapat mencapai kontrol torsi pengereman yang tepat dan meningkatkan karakteristik dinamis kendaraan. (He et al., 2020)

Mode pengereman yang paling banyak digunakan pada BEV adalah pengereman motor listrik kontrol terkoordinasi dan pengereman gesekan hidrolik. Namun, gaya pengereman regeneratif dengan cepat dihilangkan ketika BEV menghadapi kondisi pengereman darurat, sehingga energi rem yang didaur ulang menjadi lebih sedikit. Oleh karena itu, metode pengendalian terkoordinasi pada sistem pengereman BEV menghadapi banyak tantangan dalam hal dinamika kendaraan dan stabilitas pengereman. (He et al., 2020)

Sistem pengereman mobil listrik terdiri dari rem elektrik dan rem gesek. Dalam pengoperasian ABS, rem listrik dapat dinonaktifkan dan torsi pengereman penuh diterapkan oleh pengereman gesekan. Namun, untuk memaksimalkan pemulihan energi pengereman dan meningkatkan jangkauan EV, kedua rem tersebut dapat beroperasi bersama untuk mengerem kendaraan menggunakan algoritme distribusi torsi (Zhao et al., 2021).

Menurut undang-undang Uni Eropa, pengereman darurat tingkat lanjut didefinisikan sebagai sistem yang terdiri dari sensor eksternal dan modul kontrol yang mampu



deteksi potensi tabrakan dan mengaktifkan sistem pengereman mengurangi kecepatan kendaraan guna menghindari atau t. Istilah "Lanjutan", "Otomatis" dan "Otonom" dalam konteks untuk otonomi kendaraan tingkat rendah tampaknya digunakan Peraturan No. 131 Komisi Ekonomi Perserikatan Bangsa-Bangsa (E) mendefinisikan periode pengereman darurat sebagai periode

waktu yang dimulai ketika sistem AEB mengeluarkan permintaan pengereman untuk mengurangi kecepatan setidaknya minus 4 m/s² ke sistem rem utama kendaraan. Society of Automotive Engineers (SAE), dalam SAE J3016 (Vehicle Automation Levels), mendefinisikan pengereman darurat otomatis sebagai fungsi yang terbatas pada memberikan peringatan dan bantuan langsung pada kendaraan modern. (Gounis & Bassiliades, 2022)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana merancang sistem pengereman otomatis yang efektif untuk motor listrik menggunakan teknologi LiDAR?
2. Bagaimana analisa hasil simulasi dan eksperimen pengereman dan faktor-faktor yang mempengaruhi sistem pengereman otomatis?
3. Bagaimana analisis dan perhitungan alat pengereman otomatis menggunakan lidar?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem pengereman otomatis yang dapat diterapkan pada motor listrik menggunakan teknologi LiDAR.
2. Menganalisa hasil simulasi dan eksperimen pengereman dan faktor yang mempengaruhi sistem pengereman otomatis.
3. Menganalisis dan menghitung waktu henti berdasarkan variasi jarak deteksi dan kecepatan laju motor

1.3.2 Manfaat

Adapun hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi teman mahasiswa atau peneliti selanjutnya sebagai literatur dan referensi mengenai aplikasi teknologi LiDAR dalam sistem keselamatan kendaraan, khususnya pada motor listrik.

1.4 Batasan Masalah

Agar dalam penulisan penelitian ini lebih terarah, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah, yaitu:



Penelitian ini akan fokus pada penggunaan LiDAR sebagai sensor utama untuk sistem pengereman otomatis.

Motor listrik yang tersedia di laboratorium.

Uji coba alat dilaksanakan di area Laboratorium Robotics and

1.5 Landasan Teori

1.5.1 Motor Listrik

Dalam era modern, motor listrik memiliki peran yang krusial baik di sektor industri maupun aplikasi sipil. Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi penggerak listrik, misalnya pada kendaraan listrik (EV), permintaan akan motor listrik dengan spesifikasi unggul semakin meningkat. Spesifikasi ini mencakup kepadatan daya yang tinggi, kemampuan pembuangan panas yang efisien, serta keandalan operasi dalam berbagai kondisi lingkungan yang menantang. Berbagai inisiatif penelitian pun telah digalakkan untuk menciptakan motor listrik berkinerja tinggi, di antaranya melalui pemanfaatan material elektromagnetik mutakhir, penerapan algoritma kontrol modern, pengembangan model matematika yang kompleks, metode perhitungan numerik, dan penerapan teknik desain yang memanfaatkan kecerdasan buatan (Guo et al., 2023).

