IMPLEMENTASI *KALMAN FILTER* UNTUK OPTIMASI SISTEM PENDETEKSI ARAH KIBLAT BAGI DISABILITAS

ADITYA RIZKY PRATAMA
H1051191055

SKRIPSI

JURUSAN REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

IMPLEMENTASI *KALMAN FILTER* UNTUK OPTIMASI SISTEM PENDETEKSI ARAH KIBLAT BAGI DISABILITAS

ADITYA RIZKY PRATAMA
H1051191055

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

JURUSAN REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Implementasi *Kalman Filter* untuk Optimasi Sistem Pendeteksi Arah Kiblat bagi Disabilitas
Nama Mahasiswa	: Aditya Rizky Pratama
NIM	: H1051191055
Jurusan/Program Studi	: Rekayasa Sistem Komputer
Tanggal Lulus	: 14 Juli 2026
SK Pembimbing	: No.3931/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/Tgl. 8 Juli 2026
SK Penguji	: No.3948/DST/UN22.8/DT.00.09/2026/Tgl. 9 Juli 2026

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Tedy Rismawan, S.Kom., M.Cs.	Rahmi Hidayati, S.Kom., M.Cs.
NIP. 198609222014041002	NIP. 198607202015042001

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Irma Nirmala, S.T., M.T.	Suhardi, S.T., M.Eng.
NIP. 198404052019032015	NIP. 198606182020121006

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Tedy Rismawan, S.Kom., M.Cs.	Rahmi Hidayati, S.Kom., M.Cs.
NIP. 198609222014041002	NIP. 198607202015042001

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	:	Aditya Rizky Pratama
NIM	:	H1051191055
Program Studi/ Jurusan	:	Rekayasa Sistem Komputer
Fakultas	:	Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir 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 tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 14 Juli 2026



Aditya Rizky Pratama
NIM. H1051191055

Implementasi *Kalman Filter* untuk Optimasi Sistem Pendeteksi Arah Kiblat bagi Disabilitas

Abstrak

Penentuan arah kiblat secara presisi adalah kebutuhan esensial umat Islam, namun menjadi tantangan tersendiri bagi penyandang disabilitas sensorik yaitu tunanetra dan tunarungu. Perangkat penunjuk arah digital konvensional yang ada belum sepenuhnya mudah diakses dan rentan terhadap fluktuasi derau (*noise*) medan magnet lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan purwarupa sistem navigasi kiblat portabel berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pro yang mengimplementasikan *Kalman Filter*. Titik koordinat pengguna diakuisisi menggunakan *Global Positioning System* (GPS) U-Blox NEO-M8N, lalu dikomputasi melalui *Spherical Trigonometry* untuk menentukan azimut kiblat. Orientasi arah dideteksi oleh sensor kompas magnetometer IST8310 yang ditapis dengan *Kalman Filter*. Instruksi navigasi kemudian disampaikan secara aksesibel melalui panduan suara (DFPlayer Mini) dan indikator teks visual (OLED). Pengujian sistem dievaluasi melalui skenario statis dalam mode USB untuk penalaan parameter dan skenario dinamis dalam mode portabel untuk fungsional. Hasil pengujian statis menunjukkan bahwa data mentah terbukti jauh lebih presisi untuk modul GPS karena limitasi komputasi *floating-point* 32-bit mikrokontroler justru memicu lonjakan galat ekstrem saat iterasi *Kalman Filter*. Sebaliknya, pada sensor kompas di area tertutup, algoritma ini sukses menurunkan nilai galat *Root Mean Square Error* (RMSE) secara signifikan dari 2,01° menjadi 1,41°, dengan hasil komputasi azimut kiblat yang sangat stabil pada angka 0,73°. Pada pengujian dinamis mode portabel, tingkat keberhasilan sistem melonjak drastis hingga mencapai 100% berkat implementasi filter tersebut. Pencapaian ini membuktikan bahwa penalaan algoritma telah berhasil mengatasi kendala waktu penetapan (*settling time*) dan mampu mengompensasi ketiadaan sensor kemiringan (*tilt compensation*). Kesimpulannya, sistem pendeteksi arah kiblat ini terbukti akurat, presisi, dan andal untuk memandu pengguna yang merupakan muslim disabilitas tunanetra dan tunarungu ke arah kiblat secara mandiri.

