

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keselamatan berkendara merupakan prioritas utama pada sistem transportasi modern. Berbagai teknologi pengereman otomatis (*automatic braking*) dikembangkan untuk meminimalkan tabrakan melalui deteksi dini hambatan dan pemberian gaya pengereman secara tepat waktu. Di sisi lain, kebutuhan solusi biaya terjangkau dan mudah diintegrasikan pada platform eksisting mendorong pemanfaatan sensor jarak sederhana dan aktuator mekanis yang andal.

Salah satu aktuator yang banyak digunakan adalah linear aktuator, yaitu perangkat yang mengonversi energi (listrik, hidrolik, atau pneumatik) menjadi gerak linier untuk mendorong/menarik beban dengan presisi. Pada rancangan berbasis listrik, motor menggerakkan poros dan mekanisme transmisi (sekrup/roda gigi) untuk menghasilkan perpindahan batang/slider; sedangkan pada sistem fluida, tekanan mendorong piston di dalam silinder. Kombinasi komponen motor, transmisi, rumah (*casing*), dan sistem umpan balik seperti encoder memungkinkan pengaturan posisi, kecepatan, dan gaya sesuai kebutuhan aplikasi [1]. Di sisi persepsi jarak, sensor ultrasonik seperti JSN-SR04T banyak dipilih karena harga yang relatif murah dan kemudahan integrasi. Namun, akurasinya dapat terpengaruh interferensi lingkungan (variasi suhu, kondisi permukaan objek, kebisingan akustik), serta keterbatasan waktu respons pada aplikasi *real-time* yang menuntut deteksi cepat dan stabil [2][3]. Keterbatasan ini, jika tidak ditangani, dapat menyebabkan estimasi jarak yang berfluktuasi sehingga keputusan pengereman menjadi tidak konsisten.

Untuk meningkatkan reliabilitas estimasi, kalman filter lazim diterapkan pada berbagai sistem berbasis sensor-aktuator guna menyaring *noise* dan menghasilkan estimasi keadaan (*state*) yang lebih akurat [4]. Sejak diperkenalkan pada tahun 1960, pendekatan ini terbukti efektif, namun pada implementasi lapangan tetap memerlukan penyesuaian terhadap gangguan lingkungan dan karakteristik sensor agar performanya optimal [5]. Sementara itu, pada sisi pengendalian aktuator, pemetaan hubungan jarak dan aksi pengereman yang cepat

dapat diwujudkan melalui lookup table (LUT) hasil kalibrasi. LUT menyederhanakan komputasi *real-time* karena sistem cukup melakukan pengindeksan terhadap pasangan nilai jarak-parameter kendali (mis. panjang ekstensi atau kecepatan gerak aktuator) tanpa memecahkan model matematis kompleks setiap saat [6].

Berdasarkan uraian tersebut, celah permasalahan yang muncul adalah bagaimana merancang sebuah sistem pengereman otomatis yang tetap ekonomis dan mudah diadopsi, mampu meningkatkan akurasi estimasi jarak dari sensor ultrasonik yang rentan *noise*, dan melakukan pengambilan keputusan kendali aktuator secara cepat serta konsisten di kondisi nyata.

Penelitian ini mengusulkan integrasi sensor JSN-SR04T dan linear aktuator 12V yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno R3, dengan kalman filter sebagai pengolah sinyal untuk meningkatkan akurasi estimasi jarak, serta lookup table sebagai strategi pemetaan cepat dari jarak terukur ke parameter kendali aktuator. Dalam arsitektur yang diusulkan, data jarak *real-time* dari JSN-SR04T disaring oleh Kalman Filter guna menekan pengaruh *noise*/lingkungan, kemudian LUT menentukan posisi/gaya/kecepatan aktuator yang diperlukan untuk menghasilkan gaya pengereman mekanis sesuai kondisi kedekatan objek [4][7]. Diharapkan, pendekatan terpadu ini mampu meningkatkan responsivitas dan keandalan pengereman otomatis pada skenario kendaraan khususnya kendaraan listrik serta memberikan *trade-off* yang baik antara kinerja, kompleksitas, dan biaya implementasi.

1.2 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Dalam tahap ini, penelitian akan diuraikan secara singkat sebagai bentuk memperkuat alasan mengapa penelitian ini dilakukan. Tabel 1.1 adalah referensi jurnal penelitian sejenis yang dilakukan beberapa peneliti sebelumnya.