Khusus untuk motor traksi pada Kendaraan Listrik Baru (NEV), desainnya harus menyesuaikan dengan kondisi operasi yang lebih berat dibandingkan motor industri. Motor ini kerap beroperasi dengan mode yang bergantian antara fungsi penggerak dan pembangkit listrik. Industri otomotif menuntut karakteristik seperti frekuensi start-stop yang tinggi, kemampuan akselerasi dan deselerasi yang cepat, torsi besar pada kecepatan rendah serta daya tinggi pada kecepatan tanjakan, kepadatan daya tinggi, rentang operasi yang luas dengan efisiensi optimal, tingkat getaran dan kebisingan yang rendah, keandalan tinggi, dan rasio performa-harga yang kompetitif. Motor traksi beserta pengendali elektronik dayanya merupakan inti dari sistem konversi energi elektromekanis pada NEV (Cai et al., 2021). Oleh karena itu, sistem penggerak listrik untuk NEV umumnya harus memenuhi beberapa kriteria utama: (1) Kepadatan torsi tinggi disertai kontrol torsi yang presisi untuk mendukung kinerja dinamis kendaraan; (2) Keandalan dan daya tahan yang menjamin keselamatan dan umur pakai kendaraan; serta (3) Efisiensi tinggi di berbagai kondisi operasi dan rasio kinerja-biaya yang superior untuk efisiensi energi dan investasi (Sharma et al., 2020). Kajian terhadap teknologi motor traksi, pengendali daya, dan powertrain listrik beserta kelebihan, kekurangan, serta prospek pengembangannya, menjadi rujukan berharga bagi para peneliti dan insinyur yang berkecimpung dalam sistem powertrain NEV (Cai et al., 2021).

1.5.2 Sistem Pengereman

Sistem pengereman pada kendaraan darat memiliki fungsi fundamental untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan dengan tingkat keamanan maksimal dan jarak yang seminimal mungkin, sambil tetap menjaga stabilitas berbagai situasi. Pada sepeda motor, efektivitas sistem aruhi oleh beragam faktor, seperti parameter geometris, dan material komponen. Proses pengereman sepeda motor tersendiri yang membedakannya dari jenis kendaraan lain. ber dari geometrinya, yang meliputi jarak sumbu roda yang t massa yang tinggi, sehingga menyebabkan terjadinya transfer ng signifikan saat rem diaktifkan (Phalke & Agrewale, 2023).



Selain itu, terjadi pula reduksi pada gesekan samping (lateral) dan tingkat kekakuan ban saat melakukan manuver tikung. Kondisi ini berpotensi mengganggu kestabilan guling sepeda motor. Guna mencapai deselerasi tinggi tanpa mengorbankan stabilitas guling, diperlukan pembagian gaya rem yang proporsional antara roda depan dan belakang. Mengunci satu roda saja dapat menciptakan situasi kritis. Apabila roda belakang yang terkunci, area kontak ban (patch kontak) tidak lagi mampu menahan gerakan menyamping. Akibatnya, gangguan kecil seperti embusan angin atau permukaan jalan yang tidak rata dapat memicu penyimpangan arah roda belakang, yang kemudian menghasilkan momen guling di sekitar pusat massa dan memperbesar gerakan lateral roda tersebut. Sementara itu, jika roda depan yang terkunci, kemampuan pengendara untuk mengatur arah akan hilang sama sekali karena ban yang mengunci tidak dapat menghasilkan gaya yang diperlukan untuk membelok.

Dalam perkembangan literatur teknik, telah banyak diajukan berbagai strategi untuk mengatur distribusi gaya pengereman. Salah satu contohnya, penelitian Apurva Chakraborty pada tahun 2019 mengkaji potensi peningkatan performa melalui strategi distribusi yang responsif terhadap pembebanan pada motor. Kajian tersebut menyimpulkan bahwa menyesuaikan faktor distribusi gaya rem di roda depan memungkinkan tercapainya efisiensi pengereman maksimal sekaligus mempertahankan jarak pemberhentian terpendek. Sebelumnya, V. Cossalter pada tahun 2004 telah meneliti karakteristik perilaku sepeda motor selama pengereman dan turut mengajukan strategi distribusinya. Analisis manuver pengereman juga memperhitungkan perpindahan massa unsprung, yaitu komponen roda dan suspensi yang tidak ditopang pegas, di bagian depan dan belakang. Penerapan distribusi gaya rem yang ideal berpeluang untuk meringankan kompresi suspensi depan dan pada saat yang bersamaan mengurangi ekstensi berlebihan pada suspensi belakang. Pengembangan strategi distribusi gaya rem ini dapat dioptimalkan dengan memanfaatkan studi simulasi dinamika pengereman sepeda motor (Phalke & Agrewale, 2023).

