PERBANDINGAN KALMAN FILTER DAN EXPONENTIAL MOVING AVERAGE PADA SENSOR ULTRASONIK DI SMART WASTE ATM

ANDY WIJAYA
H1051211040

SKRIPSI

PROGRAM STUDI REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

PERBANDINGAN KALMAN FILTER DAN EXPONENTIAL MOVING AVERAGE PADA SENSOR ULTRASONIK DI SMART WASTE ATM

ANDY WIJAYA
H1051211040

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Rekayasa Sistem Komputer

PROGRAM STUDI REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Perbandingan Kalman Filter dan Exponential Moving Average pada Sensor Ultrasonik di Smart Waste ATM
Nama Mahasiswa	: Andy Wijaya
NIM	: H1051211040
Jurusan/Program Studi	: Rekayasa Sistem Komputer
Tanggal Lulus	: 24 Juni 2025
SK Pembimbing	: No. 3681/UN22.8/TD.06/2024/11 November 2024
SK Penguji /Tanggal	: No. 1858/UN22.8/TD.06/2025/23 Juni 2025

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Suhardi, S.T., M.Eng.	Kartika Sari, S.Kom., M.Cs.
NIP. 198606182020121006	NIP. 199206162022032014

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Irma Nirmala, S.T., M.T.	Tedy Rismawan, S.Kom., M.Cs.
NIP. 198404052019032015	NIP. 198609222014041002

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Suhardi, S.T., M.Eng.	Kartika Sari, S.Kom., M.Cs.
NIP. 198606182020121006	NIP. 199206162022032014

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP. 197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Andy Wijaya
NIM	: H1051211040
Program Studi/ Jurusan	: Rekayasa Sistem Komputer
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 24 Juni 2025



Andy Wijaya

H1051211040

PERBANDINGAN KALMAN FILTER DAN EXPONENTIAL MOVING AVERAGE PADA SENSOR ULTRASONIK DI SMART WASTE ATM

ABSTRAK

Pemantauan ketinggian sampah di tempat penampungan masih banyak dilakukan secara manual, sehingga kurang efisien dalam mencegah sampah menumpuk sebelum ditangani. Penggunaan sensor ultrasonik menjadi solusi umum karena praktis dan terjangkau, namun rentan terhadap gangguan noise dari lingkungan maupun perangkat keras, yang menyebabkan ketidakstabilan data. Untuk mengatasi masalah tersebut, diterapkan metode pemrosesan data menggunakan *Kalman Filter* dan *Exponential Moving Average* (EMA). *Kalman Filter* menggabungkan estimasi sebelumnya dengan data terbaru secara iteratif, sedangkan EMA menghitung rata-rata secara berulang dengan memberikan bobot lebih besar pada data terbaru. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja kedua metode dalam meningkatkan akurasi pembacaan sensor ultrasonik pada sistem *smart waste* ATM. Melalui analisis data, diperoleh nilai variansi error dalam Kalman Filter sebesar R=608,9648062 dan variansi *noise* sebesar Q=447,7902023. Untuk EMA sendiri, smoothing factor ditentukan sebesar α=0,8. Hasil perbandingan berdasarkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) menunjukkan bahwa *Kalman Filter* memberikan hasil lebih akurat. Pada sensor ultrasonik 1, RMSE *Kalman Filter* sebesar 45,88 dibandingkan EMA 46,29 dan data sensor 48,84. Pada sensor ultrasonik 2, RMSE *Kalman Filter* sebesar 68,86 dibandingkan EMA 73,23 dan data sensor 78,16. *Kalman Filter* terbukti lebih optimal dibanding EMA dalam meningkatkan keandalan pembacaan sensor ultrasonik untuk sistem pemantauan ketinggian sampah pada sistem *smart waste* ATM.

Kata kunci: *Kalman Filter*, *Exponential Moving Average*, sensor ultrasonik, ketinggian sampah, filter data.