Tabel 1.1 Referensi Penelitian

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul
1.	Jesús Antonio Nava Pintor, Miriam A. Carlos Mancilla, Héctor A. Guerrero-Osuna, Luis F. Luque Vega, Rocío Carrasco Navarro, Salvador Castro Tapia, Marcela E. Mata Romero, Luis E. González Jiménez and Luis Octavio Solís Sánchez	2023	Design, Implementation, and Control of a Linear Electric Actuator for Educational Mechatronics [1].
2.	Tahiyatul Asfihani, Fadia Nila Sihan Novita Lutfiani, Subchan	2024	Adaptive Kalman Filter for Automated Actuator Fault Diagnosis in Unmanned Surface Vehicle [8].
3.	Raghav Malik, Vedant Paranjape, Milind Kulkarni	2024	Circuit Optimization using Arithmetic Table Lookups [9].
4.	Ruspita Sihombing, Rony H, Novita Indriani	2024	Perancangan Rem Otomatis Pada Sistem Alat Angkut Kelapa Sawit di Lahan Berkemiringan Lebih Dari 30° Menggunakan Mesin Pancang Tarik [10].
5	A. R. Priadi, R. A. Safitri, T. B. Pratama, and U. Latifa	2025	Comparison of accuracy and precision of distance readings on HC-SR04, JSN-SR04T, and A02YYUW ultrasonic sensors [11].

Penelitian [1] berfokus pada pengembangan dan implementasi aktuator linier elektrik sebagai alat pendidikan untuk mempelajari konsep mekatronika, khususnya kinematika, dalam lingkungan pembelajaran interaktif. Sistem ini mengintegrasikan motor DC 12V dengan enkoder, sekrup timbal, kamera USB untuk umpan balik visual, serta pengontrol fuzzy yang diimplementasikan melalui Arduino dan *driver* L298N untuk mencapai kontrol posisi yang presisi. Dengan memanfaatkan algoritma penglihatan komputer untuk pelacakan posisi secara *real-time*, aktuator ini memungkinkan validasi empiris terhadap model teoritis. Validasi dilakukan melalui eksperimen laboratorium yang menunjukkan keakuratan sistem dalam mendemonstrasikan gerak linier seragam, sekaligus mendukung kerangka konseptual mekatronika pendidikan (EMCF). Pendekatan ini memberikan peningkatan signifikan dalam pembelajaran aktif, memungkinkan siswa untuk memahami hubungan antara teori dan praktik dengan biaya rendah dan desain modular yang mudah direplikasi.

Penelitian [8] berfokus pada pengembangan dan validasi algoritma *Adaptive Kalman Filter* (AKF) untuk estimasi kesalahan aktuator pada kendaraan permukaan tak berawak (USV). Penelitian ini menyoroti pentingnya pemantauan aktuator dalam memastikan operasi otonom yang aman dan andal, terutama ketika sensor pemantau khusus tidak tersedia. Melalui analisis numerik dan eksperimen langsung pada USV yang mengalami kegagalan aktuator, efektivitas metode AKF dalam meningkatkan estimasi kesalahan aktuator ditunjukkan secara komprehensif.

Penelitian [9] berfokus pada optimasi sirkuit menggunakan pendekatan tabel pencarian aritmatika untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja desain sirkuit digital. Dengan memanfaatkan metode berbasis tabel pencarian, penelitian ini mengusulkan teknik untuk mengurangi kompleksitas komputasi dan latensi dalam operasi aritmatika pada sirkuit. Pendekatan ini memungkinkan penggantian operasi aritmatika kompleks dengan pencarian cepat pada tabel yang telah dioptimalkan, sehingga meningkatkan kecepatan dan efisiensi daya. Validasi dilakukan melalui simulasi dan pengujian pada *platform* perangkat keras, yang menunjukkan bahwa metode yang diusulkan memberikan peningkatan signifikan dalam performa sirkuit

dibandingkan dengan teknik optimasi konvensional, baik dari segi kecepatan maupun konsumsi daya.