Kemunculan teknologi Kendaraan Otonom (Autonomous Vehicle/AV) membuka peluang sangat besar dalam mencegah kecelakaan dengan meminimalkan faktor kesalahan manusia. Salah satu teknologi kunci dalam hal ini adalah Sistem Pengereman Darurat Otomatis (Autonomous Emergency Braking/AEB), yang diharapkan dapat meningkatkan keselamatan pejalan kaki dengan mengurangi frekuensi tabrakan yang melibatkan mereka. Dalam skenario dengan pejalan kaki, jika sensor kendaraan mendeteksi kemungkinan tabrakan, kendaraan akan secara otomatis mengerem. Beberapa studi telah dilakukan untuk mengukur manfaat



B. Rosen (2013) menggunakan data kecelakaan aktual untuk menganalisis pengaruh AEB terhadap tabrakan dengan pejalan kaki dan pesepeda. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan pengoptimalan sistem, teknologi ini dapat mengurangi hingga 52% kecelakaan yang melibatkan pejalan kaki dan pesepeda. Namun, faktor-faktor seperti sudut pandang (Field of View) dan desain sistem memiliki pengaruh signifikan terhadap keselamatan. Penelitian-penelitian sebelumnya mengindikasikan bahwa

efektivitas AEB menurun seiring dengan menyempitnya jarak pandang, karena kendaraan mungkin tidak memiliki cukup waktu untuk mendeteksi bahaya dan berhenti sepenuhnya sebelum tabrakan terjadi. Pada tahun 2019, Zhao dan rekan-rekannya merekonstruksi 40 kasus kecelakaan berdasarkan rekaman video dari insiden antara taksi dan pesepeda. Memahami reaksi pejalan kaki terhadap kendaraan yang dilengkapi AEB sangat penting untuk memodelkan perilaku mereka, yang merupakan aspek krusial dalam menganalisis kecelakaan pejalan kaki-kendaraan dan menyempurnakan sistem AEB. Schachner dkk. mengajukan sebuah metodologi untuk memahami perilaku pejalan kaki dengan mengintegrasikan data kecelakaan dan data geometrik jalan, lalu menggunakan temuan tersebut untuk meningkatkan sistem AEB. Sementara itu, Park dkk. mengembangkan sistem AEB dengan memperkirakan probabilitas pejalan kaki akan menyeberang berdasarkan posisi relatif mereka terhadap kendaraan. Tantangan lain yang dapat menurunkan kinerja sistem AEB adalah terhalangnya pejalan kaki oleh objek-objek lain, yang berdampak negatif pada proses deteksi (Abdel-Aty et al., 2022).

1.5.3 Light Detection and Ranging (LiDAR)

Sensor *Light Detection and Ranging* (LiDAR) menawarkan solusi dalam memperoleh informasi waktu-nyata mengenai lingkungan di sekitar kendaraan, sekaligus membuka peluang baru untuk meningkatkan keselamatan di jalan raya dalam beragam kondisi lalu lintas. Sebuah studi keselamatan lalu lintas mengungkapkan bahwa 57% kecelakaan disebabkan oleh kesalahan manusia, yang turut berkontribusi dalam lebih dari 90% total insiden. Integrasi teknologi mutakhir pada kendaraan dapat membantu mengurangi ketergantungan pada manusia dan memitigasi risiko kelelahan. Persepsi akurat terhadap lingkungan sekeliling merupakan prasyarat penting untuk mencapai tingkat otonomi kendaraan yang lebih tinggi.

Sebagian besar teknik deteksi dan klasifikasi kendaraan yang ada selama ini masih mengandalkan sensor statis, seperti *loop* induktif, radar gelombang mikro, serta kamera video yang dipasang di dalam atau di sepanjang badan jalan. Metode-metode ini umumnya bergantung pada sensor stasioner. Namun, teknologi tersebut memiliki keterbatasan dalam menyediakan pengukuran yang akurat atau data lintasan terperinci untuk keperluan deteksi dan pelacakan kendaraan. Akses terhadap data lalu lintas secara *real-time* akan meningkatkan kemampuan para praktisi dan peneliti dalam mengelola lalu lintas secara lebih efisien dan aman.

Beberapa tahun terakhir, pendekatan berbasis penglihatan—seperti penggunaan sensor kamera—telah banyak dimanfaatkan untuk mengumpulkan informasi



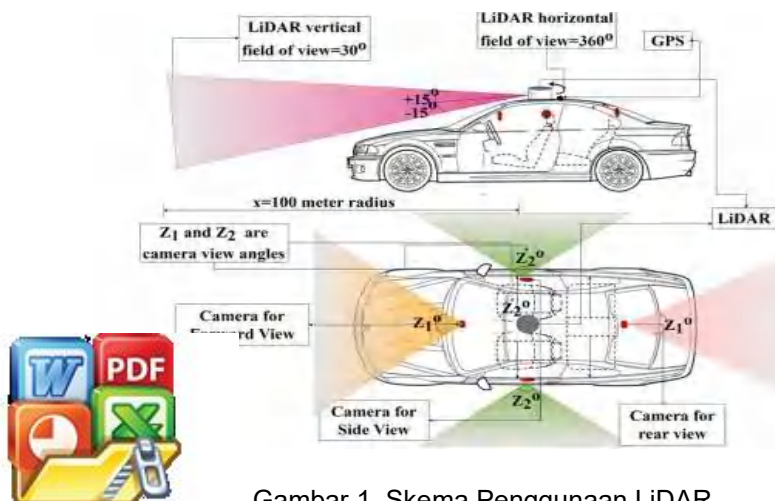
metode ini juga tidak lepas dari keterbatasan. Meskipun berhasil mengidentifikasi lingkungan sekitar kendaraan, menggunakan sensor LiDAR kelas tinggi yang menghasilkan data yang sangat padat. Di sisi lain, banyak penelitian yang menggunakan sensor LiDAR kelas rendah yang menghasilkan data yang kurang padat. Oleh karena itu, pendekatan ini masih perlu dikembangkan lebih lanjut. Salah satu tantangan adalah jumlah data yang dihasilkan sensor LiDAR yang sangat besar, yang memerlukan penyimpanan dan pemrosesan yang efisien. Pendekatan statis seperti ini banyak

dipilih karena menawarkan kemudahan dalam penyiapan dan pengumpulan data di lingkungan yang terkendali.