COMPARISON OF KALMAN FILTER AND EXPONENTIAL MOVING AVERAGE ON ULTRASONIC SENSOR IN SMART WASTE ATM

ABSTRACT

Monitoring the height of waste in shelters is still mostly done manually, making it less efficient in preventing waste from overflowing before it is handled. The use of ultrasonic sensors is a common solution because it is practical and affordable, but it is vulnerable to noise interference from the environment and hardware, which causes data fluctuations. To overcome this problem, a data processing method using Kalman Filter and Exponential Moving Average (EMA) is applied. Kalman Filter combines previous estimates with the latest data iteratively, while EMA calculates the average iteratively by giving greater weight to the latest data. This research aims to compare the performance of the two methods in improving the accuracy of ultrasonic sensor readings in smart waste ATM systems. Through data analysis, the value of error variance in Kalman Filter is R=608.9648062 and noise variance is Q=447.7902023. For EMA itself, the smoothing factor is determined as α=0.8. The comparison results based on the Root Mean Square Error (RMSE) value show that the Kalman Filter provides more accurate results. At ultrasonic sensor 1, the RMSE of Kalman Filter is 45.88 compared to EMA 46.29 and sensor data 48.84. In ultrasonic sensor 2, the RMSE of Kalman Filter is 68.86 compared to EMA 73.23 and sensor data 78.16. Kalman Filter is proven to be more optimal than EMA in improving the reliability of ultrasonic sensor readings for waste height monitoring system in smart waste ATM system.

Keywords: *Kalman Filter, Exponential Moving Average, ultrasonic sensor, waste height, data filter.*

PRAKATA

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul "Perbandingan Kalman Filter dan Exponential Moving Average pada Sensor Ultrasonik di Smart Waste ATM" sebagai syarat bagi penulis untuk mendapatkan gelar Sarjana Komputer (S. Kom) pada Jurusan Rekayasa Sistem Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak.

Semua hasil yang diperoleh ini tidak terlepas dari segala dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang tidak pernah berhenti mendorong penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Sebagai penghargaan dari penulis, izinkanlah penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Untuk kedua orang tua yang selalu menjadi sumber kekuatan, dengan doa yang tak pernah putus, kasih yang tak pernah pudar, dan semangat yang selalu mengiringi setiap langkah saya, dari awal perjalanan hingga tercapainya titik ini.
2. Bapak Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak.
3. Bapak Tedy Rismawan, S.Kom., M.Cs., selaku Ketua Jurusan Rekayasa Sistem Komputer FMIPA Universitas Tanjungpura Pontianak juga sebagai dosen penguji kedua yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing, memberikan nasehat serta motivasi dalam menyelesaikan skripsi.
4. Bapak Suhardi, S. T., M. Eng., sebagai dosen pembimbing pertama yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penulisan skripsi.
5. Ibu Kartika Sari, S. Kom., M.Cs., sebagai dosen pembimbing kedua yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penulisan skripsi.
6. Ibu Irma Nirmala, S. T., M. T., sebagai dosen penguji pertama yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing, memberikan nasehat serta motivasi dalam menyelesaikan skripsi.

7. Yessa Tria Anggraini atas kesabaran, dukungan, semangat, serta segala bantuan yang telah diberikan dalam berbagai hal, yang sangat berarti dan turut membantu terselesaikannya tugas akhir ini.
8. Teman-teman saya Apriansyah, Dwifikus Jero, Naufal Raihan Elriza, Shabran Tri Mauliansyah, Devin Sanyoka yang senantiasa menemani, membantu, memberi semangat, dan selalu hadir saat dibutuhkan.
9. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam proses perkuliahan.
10. Semua pihak yang terlibat langsung maupun yang tidak langsung dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih memiliki kekurangan dan belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca.

Pontianak, 24 Juni 2025



Andy Wijaya

NIM. H1051211040

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK iii
ABSTRAK iv
ABSTRACT v
PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR KODE PROGRAM xiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB 2 LANDASAN TEORI 6
2.1 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu 6
2.2 NodeMCU ESP32 8
2.3 Sensor Ultrasonik 8
2.4 *Exponential Moving Average* (EMA) 8
2.5 *Kalman Filter* 9
2.6 Variansi 10
2.7 *Root Mean Squared Error* (RMSE) 10
2.8 Arduino IDE 11
2.9 *Hypertext Preprocessor (PHP)* 11
BAB 3 METODE PENELITIAN 12
3.1 Studi Literatur 12
3.2 Analisis Kebutuhan 13
3.3.1 Kebutuhan Perangkat Keras 13