Kata Kunci: *Kalman Filter*, Kiblat, Disabilitas, Sensor Kompas, GPS.

Implementation of Kalman Filter to Optimize the Qibla Direction Detection System for People with Disabilities

Abstract

Precise Qibla direction determination is an essential requirement for Muslims, yet it poses a distinct challenge for individuals with sensory disabilities, namely the blind and the deaf. Existing conventional digital direction-pointing devices are not yet fully accessible and remain highly susceptible to environmental magnetic field noise fluctuations. This research aims to develop a portable Qibla navigation system prototype based on the Arduino Mega 2560 Pro microcontroller implementing a Kalman Filter. The user's coordinate points are acquired using a U-Blox NEO-M8N Global Positioning System (GPS), then computed through Spherical Trigonometry to determine the Qibla azimuth. Directional orientation is detected by an IST8310 magnetometer compass sensor filtered with a Kalman Filter. Navigation instructions are then delivered accessibly through voice guidance (DFPlayer Mini) and visual text indicators (OLED). System testing was evaluated through static scenarios in USB mode for parameter tuning and dynamic scenarios in portable mode for functional testing. Static test results indicate that raw data is proven to be significantly more precise for the GPS module because the 32-bit floating-point computation limitations of the microcontroller trigger extreme error spikes during Kalman Filter iterations. Conversely, on the compass sensor in indoor areas, this algorithm successfully and significantly reduced the Root Mean Square Error (RMSE) value from 2.01° to 1.41°, with the Qibla azimuth computation results remaining highly stable at 0.73°. In portable-mode dynamic testing, the system's success rate surged drastically to 100% due to the filter implementation. This achievement demonstrates that algorithm tuning has successfully resolved settling time constraints and compensated for the absence of a tilt sensor (tilt compensation). In conclusion, this Qibla direction detection system is proven to be accurate, precise, and reliable in independently guiding blind and deaf Muslim users toward the Qibla.

Keywords: *Kalman Filter, Qibla, Disability, Compass Sensor, GPS.*

PRAKATA

Alhamdulillah. Segala puji dan syukur kepada Allah Ta'ala atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Implementasi *Kalman Filter* untuk Optimasi Sistem Pendeteksi Arah Kiblat bagi Disabilitas" sebagai syarat mutlak bagi penulis untuk dapat memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom.) di Jurusan Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura, Pontianak. Sebagai ungkapan penghargaan, perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Jamhari dan Ibu Sumiaty—kedua orang tua penulis—dan juga saudara Azril Rifqi Winanda, yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan moril maupun materil kepada penulis hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura.
3. Bapak Tedy Rismawan, S.Kom., M.Cs., selaku Dosen Pembimbing Skripsi pertama, yang telah membimbing, memberikan segenap masukan serta dukungan positif kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
4. Ibu Rahmi Hidayati, S.Kom., M.Cs., selaku Ketua Jurusan Rekayasa Sistem Komputer sekaligus Dosen Pembimbing Skripsi kedua, yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, serta dukungan kepada penulis.
5. Bapak Ikhwan Ruslianto, S.Kom., M.Cs., selaku Dosen Pembimbing Akademik, yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan kepada penulis sejak awal perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
6. Ibu Irma Nirmala, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji pertama yang telah banyak memberikan masukan dan saran kepada penulis dalam tahap penyelesaian penulisan skripsi.
7. Bapak Suhardi, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji kedua yang telah banyak memberikan masukan dan saran kepada penulis dalam tahap penyelesaian penulisan skripsi.