Perlu juga dicatat bahwa banyak penelitian tersebut berfokus pada penyelesaian tugas-tugas spesifik, seperti: (a) peningkatan deteksi titik permukaan tanah, (b) deteksi objek, atau (c) pelacakan objek. Empat tahapan utama dalam memahami dan memperoleh informasi detail dari lingkungan adalah segmentasi tanah, pengelompokan (*clustering*), klasifikasi, dan pelacakan (*tracking*). Deteksi permukaan tanah memiliki kepentingan ganda: pertama, pendekatannya dapat disamakan dengan deteksi rintangan; kedua, data permukaan tanah yang telah tersegmentasi dapat dimanfaatkan untuk perencanaan gerak kendaraan.

Analisis pengelompokan merupakan salah satu teknik pembelajaran tanpa pengawasan (*unsupervised learning*) yang mengelompokkan titik-titik data ke dalam sejumlah *cluster* yang berbeda. Setiap titik data yang merepresentasikan objek tertentu seharusnya tergabung dalam satu kelompok yang sama. Algoritma seperti K-means dan DBSCAN (*Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) merupakan pendekatan yang populer untuk melakukan pengelompokan objek dalam data LiDAR. Berbagai metodologi dan temuan telah dihadirkan dalam studi-studi mengenai klasifikasi kendaraan serta deteksi objek menggunakan LiDAR dan gabungan (*fusion*) dengan kamera. Sebagai contoh, Gao dkk. (2018) dari China menggunakan jaringan saraf tiruan CNN AlexNet untuk mengklasifikasikan objek dengan memadukan data dari kamera dan LiDAR dari basis data KITTI, dan berhasil mencapai akurasi hingga 96%.

Setelah objek berhasil dideteksi melalui proses segmentasi, pelacakan menjadi langkah berikutnya untuk menghubungkan informasi kendaraan di sekitarnya yang tertangkap pada setiap frame yang berurutan. Agar dapat memodelkan lingkungan secara dinamis, kendaraan harus secara konstan mengetahui keadaan kinematik di sekelilingnya—seperti posisi dan kecepatan objek (Gupta et al., 2024).



Gambar 1. Skema Penggunaan LiDAR
Sumber : (Gupta et al., 2024)



Keberagaman spesifikasi dan mutu pada perangkat sensor LiDAR memungkinkan adanya lebih banyak variasi dalam merancang sistem pengukuran jarak digital. Performanya dapat dievaluasi dengan mengamati respons sensor ketika objek yang diukur berada dalam kondisi tidak ideal, contohnya ketika objek tersebut dalam posisi miring. Faktor lain yang turut menentukan kualitas hasil pengukuran adalah tingkat ketepatan sensor dalam membaca jarak objek. Tingkat akurasi sensor berbanding lurus dengan besarnya selisih antara jarak aktual dan jarak yang terbaca oleh sensor LiDAR—semakin kecil selisihnya, semakin tinggi akurasi (Aziz dan Zakariyah, 2022).

1.5.4 TF-Mini S LiDAR Sensor

TFMini Plus, sensor LiDAR kecil namun bertenaga, dikenal karena fleksibilitasnya dan pengukuran jarak yang presisi. Meskipun ukurannya kompak, sensor ini dapat mengukur jarak dengan akurat dari 4 cm hingga 12 meter. Sensor ini unggul dalam mendeteksi hambatan dan mengukur jarak, bahkan di ruang yang sempit. Konsumsi daya yang rendah pada sensor ini memperpanjang umur operasionalnya tanpa mengorbankan akurasi. Sensor ini menggunakan teknologi Time-of-Flight untuk memancarkan pulsa cahaya inframerah dengan cepat, menghitung jarak dengan akurasi yang mengesankan. Analisis real-time ini memungkinkan fitur keamanan seperti penghindaran tabrakan dan pelacakan objek. Pada dasarnya, TFMini Plus adalah sensor LiDAR yang presisi, portabel, dan efisien, sangat penting untuk berbagai aplikasi di luar kendaraan otonom. (Reddy et al., 2025)



Gambar 2. TFMini-S LiDAR Sensor
(Sumber: Laboratorium *Control and Robotics*)