3.3.2 Kebutuhan Perangkat Lunak 13
3.3 Perancangan Sistem 13
3.4 Implementasi 14
3.5 Pengujian Sistem 14
3.6 Data Hasil Pengujian 15
3.7 Kesimpulan dan Saran 15
BAB 4 PERANCANGAN 16
4.1 Deskripsi Sistem 16
4.2 Perancangan Arsitektur Sistem 16
4.3 Perancangan Perangkat Keras 17
4.4 Perancangan Perangkat Lunak 18
4.4.1 Perancangan perangkat lunak pada NodeMCU ESP32 18
4.4.2 Perancangan Antarmuka *Website* 19
4.5 Perancangan Basis Data 21
4.5.1 Tabel *login* 21
4.5.2 Tabel sampah_*ultrasonic*1 21
4.5.3 Tabel sampah_*ultrasonic*2 22
4.6 Perancangan Pengujian *Black Box* 23
BAB 5 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN 24
5.1 Implementasi Sistem 24
5.2 Implementasi Perangkat Keras 24
5.3 Implementasi Perangkat Lunak 24
5.3.1 Implementasi Antarmuka Halaman *Login* Pengguna 25
5.3.2 Implementasi Antarmuka Halaman *Dashboard Ultrasonic1* 25
5.3.3 Implementasi Antarmuka Halaman *Dashboard Ultrasonic2* 26
5.4 Kode Program 26
5.5 Pengujian 32
5.5.1 Menentukan Nilai R (Variansi *Error* Sensor) 33
5.5.2 Menentukan Nilai Q (Variansi *Noise* Proses) 34
5.5.3 Menentukan *Smoothing Factor* (α) 37
5.5.4 Pengujian Sistem 41
5.5.5 Pengujian *Black Box* 47

5.6 Pembahasan 48
BAB 6 PENUTUP 50
6.1 Kesimpulan 50
6.2 Saran 50
DAFTAR PUSTAKA 51
LAMPIRAN 53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 NodeMCU ESP32 8
Gambar 2.2. Sensor ultrasonik HC-SR04 8
Gambar 2.3 *Exponential Moving Average* (EMA) 9
Gambar 2.4 Algoritma *Kalman Filter* 10
Gambar 3.1 Diagram Metode Penelitian 12
Gambar 4.1 Rancangan Arsitektur Sistem 17
Gambar 4.2 Perancangan Pada Sensor Pendeteksi Ketinggian Sampah 18
Gambar 4.3 Diagram Alir NodeMCU ESP32 untuk Sensor *Ultrasonic* 18
Gambar 4.4 Antarmuka Halaman *Login* 19
Gambar 4.5 Antarmuka Halaman *Ultrasonic* Satu 20
Gambar 4.6 Antarmuka Halaman Pilih Lokasi Pengguna 20
Gambar 4.7 Rancangan Basis Data 21
Gambar 5.1 Implementasi Perangkat Keras 24
Gambar 5.2 Implementasi Antarmuka Halaman *Login* Pengguna 25
Gambar 5.3 Implementasi Antarmuka Halaman *Dashboard Ultrasonic1* 25
Gambar 5.4 Implementasi Antarmuka Halaman *Dashboard Ultrasonic2* 26
Gambar 5.5 Pengukuran dengan meteran 42
Gambar 5.6 Grafik Pengujian *Ultrasonic* 1 45
Gambar 5.7 Grafik Pengujian *Ultrasonic* 2 47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian 6
Tabel 4.1 Koneksi Pin NodeMCU ESP32 dan Sensor *Ultrasonic* 17
Tabel 4.2 Tabel *Login* 21
Tabel 4.3 Tabel sampah_ultrasonic1 22
Tabel 4.4 Tabel sampah_ultrasonic2 22
Tabel 4.5 Skenario Pengujian *Black Box* 23
Tabel 5.1 Pencarian Nilai R 33
Tabel 5.2 Hasil Q Iterasi 1 35
Tabel 5.3 Pencarian Nilai Q 36
Tabel 5.4 Hasil Filter EMA 0,3 38
Tabel 5.5 Hail pencarian *smoothing factor* (α) 39
Tabel 5.6 Pengujian *Ultrasonic* 1 43
Tabel 5.7 Pengujian *Ultrasonic* 2 45
Tabel 5.8 Tabel Pengujian *Black Box* 48

DAFTAR KODE PROGRAM

Kode Program 5.1 *Header* NodeMCU ESP32 27
Kode Program 5.2 *Void Setup* pada NodeMCU ESP32 28
Kode Program 5.3 *Void sendData* pada NodeMCU ESP32 30
Kode Program 5.4 *Void Loop* 31
Kode Program 5.5 Mencari Q 37
Kode Program 5.6 Mencari α 40

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan sampah yang efisien menjadi tantangan penting di berbagai lingkungan, termasuk di area publik seperti kampus, perkantoran, dan permukiman. Salah satu aspek kritis dalam pengelolaan sampah adalah pemantauan ketinggian sampah di dalam tempat penampungan. Selama ini, pemantauan ketinggian sampah masih banyak dilakukan secara manual, yang tidak hanya memakan waktu tetapi juga tidak efektif dalam mencegah potensi sampah menumpuk sebelum dilakukan penanganan. Hal ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kebersihan lingkungan serta efisiensi sistem pengelolaan sampah (Pratama et al., 2024).

Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan sensor ultrasonik sebagai alat ukur ketinggian sampah menjadi solusi yang umum diterapkan. Sensor ultrasonik adalah sensor jarak yang menggunakan gelombang suara ultrasonik untuk mendeteksi objek di depannya. Penginderaan sensor jarak ultrasonik bekerja dengan cara yang mirip dengan cara kelelawar mendeteksi objek. Cara kerjanya adalah dengan pemancar (*transmitter*) yang mengirimkan gelombang ultrasonik, kemudian gelombang ultrasonik tersebut dipantulkan oleh benda dan gelombang ultrasonik yang dipantulkan tersebut diterima oleh penerima (*receiver*) pada perangkat sensor ultrasonik (Arifin et al., 2022). Setelah membahas prinsip kerja sensor ultrasonik, penting juga untuk memahami keterbatasan yang dimilikinya. Sensor ultrasonik diketahui memiliki kekurangan berupa sensitivitas terhadap noise. Gangguan ini dapat berasal dari kondisi lingkungan, seperti pantulan yang tidak merata, perubahan suhu, dan getaran, atau dari perangkat keras yang digunakan. *Noise* ini menyebabkan ketidakstabilan data pengukuran yang dapat mengurangi keandalan sistem dalam memberikan informasi ketinggian sampah secara akurat dan konsisten (Nugroho et al., 2021).

Mengatasi permasalahan tersebut, perlu diterapkan teknik pemrosesan sinyal atau *filtering* data yang mampu mereduksi noise dan menstabilkan hasil pembacaan sensor. Kalman Filter merupakan metode yang banyak digunakan dalam pengolahan data sensor karena kemampuannya dalam memprediksi nilai

sebenarnya dari suatu parameter berdasarkan data pengukuran yang diterima dan model sistem yang dimiliki (Anwari et al., 2021). Metode ini bekerja secara iteratif dengan menggabungkan estimasi sebelumnya dan data terbaru untuk menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan stabil. Kalman Filter cocok untuk sistem pemantauan waktu diskrit, seperti sensor ultrasonik kontinu, karena dapat menyesuaikan estimasi secara real-time terhadap perubahan lingkungan.

Sebagai bahan perbandingan dalam penelitian ini, digunakan juga metode *Exponential Moving Average* (EMA) yang memiliki struktur perhitungan yang lebih ringkas. EMA merupakan teknik penyaringan data yang menghitung rata-rata secara berulang (*moving average*) dengan memberikan bobot lebih besar pada data terbaru. Sifat ini memungkinkan EMA untuk merespons perubahan nilai secara lebih cepat dan membantu mereduksi noise pada data sensor yang berubah secara dinamis (Muammar, 2022). Dengan pendekatan yang ringan secara komputasi dan mudah diimplementasikan pada perangkat mikrokontroler, EMA menjadi metode yang dapat dibandingkan dengan Kalman Filter dalam konteks peningkatan akurasi pembacaan sensor ultrasonik. Selain Kalman Filter, EMA juga dapat digunakan sebagai metode untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor ultrasonik.

Penelitian sebelumnya yang berjudul "Implementasi Filter Kalman Pada Sensor Jarak Berbasis Ultrasonik" (Nugroho et al., 2021). Pada penelitian ini, algoritma Filter Kalman digunakan pada sensor ultrasonik. Filter tersebut dibuat untuk mengatasi *noise* pengukuran dari sensor. Analisa data menunjukkan bahwa variabel standar deviasi pengukuran memiliki penurunan yang signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai rata-rata dari standar deviasi dari kelima pengujian turun dari 0.3831 menjadi 0.0173 atau mengalami penurunan sekitar 95,5%.

Penelitian lain berjudul "Penerapan Metode *Exponential Moving Average* (EMA) Sebagai *Noise Reduction* Untuk Pembacaan Sinyal Analog Pada Mikrokontroler" (Muammar, 2022). Metode yang digunakan untuk mereduksi *noise* pada board mikrokontroler adalah metode *exponential moving average* (EMA) atau pemulusan eksponensial. Penerapan metode EMA atau metode exponential smoothing telah berhasil mengurangi *noise* yang terjadi pada saat pembacaan nilai analog pada mikrokontroler Arduino. Pada penelitian ini, semakin kecil nilai α yang digunakan, semakin stabil pembacaan analognya.