8. Bapak dan Ibu Dosen, serta segenap staf Jurusan Rekayasa Sistem Komputer FMIPA UNTAN.
9. Saudara: Raehan, Safuan, Rafli, Mor, Ariza, Reza, Didi, Yogi, Ragil, David, Alba, Trio, Afif, Arya, Rizal, Uray, Wuryan, dan segenap teman E-nter 2019 yang telah bersama dalam meraih dan memperjuangkan gelar S.Kom. ini.
10. Saudari: Reni, Irma, Lilik, dan Riska, yang sedikit banyaknya telah turut membantu memberikan segenap ide perihal skripsi ini kepada penulis.
11. Sahabat-sahabat serta semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam memberikan semangat, motivasi, serta menemani penulis di masa-masa penyelesaian skripsi.
12. Teman-teman UKM Forum Keluarga Mahasiswa Islam (FKMI) Fikri FMIPA UNTAN periode kepengurusan 2020–2022, khususnya akh: Irwan, Fajar, Arya, Dzaki; ukht: Mulia, Indry, Salsa, Ayu, Berta, Wiha, Nani, Chacha, Nanda, Soniya, dan Fila, yang dahulu pernah berbagi pengalaman dalam menjalankan dan menunaikan amanah organisasi di kampus ini.
13. Teman-teman komunitas *One Marvel Indonesia*, khususnya saudara: Hanif, Panji, Alwan, Fawwaz, Kholiz, John, dan Akram, yang menjadi tempat untuk bersosial dan meluapkan keluh kesah skripsi walaupun secara daring.
14. Real Madrid *Club de Fútbol*—klub sepakbola kebanggaan penulis sejak 2013/14—dengan salah satu semboyan ikoniknya yaitu '*Hasta el Final*' yang kemudian menjadi suntikan semangat bagi penulis untuk tetap dapat berjuang menyelesaikan studi Strata 1 ini "hingga titik darah penghabisan".

Penulis menyadari akan masih banyaknya kekurangan dalam tugas akhir ini. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga, melalui karya tulis ini, penulis dapat memberikan manfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang ilmu komputer.

Pontianak, Juli 2026



Aditya Rizky Pratama
NIM. H1051191055

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK iii
Abstrak iv
Abstract v
PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR KODE PROGRAM xv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 5
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 6
BAB 2 LANDASAN TEORI 8
2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 8
2.2 Sistem Navigasi Berbasis Sensor 10
2.3 Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pro 10
2.4 Modul GPS U-Blox NEO-M8N 12
2.5 Sensor Kompas IST8310 12
2.6 Modul DFPLayer Mini 13
2.7 Modul OLED 14
2.8 Sistem Catu Daya 15
2.9 Arduino IDE 16
2.10 Trigonometri Bola 17
2.11 Derau 18
2.12 *Kalman Filter* 19

2.13 Sistem Koordinat UTM 21
2.14 Galat Tunggal 24
2.15 Galat Rata-rata Kolektif dan RMSE 24
BAB 3 METODE PENELITIAN 26
3.1 Studi Literatur 26
3.2 Pengumpulan Data 27
3.3 Analisis Kebutuhan 27
3.3.1 Kebutuhan Perangkat Keras 28
3.3.2 Kebutuhan Perangkat Lunak 29
3.4 Perancangan Sistem 29
3.4.1 Perancangan Perangkat Keras 29
3.4.2 Perancangan Perangkat Lunak 30
3.5 Implementasi 30
3.5.1 Implementasi Perangkat Keras 30
3.5.2 Implementasi Perangkat Lunak 31
3.6 Pengujian Sistem 31
3.7 Kesimpulan dan Saran 31
BAB 4 PERANCANGAN 32
4.1 Deskripsi Sistem 32
4.2 Perancangan Arsitektur Sistem 34
4.3 Perancangan Perangkat Keras 36
4.3.1 Perancangan Sistem Sensor 36
4.3.2 Perancangan Sistem Kendali dan Antarmuka 37
4.3.3 Perancangan Sistem Suplai Daya 38
4.3.4 Perancangan Keseluruhan Sistem Perangkat Keras 40
4.4 Perancangan Perangkat Lunak 40
4.4.1 Perancangan Logika Sistem 41
4.4.2 Perancangan Logika Implementasi Algoritma *Kalman Filter* 42
4.4.3 Perancangan Logika Penghitungan Nilai Azimut Kiblat 44
4.5 Perancangan Pengujian Sistem 46
4.5.1 Perancangan Pengujian Awal Sistem dalam Mode USB 46
4.5.2 Perancangan Pengujian Akhir Sistem dalam Mode Portabel 47