1.5.5 Mikrokontroler



Optimized using
trial version
www.balesio.com

rumah elektronik sumber terbuka yang didasarkan pada perangkat lunak yang mudah digunakan. Platform ini terdiri dari papan yang dapat diprogram (sering disebut sebagai mikrokontroler) dan IDE (*Integrated Development Environment*), yang berjalan di komputer dan digunakan untuk menulis dan mengunggah kode komputer ke

papan fisik. Papan Arduino dapat membaca input - seperti cahaya pada sensor, jari pada tombol, atau pesan Twitter - dan mengubahnya menjadi output - mengaktifkan motor, menyalakan LED, atau mempublikasikan sesuatu secara online. Anda dapat memberi tahu papan Anda apa yang harus dilakukan dengan mengirimkan serangkaian instruksi ke mikrokontroler di papan. Untuk melakukannya, Anda menggunakan bahasa pemrograman Arduino (berdasarkan *Wiring*) dan Perangkat Lunak Arduino (IDE), berdasarkan Pemrosesan (Banzi & Shiloh, 2014).

Platform Arduino telah menjadi sangat populer di kalangan orang-orang yang baru memulai dengan elektronik, dan untuk alasan yang bagus. Tidak seperti kebanyakan papan sirkuit yang dapat diprogram sebelumnya, Arduino tidak memerlukan perangkat keras yang terpisah (disebut programmer) untuk memuat kode baru ke dalam papan - Anda cukup menggunakan kabel USB. Selain itu, Arduino IDE menggunakan versi C++ yang disederhanakan, membuatnya lebih mudah untuk belajar memprogram. Terakhir, Arduino menyediakan faktor bentuk standar yang memecah fungsi-fungsi pengontrol mikro menjadi paket yang lebih mudah diakses (Margolis, 2011).



Gambar 3. Arduino
(Sumber: Laboratorium *Control and Robotics*)

Salah satu fitur utama Arduino adalah kemampuannya untuk merasakan lingkungan dengan menerima input dari berbagai sensor dan mempengaruhi lingkungannya dengan mengendalikan lampu, motor, dan aktuator lainnya. Mikrokontroler di papan diprogram menggunakan bahasa pemrograman Arduino (berdasarkan *Wiring*) dan lingkungan pengembangan Arduino (berdasarkan *Processing*). Proyek Arduino dapat berdiri sendiri atau dapat berkomunikasi dengan perangkat lunak yang berjalan di komputer (misalnya, *Flash*, *Processing*, *MaxMSP*)



ka dari proyek Arduino telah memfasilitasi komunitas pengguna kontribusi pada pengembangan platform. Dukungan komunitas untuk memecahkan masalah, berbagi proyek, dan memperluas at keras. Ada banyak forum, komunitas *online*, dan kelompok ana para penggemar dan profesional dapat saling bertukar ide

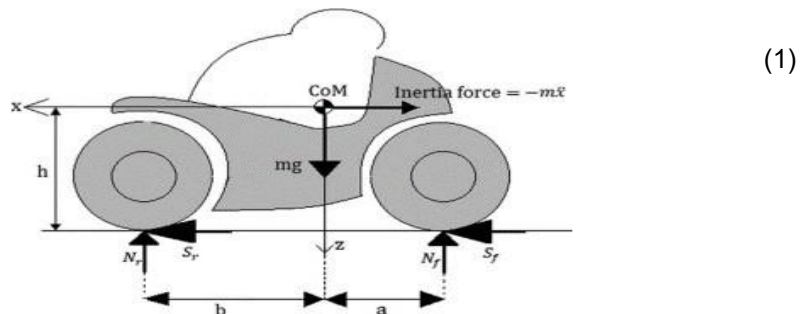
dan solusi. Lingkungan kolaboratif ini telah menghasilkan beragam pustaka dan contoh kode yang memudahkan para pemula untuk memulai proyek mereka sendiri (Oxer & Blemings, 2009).

Papan Arduino tersedia secara komersial dalam bentuk yang sudah dirakit sebelumnya, atau sebagai kit *do-it-yourself*. Spesifikasi desain perangkat keras tersedia secara terbuka, memungkinkan siapa saja untuk merakit papan Arduino versi mereka sendiri. Hal ini telah menyebabkan berkembangnya papan dan aksesori yang kompatibel dengan Arduino, memperluas ekosistem dan membuatnya semakin serbaguna. Fleksibilitas dan keterjangkauan Arduino telah menjadikannya pilihan populer untuk tujuan pendidikan, memungkinkan siswa untuk belajar tentang elektronik dan pemrograman secara langsung (McRoberts, 2010).