Penelitian selanjutnya yang berjudul "Sistem Pemilah Menggunakan Conveyor dan Pemantauan Ketinggian Sampah Logam, Anorganik, dan Organik Berbasis Internet of Things" (Gessel et al., 2023). menggunakan sistem pembacaan deteksi jenis sampah, penerapan sistem pemilah menggunakan conveyor dan motor servo, dan implementasi pemantauan ketinggian sampah oleh sensor ultrasonik HC-SR04. NodeMCU ESP32 sebagai pengendali keseluruhan sistem. Sensor *proximity* induktif, kapasitif, dan optik untuk deteksi jenis sampah, motor servo untuk pemilahan. Antarmuka website digunakan untuk pemantauan tempat sampah dari jarak jauh. Pengujian pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 mendapatkan nilai error sebesar 2,517% untuk ultrasonik HC-SR04 1, nilai error sebesar 1,9315% untuk ultrasonik HC-SR04, dan nilai error sebesar 2,176% untuk ultrasonik HC-SR04.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan serta merujuk pada penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini dikembangkan untuk membandingkan kinerja metode Kalman Filter dan Exponential Moving Average (EMA) dalam memfilter data dari sensor ultrasonik yang digunakan untuk memantau ketinggian sampah pada sistem ATM Sampah. Perbandingan kedua metode ini bertujuan untuk mengetahui metode mana yang mampu memberikan hasil pengukuran yang lebih akurat dan stabil. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi metode filtrasi terbaik yang tidak hanya meningkatkan keakuratan data, tetapi juga mendukung efisiensi dan keandalan sistem dalam pengelolaan sampah berbasis teknologi, khususnya di lingkungan kampus.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, permasalahan yang terdapat pada penelitian ini adalah:

1. Berapa perbedaan akurasi data sensor setelah penerapan *Kalman Filter* dan *Exponential Moving Average* pada sensor ultrasonik dalam pengukuran jarak?
2. Apa metode yang lebih optimal dalam meningkatkan akurasi sensor ultrasonik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perbedaan akurasi data sensor setelah penerapan *Kalman Filter* dan *Exponential Moving Average* pada sensor ultrasonik dalam pengukuran jarak.

2. Mengetahui metode yang lebih optimal dalam meningkatkan akurasi sensor ultrasonik.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penerapan *Kalman Filter* dan *Exponential Moving Average* dilakukan pada sensor *Ultrasonic*.
2. Fokus pengukuran dibatasi pada ketinggian sampah.
3. Pengujian fokus pada akurasi setelah penerapan *Kalman Filter* dan *Exponential Moving Average*.
4. Penelitian fokus pada perbandingan optimalisasi menggunakan metode *Kalman Filter* dan *Exponential Moving Average*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah peningkatan akurasi sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur volume sampah dalam mesin ATM Sampah. Dengan akurasi yang lebih tinggi, sistem dapat memberikan notifikasi yang tepat saat sampah sudah penuh. Bagi pengelola mesin, sistem yang lebih akurat akan mengurangi kebutuhan untuk pemeliharaan dan penyesuaian manual, serta memberikan data yang lebih tepat untuk analisis. Perbandingan antara dua metode juga bermanfaat bagi peneliti selanjutnya dalam membantu mengambil keputusan terkait metode yang perlu digunakan. Dengan demikian, penelitian ini berpotensi menjadi solusi yang lebih optimal dalam mendukung pengelolaan sampah.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi 6 bab agar permasalahan dapat dijelaskan dan diuraikan untuk menyelesaikan penelitian ini. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan tentang beberapa teori pendukung yang digunakan sebagai landasan untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan tugas akhir ini. Adapun teori tersebut yaitu teori terkait NodeMCU ESP32, sensor *ultrasonic*, Kalman filter, *Exponential Moving Average, Internet of Things*, arduino IDE, laravel, *Hypertext Preprocessor* (PHP).

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan uraian yang lebih rinci tentang metode penelitian dalam studi literatur, pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan kesimpulan.

BAB 4 PERANCANGAN

Bab ini berisikan tentang tahap perancangan dari sistem yang akan dibangun. Dalam perancangan sistem terdapat deskripsi sistem, perancangan arsitektur sistem, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, perancangan basis data dan perancangan pengujian black box.

BAB 5 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang proses implementasi sistem yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Tahapan ini terdiri dari implementasi sistem, implementasi perangkat keras, implementasi perangkat lunak, kode program, pengujian, dan pembahasan dari sistem yang telah dibuat.

BAB 6 PENUTUP

Bab penutup merupakan bab yang membahas tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran terhadap masalah yang belum terselesaikan untuk dapat diperbaiki dan dikembangkan pada penelitian berikutnya.