Penelitian [10] berfokus pada perancangan sistem rem otomatis untuk alat angkut kelapa sawit di lahan berkemiringan lebih dari 30° , dengan tujuan meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional. Dengan memanfaatkan mesin pancang tarik sebagai mekanisme pengereman, penelitian ini mengusulkan pendekatan yang mengintegrasikan sensor kemiringan dan aktuator mekanis untuk mendeteksi sudut kemiringan secara *real-time* dan mengaktifkan rem secara otomatis. Validasi dilakukan melalui pengujian prototipe di lingkungan lahan miring, yang menunjukkan bahwa sistem rem otomatis yang diusulkan mampu memberikan respons cepat dan andal, sehingga meningkatkan stabilitas alat angkut dan mengurangi risiko kecelakaan pada kondisi medan yang menantang.

Penelitian [11] berfokus pada perbandingan akurasi dan presisi pembacaan jarak pada tiga jenis sensor ultrasonik, yaitu HC-SR04, JSN-SR04T, dan A02YYUW, untuk menentukan kinerja masing-masing dalam aplikasi pengukuran jarak. Dengan memanfaatkan metode eksperimental, pengujian dilakukan di dalam ruangan pada rentang jarak 25-70 cm, dengan setiap variasi data diulang sebanyak lima kali untuk memastikan konsistensi. Validasi dilakukan melalui analisis data yang membandingkan hasil pembacaan sensor dengan jarak aktual, menunjukkan bahwa JSN-SR04T memiliki akurasi tertinggi dengan rata-rata kesalahan 1.28%, diikuti oleh A02YYUW, sementara HC-SR04 menunjukkan kesalahan rata-rata 2.48%. Penelitian ini menegaskan bahwa JSN-SR04T lebih unggul dalam hal akurasi dan presisi, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran jarak yang andal di lingkungan yang menantang.

Berdasarkan tinjauan penelitian terdahulu, terlihat bahwa teknologi seperti Kalman Filter, pengontrol fuzzy, dan tabel pencarian aritmatika telah banyak diterapkan untuk meningkatkan akurasi, efisiensi, dan keselamatan dalam sistem mekatronika dan kontrol. Namun, integrasi spesifik antara sensor ultrasonik JSN-SR04T dan aktuator linier untuk mendukung pengereman otomatis dengan optimasi melalui Kalman Filter dan lookup table masih belum banyak dieksplorasi.

Penelitian [1] menunjukkan keberhasilan aktuator linier elektrik dalam pendidikan mekatronika, tetapi tidak berfokus pada pengereman otomatis. Penelitian [8] dan [9] masing-masing membahas AKF untuk estimasi kesalahan aktuator dan optimasi sirkuit, namun tidak mengintegrasikan sensor ultrasonik. Penelitian [10] merancang rem otomatis untuk lahan miring, tetapi menggunakan sensor kemiringan, bukan ultrasonik. Penelitian [11] membuktikan akurasi JSN-SR04T, tetapi tidak mengaitkannya dengan aktuator linier atau pengereman. Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan merancang dan mengimplementasikan sistem pengereman otomatis berbasis sensor JSN-SR04T dan aktuator linier, dioptimalkan menggunakan Kalman Filter dan lookup table.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah untuk penelitian tugas akhir ini, dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang lookup table yang efisien untuk memetakan data jarak yang telah disaring oleh kalman filter ke parameter kontrol linear aktuator?
2. Bagaimana kinerja sensor jarak JSN-SR04T dan linear actuator untuk mendukung pengereman otomatis berbasis Kalman filter dan lookup table?

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendukung sistem pengereman otomatis menggunakan sensor jarak JSN-SR04T & linear aktuator yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno, untuk menentukan tingkat pengereman berdasarkan data sensor jarak.

1. Merancang sistem untuk mendukung pengereman otomatis menggunakan sensor jarak JSN-SR04T dengan penerapan metode kalman filter dan lookup table berbasis mikrokontroler.
2. Menganalisis kinerja dari linear aktuator dalam mendeteksi jarak pergerakannya dengan penerapan metode kalman filter dan lookup table.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis

Manfaat akademis dalam penelitian ini yang akan memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang teknologi sistem pengereman otomatis berbasis linear aktuator. Dengan mengaplikasikan sebuah metode kalman filter dan lookup table dalam pengolahan data sensor jarak, penelitian ini dapat memperkaya referensi akademis mengenai peningkatan akurasi sistem kontrol berbasis sensor. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam penggunaan linear aktuator dan sensor jarak JSN-SR04T untuk aplikasi otomotif, serta mengembangkan pemahaman lebih lanjut tentang penerapan algoritma yang dapat diadaptasi untuk penelitian selanjutnya.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini memiliki manfaat praktis meningkatkan keselamatan dan efisiensi pada kendaraan otonom, robot, atau perangkat IoT, sistem ini memanfaatkan sensor ultrasonik JSN-SR04T untuk mendeteksi hambatan secara *real-time*, diproses dengan kalman filter untuk akurasi jarak bebas *noise*, dan direspons cepat melalui linear aktuator dengan pengambilan keputusan berbasis lookup table, sehingga mengurangi risiko tabrakan, menghemat energi, dan mendukung aplikasi seperti ADAS murah, *smart wheelchair*, atau robot industri, sekaligus berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan peningkatan aksesibilitas bagi penyandang disabilitas, menjadikannya solusi relevan untuk era otomatisasi dan Industri 4.0.

1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

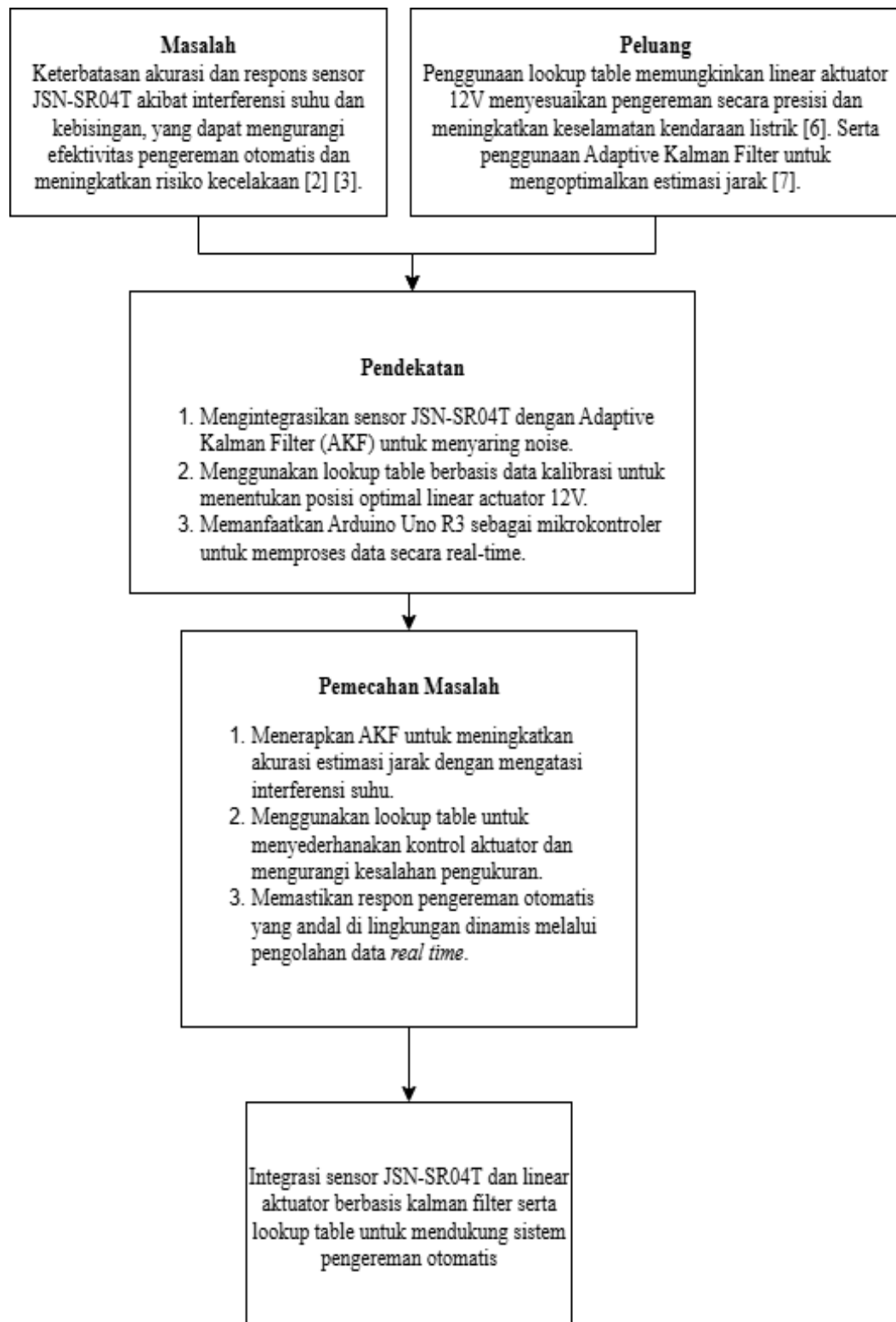
1. Kalman filter hanya diterapkan untuk menyaring *noise* pada data jarak dari sensor JSN-SR04T, tanpa melibatkan sensor tambahan seperti lidar, kamera, atau radar.