1.5.6 Perhitungan

1.5.6.1 Kinerja Pengereman

Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4, sebuah model sepeda motor yang disederhanakan di mana pengendara dan sepeda motor diperlakukan sebagai sebuah benda kaku tunggal digunakan untuk menggambarkan fenomena mendasar yang terjadi selama manuver pengereman. Dengan mengabaikan gaya hambat aerodinamis dan gaya hambatan gulir ban, persamaan dasar gerak dalam arah horisontal dan vertikal adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Model Sepeda Motor saat Pengereman.
(Sumber: Phalke & Agrewale, 2023)

$$S_r + S_f = m\ddot{x} = Stot \quad (1)$$

$$N_r + N_f = mg \quad (2)$$

$$N_f a + N_r b + Stot h = 0 \quad (3)$$



rce
rce
orce

mg : Mass Gravity
 h : Tinggi dari pusat massa
 N_r : Beban normal pada roda belakang
 N_f : Beban normal pada roda depan

Dengan menggunakan persamaan ini, ekspresi untuk beban normal pada setiap roda dapat diturunkan sebagai berikut :

$$N_f = mg \frac{b}{a+b} + m\ddot{x} \frac{h}{a+b} \quad (4)$$

$$N_r = mg \frac{a}{a+b} + m\ddot{x} \frac{h}{a+b} \quad (5)$$

Jika beban normal pada roda belakang mencapai nol, fenomena yang tidak diinginkan yang dikenal sebagai pengangkatan roda belakang dapat terjadi, sehingga perlambatan saat roda belakang terangkat ditetapkan sebagai kondisi pembatas untuk perlambatan maksimum selama manuver pengereman. Perlambatan maksimum dapat dinyatakan dalam istilah g sebagai berikut:

$$\ddot{x} < g \frac{a}{h} \quad (6)$$

Distribusi gaya rem dapat dengan mudah dipahami dengan memperkenalkan istilah, yang disebut sebagai keseimbangan rem δ yang merupakan rasio gaya pengereman di bagian belakang terhadap gaya pengereman total yang diperlukan selama manuver pengereman.

$$\delta = \frac{S_r}{S_{tot}} \quad (7)$$

Daya cengkram ban ditentukan oleh koefisien gesekan pada permukaan ban dan jalan dalam berbagai kondisi jalan. Akibatnya, koefisien gesekan, yang juga dikenal sebagai gaya pengereman yang dinormalisasi (rasio gaya pengereman terhadap beban normal pada roda), memiliki batas dan harus lebih kecil dari koefisien gesekan maksimum yang memungkinkan.

$$\mu_f = \frac{S_f}{N_f} < \mu_{fmax} \quad (8)$$

$$\mu_r = \frac{S_r}{N_r} < \mu_{rmax} \quad (9)$$



bagian depan
 bagian belakang

Dengan mengambil persamaan batas gesekan pada kedua roda, keseimbangan pengereman optimal dapat dijelaskan dengan persamaan berikut :

$$\delta_{opt} = \frac{a - h \frac{\ddot{x}}{g}}{a + b} \tag{10}$$

Dari persamaan (8),(9) dan (10) distribusi optimal braking force belakang dan depan dapat dijelaskan dengan persamaan berikut :

$$S_f = \frac{mgb + S_{tot}h}{a + b} * \frac{S_{tot}}{mg} \tag{11}$$

$$S_r = \frac{mga + S_{tot}h}{a + b} * \frac{S_{tot}}{mg} \tag{12}$$

1.5.6.2 Waktu Tanggap Sistem

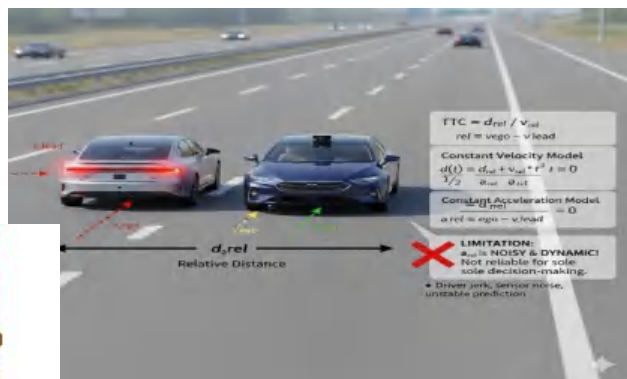
Salah satu faktor penting yang menentukan seberapa efektif intervensi dalam keadaan darurat adalah waktu tanggap total sistem pengereman darurat autonomous (AEB). Parameter ini menunjukkan jeda waktu kumulatif, atau jeda waktu, yang dihitung sejak saat sensor sistem, seperti radar atau kamera, secara fisik dapat mengidentifikasi kemungkinan tabrakan dan hingga aktuator rem dapat menghasilkan tekanan hidrolik yang cukup untuk menghasilkan deselerasi yang besar. Kinerja waktu tanggap ini sangat penting karena secara langsung memengaruhi perhitungan Time-to-Collision (TTC) dan ambang batas keputusan sistem: apakah tabrakan masih dapat dihindari sepenuhnya (tabrakan pencegahan) atau hanya dikurangi keparahannya (tabrakan pencegahan). (Winner & Hakuli, 2009)

$$TTC = \frac{d_{rel}}{v_{rel}} \tag{13}$$

Dimana :

d_{rel} : Jarak Relatif

v_{rel} : Kecepatan Relatif



ar 5. Model Skema Waktu Tanggap Sistem AEB. (Sumber: Gounis, 2022)