BAB 5 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN, DAN PEMBAHASAN 48
5.1 Implementasi Sistem 48
5.1.1 Implementasi Perangkat Keras 48
5.1.2 Implementasi Perangkat Lunak 54
5.2 Kode Program 56
5.2.1 Kode Program Modul GPS 57
5.2.2 Kode Program Sensor Kompas 58
5.2.3 Kode Program *Kalman Filter* 61
5.2.4 Kode Program Azimut Kiblat 62
5.2.5 Kode Program DFPlayer Mini 64
5.2.6 Kode Program Layar OLED 64
5.3 Pengujian Sistem 68
5.3.1 Pengujian Awal Sistem dalam Mode USB 68
5.3.2 Pengujian Akhir Sistem dalam Mode Portabel 97
5.4 Pembahasan 107
BAB 6 PENUTUP 109
6.1 Kesimpulan 109
6.2 Saran 110
DAFTAR PUSTAKA 111
LAMPIRAN 115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arduino Mega 2560 Pro: (a) Tampak Atas; (b) Tampak Bawah 11
Gambar 2.2 Instrumen Sensor GPS: (a) Modul GPS u-blox NEO-M8N; (b) Antena Aktif Eksternal GPS GLONASS 12
Gambar 2.3 Modul Sensor Kompas GY-273.....12
Gambar 2.4 Modul DFPlayer Mini 13
Gambar 2.5 Modul Layar OLED 0,91”.....14
Gambar 2.6 Komponen Catu Daya pada Sistem: (a) Baterai *Lithium-Ion* 18650; (b) Modul TP4056; (c) Modul MT3608; (d) Sakelar 15
Gambar 2.7 Halaman Utama Arduino IDE 16
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian.....26
Gambar 4.1 Gambaran Sistem Pendeteksi Arah Kiblat bagi Disabilitas 33
Gambar 4.2 Diagram Blok Arsitektur Sistem 34
Gambar 4.3 Perancangan Sistem Sensor.....36
Gambar 4.4 Perancangan Sistem Kendali dan Antarmuka.....37
Gambar 4.5 Perancangan Sistem Suplai Daya 39
Gambar 4.6 Perancangan Keseluruhan Sistem Perangkat Keras 40
Gambar 4.7 *Flowchart* Sistem Utama.....41
Gambar 4.8 *Flowchart* Algoritma *Kalman Filter* 43
Gambar 4.9 *Flowchart* Logika Penghitungan Azimut Kiblat 45
Gambar 5.1 Perakitan Modul GPS dan Sensor Kompas.....49
Gambar 5.2 Perakitan Modul OLED, DFPlayer, dan *Speaker*.....50
Gambar 5.3 Pengukuran Tegangan Keluaran Modul *Step-Up* MT3608 50
Gambar 5.4 Perakitan Modul Suplai Daya.....51
Gambar 5.5 Pengkabelan dan Tata Letak Awal Komponen Internal Sistem.....52
Gambar 5.6 Pengkabelan dan Tata Letak Akhir Komponen Internal Sistem Setelah Modifikasi Orientasi *Breadboard* 52
Gambar 5.7 *Layout* Internal Komponen Sistem sebelum Disegel: (a) Tampak Kiri; (b) Tampak Kanan; (c) Tampak Kanan yang Telah Disekat ..53
Gambar 5.8 Wujud Akhir Rakitan Alat Pendeteksi Arah Kiblat Portabel.....54