2. Linear aktuator digunakan sebagai penggerak mekanisme rem dengan gaya dorong maksimal sesuai spesifikasi tertentu dan tidak mencakup aktuator jenis lain.
3. Penelitian ini tidak membahas pengaruh lingkungan eksternal yang mungkin memengaruhi kinerja sistem pengereman, seperti cuaca, medan jalan, atau gangguan elektromagnetik pada sensor, serta hanya menguji kinerja sistem dalam kondisi simulasi terbatas.

1.7 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir membahas tentang alur pemikiran yang memuat uraian sistematis, informasi hasil perumusan masalah penelitian, dan hasil penelusuran yang disajikan dengan pendekatan alur logis penelitian, dengan *grand design structur* penelitian yang akan dilakukan dengan pendekatan untuk menyelesaikan suatu masalah. Kerangka berpikir penelitian ini dapat dijelaskan pada Gambar 1.1.





Gambar 1.1 Kerangka Berfikir Penelitian.

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan suatu tahap penyusunan data dan penulisan dalam suatu laporan yang terdiri dari 6 bab agar dapat menghasilkan penulisan yang baik, diantaranya sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan tentang latar belakang, tinjauan penelitian terdahulu, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, kerangka pemikiran, dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Pada bab ini, akan dijelaskan teori-teori dasar yang mendasari penelitian mengenai rancang bangun sistem pengereman kendaraan listrik menggunakan linear aktuator, sensor jarak JSN-SR04T, mikrokontroler Arduino Uno, sistem pengereman dengan metode filter kalman dan lookup table. Untuk dapat memahami konsep dasar yang diterapkan dalam penelitian ini serta bagaimana komponen-komponen tersebut bekerja bersama dalam menghasilkan sistem pengereman otomatis yang efektif.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian mengenai analisis dan implementasi sistem pengereman kendaraan listrik menggunakan linear aktuator, sensor jarak JSN-SR04T, dan mikrokontroler Arduino Uno, dengan metode filter kalman dan lookup table. Metode yang digunakan adalah pendekatan eksperimen dengan perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis sistem pengereman otomatis berbasis sensor jarak.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Pada bab ini dibahas secara rinci mengenai proses pengujian dan implementasi dari sistem pengereman otomatis yang dirancang. Sistem ini dapat memanfaatkan linear aktuator sebagai aktuator mekanik dan sensor jarak JSN-SR04T sebagai alat pendeteksi objek di depan kendaraan. Selain itu, diterapkan

metode kalman filter untuk menyaring dan menghaluskan data jarak yang diperoleh dari sensor guna meningkatkan akurasi sistem dan lookup table untuk pengambilan keputusan linear aktuator.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini menyajikan hasil dari pengujian sistem pengereman otomatis yang telah dilakukan. Data yang diperoleh dari pengujian dikompilasi dan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam merespons jarak terhadap objek. Hasil menunjukkan bahwa penerapan kalman filter secara signifikan meningkatkan kestabilan data sensor JSN-SR04T, terutama dalam kondisi lingkungan yang kurang ideal. Dengan data yang lebih stabil, sistem dapat menentukan keputusan pengereman dengan lebih akurat dan tepat waktu. Analisis juga dilakukan terhadap waktu respon aktuator, persentase kesalahan dalam pengukuran jarak, serta efisiensi sistem dalam menghentikan kendaraan pada jarak aman.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi penutup yang mencakup kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan atau penelitian selanjutnya.