Meskipun model Akselerasi Konstan (CA) lebih canggih secara teoretis, ia memiliki beberapa masalah penting di dunia nyata. Dalam situasi nyata, hampir tidak pernah terjadi asumsi dasar bahwa akselerasi kedua kendaraan akan tetap konstan. Perilaku pengereman pengemudi di depan, yang dikenal sebagai jerk, dapat berubah secara instan. Selain itu, sangat sulit untuk mengukur akselerasi secara akurat menggunakan sensor, seperti kamera atau radar, karena data akselerasi cenderung berfluktuasi atau sangat "berisik". Karena ketergantungan berlebihan pada data yang tidak stabil ini, prediksi TTC yang tidak stabil juga dapat muncul, sehingga sistem AEB seringkali tidak digunakan sebagai satu-satunya dasar pengambilan keputusan.

Untuk itu, sistem yang lebih canggih menggunakan model Constant Acceleration (CA). Dalam model ini, TTC adalah solusi waktu yang positif dan terkecil dari persamaan gerak kuadrat berikut, yang mencari kapan jarak relatif menjadi nol :

$$d(t) = d_{rel} + v_{rel} * t + \frac{1}{2} a_{rel} * t^2 = 0 \quad (14)$$

Dimana :

a_{rel} : Akselerasi Relatif



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dimulai pada bulan Juni 2024 yang bertempat di Laboratorium *Control and Robotics*, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Adapun susunan jadwal penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uraian Penelitian

No	Kegiatan	Waktu Penelitian (2024-2025)					
		Juni	Juli	Agustus	April	Mei	Juni
1	Studi Literatur						
2	Penyusunan Proposal						
3	Seminar Proposal						
4	Penelitian:						
	a. Simulasi						
	b. Eksperimental						
5	Penyusunan Skripsi						
6	Seminar Hasil						
7	Seminar Tutup						



2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

1. 3d printer



Gambar 6. 3d printer

2. Motor Listrik



Gambar 7. Motor Listrik

3. Arduino Mega



Gambar 8. Arduino Mega



4. Breadboard



Gambar 9. Breadboard

5. TFMini-S 12M LiDAR Sensor



Gambar 10. TFMini-S 12M LiDAR Sensor

6. Brushless Controller



Gambar 11. Brushless Controller



7. Throttle Handle



Gambar 12. Throttle Handle

8. Servo 360 derajat



Gambar 13. Servo 360 derajat

9. Cakram dan Kaliper Rem Motor



Gambar 14. Cakram dan Kaliper Rem Motor





Gambar 15. Display UART 7 Inchi

11. Kabel jumper



Gambar 16. Kabel jumper

2.2.2 Bahan

1. *Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)*



Gambar 17. Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG)





Gambar 18. Besi *hollow*



Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan eksperimental dan simulasi untuk merancang, menganalisis, dan memvalidasi sistem pengereman otomatis pada motor listrik berbasis sensor LiDAR. Metode penelitian dirancang secara sistematis agar setiap tahapan dapat dilakukan dengan terstruktur, terukur, dan dapat diulang (repeatable). Secara garis besar, metodologi penelitian ini terbagi menjadi lima tahap utama, yaitu :

a. Studi Literatur dan Perancangan Konsep

Tahap awal dimulai dengan melakukan studi literatur yang mendalam terhadap penelitian terdahulu, jurnal internasional, buku teks, dan datasheet komponen yang relevan. Topik utama yang dikaji meliputi sistem pengereman kendaraan listrik, karakteristik sensor LiDAR TF-Mini S, pemrograman mikrokontroler Arduino, serta dinamika kendaraan selama pengereman. Hasil studi literatur digunakan untuk menyusun desain konseptual sistem, menentukan spesifikasi komponen, dan merumuskan algoritma kontrol yang akan diimplementasikan.

b. Perancangan dan Pembuatan Prototipe

Berdasarkan desain konseptual, prototipe sistem pengereman otomatis dirancang secara mekanis dan elektrik. Perancangan mekanis meliputi pembuatan housing sensor, bracket servo rem, dan struktur penopang menggunakan bahan PETG yang dicetak dengan *3D printer* serta besi hollow sebagai rangka utama. Sementara itu, perancangan elektrik melibatkan penyusunan diagram rangkaian yang menghubungkan sensor LiDAR TF-Mini S, Arduino Mega, servo motor, *brushless controller*, *throttle handle*, dan *display UART*. Integrasi komponen dilakukan di atas *breadboard* dengan menggunakan kabel jumper.

c. Pemrograman dan Simulasi Sistem

Tahap ini meliputi penulisan kode program pada Arduino IDE untuk mengatur logika deteksi objek, pemrosesan sinyal LiDAR, dan pengendalian servo rem. Selain itu, simulasi kinerja sistem dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan memodelkan dinamika kendaraan, respons pengereman, dan variabel lingkungan seperti kecepatan awal (15, 30, 45 km/jam) dan jarak deteksi objek (2–10 meter). Simulasi bertujuan untuk memprediksi waktu henti, jarak pengereman, dan stabilitas sistem sebelum pengujian fisik dilakukan.

d. Pengujian dan Eksperimental dan Pengumpulan Data

Prototipe yang telah dirangkai diuji di lingkungan terkendali, yaitu di area parkir Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan motor dan jarak deteksi objek penghalang. Data yang dicatat meliputi rasi sensor, konsistensi respons servo, dan error sistem. dilakukan secara repetitif untuk memastikan reliabilitas hasil.