Gambar 5.9 Tampilan Perangkat Lunak (kiri: Visual Studio *Code* untuk Teleplot; kanan: Arduino IDE untuk Kompilasi Kode dan *Serial Monitor*) .55
Gambar 5.10 Grafik Komparasi Nilai RMSE Horizontal GPS Area Terbuka 77
Gambar 5.11 Grafik Komparasi Nilai RMSE Horizontal GPS Area Tertutup.....79
Gambar 5.12 Grafik Komparasi Nilai RMSE *Heading* Kompas Area Terbuka...80
Gambar 5.13 Grafik Komparasi Nilai RMSE *Heading* Kompas Area Tertutup ..81
Gambar 5.14 Grafik Komparasi Nilai RMSE Azimut Kiblat Area Terbuka.....83
Gambar 5.15 Grafik Komparasi Nilai RMSE Azimut Kiblat Area Tertutup 84
Gambar 5.16 Grafik Komparasi *Real-Time* Teleplot untuk Data GPS (*Latitude*) Mentah, Konfigurasi 1 s.d. Konfigurasi 4 di Area Terbuka 91
Gambar 5.17 Grafik Komparasi *Real-Time*Teleplot untuk Data GPS (*Latitude*) Mentah, Konfigurasi 1 s.d. Konfigurasi 4 di Area Tertutup 91
Gambar 5.18 Grafik Komparasi *Real-Time* Teleplot untuk Kompas (*Heading*) Mentah, Konfigurasi 1 s.d. Konfigurasi 4 Area Terbuka.....93
Gambar 5.19 Grafik Komparasi *Real-Time* Teleplot untuk Kompas (*Heading*) Mentah, Konfigurasi 1 s.d. Konfigurasi 4 Area Tertutup 94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 8
Tabel 2.2 Parameter Konstanta Elipsoid WGS84 22
Tabel 4.1 Konfigurasi *Pin* Modul GPS NEO-M8N ke Arduino 37
Tabel 4.2 Konfigurasi *Pin* Sensor Kompas IST8310 ke Arduino 37
Tabel 4.3 Konfigurasi *Pin* OLED ke Arduino.....38
Tabel 4.4 Konfigurasi *Pin* DFPlayer Mini ke Arduino 38
Tabel 4.5 Konfigurasi *Pin* Sistem Suplai Daya.....39
Tabel 5.1 Hasil Pengamatan pada Pengujian Inisialisasi Sistem 70
Tabel 5.2 Parameter Inisialisasi Penghitungan Azimut Kiblat.....72
Tabel 5.3 Perbandingan RMSE *Easting* GPS di Area Terbuka.....76
Tabel 5.4 Perbandingan RMSE *Northing* GPS di Area Terbuka 76
Tabel 5.5 Perbandingan RMSE Horizontal GPS di Area Terbuka.....77
Tabel 5.6 Perbandingan RMSE *Easting* GPS di Area Tertutup 78
Tabel 5.7 Perbandingan RMSE *Northing* GPS di Area Tertutup 78
Tabel 5.8 Perbandingan RMSE Horizontal GPS di Area Tertutup 78
Tabel 5.9 Perbandingan RMSE *Heading* Kompas di Area Terbuka 80
Tabel 5.10 Perbandingan RMSE *Heading* Kompas di Area Tertutup.....81
Tabel 5.11 Perbandingan RMSE Azimut Kiblat di Area Terbuka 83
Tabel 5.12 Perbandingan RMSE Azimut Kiblat di Area Tertutup 84
Tabel 5.13 Parameter Inisialisasi Penghitungan Manual *Kalman Filter* Variasi 286
Tabel 5.14 Rincian Variasi Parameter Kovarians *Q* dan *R Kalman Filter*.....88
Tabel 5.15 Hasil Uji Coba Variasi Parameter Kovarians *Q* dan *R Kalman Filter* pada Modul GPS di Area Terbuka.....89
Tabel 5.16 Hasil Uji Coba Variasi Parameter Kovarians *Q* dan *R Kalman Filter* pada Modul GPS di Area Tertutup 90
Tabel 5.17 Hasil Uji Coba Variasi Parameter Kovarians *Q* dan *R Kalman Filter* pada Sensor Kompas di Area Terbuka 92
Tabel 5.18 Hasil Uji Coba Variasi Parameter Kovarians *Q* dan *R Kalman Filter* pada Sensor Kompas di Area Tertutup 93