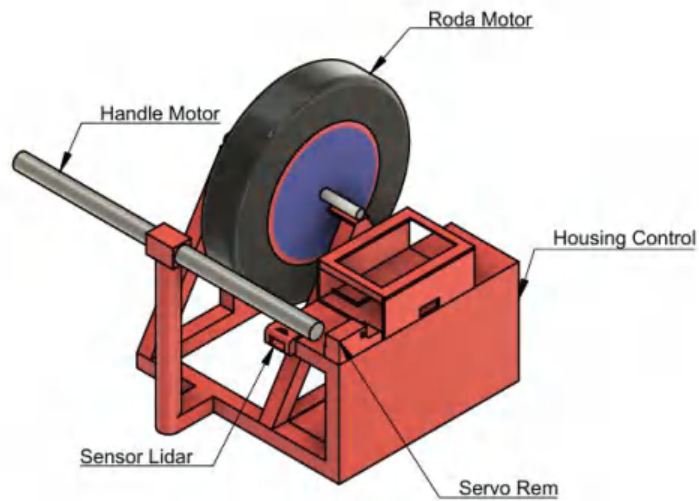
Validasi

rimen dibandingkan dengan hasil simulasi MATLAB untuk tingkat akurasi model yang dibuat. Analisis statistik sederhana menghitung persentase error dan konsistensi sistem. Hasil

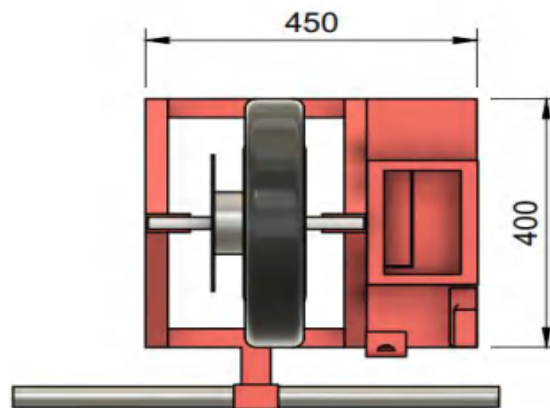


analisis ini menjadi dasar untuk menyimpulkan keefektifan sistem serta memberikan rekomendasi pengembangan di masa mendatang.

2.4 Desain Alat

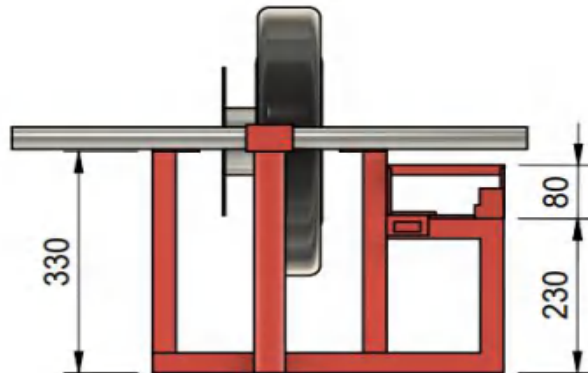


Gambar 19. Tampak Isometri Desain Alat

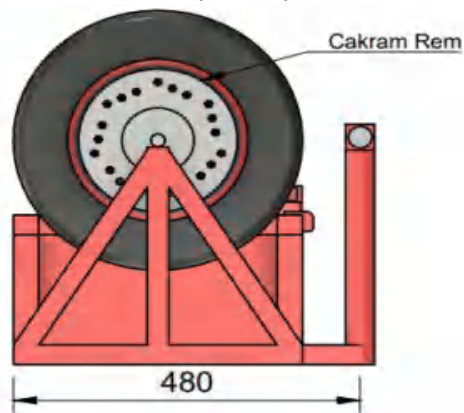


Gambar 20. Tampak Atas Desain Alat





Gambar 21. Tampak Depan Desain Alat



Gambar 22. Tampak Samping Desain Alat

Pada Gambar 19, 20, 21 dan 22 memperlihatkan desain alat sistem pengereman otomatis pada motor listrik menggunakan lidar dalam beberapa pandangan, yaitu tampak depan, tampak isometrik, tampak atas, dan tampak samping. Setiap dimensi ditampilkan dalam satuan milimeter untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai ukuran serta proporsi komponen utama alat.



2.5 Diagram Alir

Dalam pelaksanaan penelitian ini, ada beberapa kegiatan yang telah dijadwalkan untuk menyelesaikan penelitian tertera pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Diagram alir