Tabel 5.19 Penetapan Konfigurasi Parameter Kovarians *Q* dan *R* yang Optimal untuk Area Terbuka 95
Tabel 5.20 Penetapan Konfigurasi Parameter Kovarians *Q* dan *R* yang Optimal untuk Area Tertutup 95
Tabel 5.21 Data Hasil Pembacaan Sistem Utama Portabel tanpa *Kalman Filter* (Mentah) di Area Terbuka 98
Tabel 5.22 Data Aplikasi Google Maps dan Kompas Kiblat di Area Terbuka.....98
Tabel 5.23 Data Hasil Pembacaan Sistem Utama Portabel tanpa *Kalman Filter* (Mentah) di Area Tertutup 99
Tabel 5.24 Data Aplikasi Google Maps dan Kompas Kiblat di Area Tertutup 99
Tabel 5.25 Data Hasil Pembacaan Sistem Utama Portabel dengan *Kalman Filter* (Variasi 2 pada Kompas) di Area Terbuka.....100
Tabel 5.26 Data Aplikasi Google Maps dan Kompas Kiblat di Area Terbuka....100
Tabel 5.27 Data Hasil Pembacaan Sistem Utama Portabel dengan *Kalman Filter* (Variasi 2 pada Kompas) di Area Tertutup 101
Tabel 5.28 Data Aplikasi Google Maps dan Kompas Kiblat di Area Tertutup ...101
Tabel 5.29 Hasil Analisis Akurasi Pendeteksian Arah Kiblat Sistem tanpa *Kalman Filter* (Mentah) di Area Terbuka 102
Tabel 5.30 Hasil Analisis Akurasi Pendeteksian Arah Kiblat Sistem tanpa *Kalman Filter* (Mentah) di Area Tertutup 103
Tabel 5.31 Hasil Analisis Akurasi Pendeteksian Arah Kiblat Sistem dengan *Kalman Filter* (Variasi 2 pada Kompas) di Area Terbuka.....104
Tabel 5.32 Hasil Analisis Akurasi Pendeteksian Arah Kiblat Sistem dengan *Kalman Filter* (Variasi 2 pada Kompas) di Area Tertutup 105

DAFTAR KODE PROGRAM

Kode Program 5.1 Potongan Kode Fungsi Pembacaan Modul GPS.....57
Kode Program 5.2 Potongan Kode Fungsi Inisialisasi Sensor Kompas.....59
Kode Program 5.3 Potongan Kode Fungsi Kalibrasi Sensor Kompas 59
Kode Program 5.4 Potongan Kode Fungsi Pembacaan Sensor Kompas yang Telah Sekaligus dengan Fungsi Penapisan *Kalman Filter*.....60
Kode Program 5.5 Potongan Kode Inisialisasi Parameter dan Pembaruan Estimasi *Kalman Filter* di dalam Fungsi Pembacaan Sensor Kompas61
Kode Program 5.6 Potongan Kode Logika Penentuan Arah Mata Angin 63
Kode Program 5.7 Potongan Kode Logika Penghitungan Azimut Kiblat.....63
Kode Program 5.8 Potongan Kode Logika Navigasi Modul DFPlayer Mini.....65
Kode Program 5.9 Potongan Kode Logika *Pagination* Layar OLED.....66

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kiblat merupakan arah sasaran yang dituju oleh umat Islam dalam berbagai konteks ibadah, khususnya salat, yang berpusat pada bangunan Ka'bah di kota Makkah. Oleh karena itu, menghadap arah kiblat merupakan salah satu syarat sah ibadah salat yang tidak bisa ditawar (Zaki dan Hidayatullah, 2025). Namun, secara geografis, penentuan titik azimut kiblat yang akurat dari wilayah Indonesia memiliki tantangan tersendiri karena bumi tidaklah bulat sempurna, melainkan berbentuk elipsoid atau sferoid (Helmi dan Badrian, 2024).

Menyikapi tantangan geografis tersebut, hukum Islam memberikan kelonggaran berupa toleransi pelencengan arah kiblat bagi umat Islam di wilayah Indonesia, yang secara sosiologis diperbolehkan hingga batas deviasi 6 derajat busur ke sisi kiri maupun ke kanan dari bangunan Ka'bah (Zaki dan Hidayatullah, 2025). Meskipun telah terdapat kelonggaran toleransi arah tersebut, orientasi spasial untuk menemukan arah mata angin yang tepat tetap menjadi kendala yang sangat besar bagi kelompok penyandang disabilitas sensorik seperti tunanetra (Patmin dkk., 2022). Keterbatasan visual yang mereka miliki menuntut adanya inovasi alat bantu navigasi khusus yang mampu memberikan panduan arah kiblat secara presisi dan mandiri, sehingga para penyandang disabilitas ini tetap dapat menunaikan ibadah dengan baik dan sempurna.

Pada praktiknya, pemanfaatan sains dan teknologi untuk penentuan arah kiblat yang beredar luas di masyarakat saat ini umumnya bertumpu pada penggunaan aplikasi kompas dan navigasi GPS berbasis pada ponsel pintar (Muthmainnah dan Santoso, 2020). Namun, solusi tersebut masih menyisakan celah keterbatasan yang signifikan, khususnya jika dihadapkan pada kebutuhan penyandang disabilitas sensorik seperti tunanetra. Aplikasi-aplikasi tersebut pada umumnya dirancang dengan antarmuka yang sangat mengandalkan indikator visual, seperti pergerakan jarum kompas digital atau peta grafis, yang mengharuskan penggunanya untuk menatap layar. Bagi penyandang tunanetra,

ketergantungan pada layar sentuh dan ketiadaan umpan balik non-visual yang responsif menjadikan aplikasi bawaan ponsel tersebut tidak ramah disabilitas tunanetra dan sangat sulit digunakan secara mandiri.

Sebagai solusi untuk mengatasi kendala aksesibilitas pada aplikasi ponsel pintar tersebut, diperlukan sebuah terobosan berupa sistem *embedded* mandiri yang dirancang secara inklusif bagi penyandang disabilitas sensorik, baik tunanetra maupun tunarungu. Sistem ini secara khusus mengintegrasikan pembacaan sensor kompas digital dan teknologi GPS (*Global Positioning System*) yang mampu mengakuisisi titik koordinat lokasi secara akurat (Sunardi dkk., 2021). Untuk dapat mengakomodasi kedua jenis disabilitas tersebut, sistem ini mengusung keluaran antarmuka ganda (*dual interface output*). Bagi penyandang tunanetra, instruksi navigasi ke arah kiblat dikonversi secara langsung menjadi panduan audio suara manusia menggunakan modul DFPlayer Mini dan *speaker* 3 Watt. Sementara itu, bagi penyandang tunarungu, instruksi tersebut disajikan secara visual melalui teks pada layar OLED 0,91 inci. Pemanfaatan kombinasi keluaran audio dan visual ini diharapkan mampu memberikan panduan ya.ng responsif, sehingga penyandang disabilitas, khususnya tunanetra dan tunarungu, dapat mendeteksi arah kiblat secara tepat dan mandiri.

Meskipun integrasi sensor kompas dan GPS menawarkan solusi mandiri, tantangan teknis utama muncul pada penggunaan sensor magnetometer (kompas) yang sensitif terhadap gangguan kondisi medan magnet eksternal maupun interferensi elektronik, yang umumnya menyebabkan munculnya derau atau *noise* (Topan, 2022). Fluktuasi data mentah yang dihasilkan seringkali menyebabkan penunjukan arah kiblat menjadi tidak stabil dan tidak akurat. Oleh karena itu, untuk mereduksi tingkat derau pada pembacaan sensor, diperlukan sebuah pendekatan matematis berbasis algoritma penapisan data (*data filtering*). Salah satu metode penapisan rekursif yang dinilai andal dan tangguh dalam menyelesaikan permasalahan estimasi pada instrumen navigasi adalah algoritma *Kalman Filter*. Melalui implementasi *Kalman Filter* ini, sistem diharapkan mampu mereduksi derau secara optimal sehingga menghasilkan estimasi orientasi arah yang jauh lebih presisi.

Penelitian terdahulu yang menjadi rujukan pertama adalah penelitian dengan judul *"Sistem Pendeteksi Arah Kiblat Bagi Disabilitas Menggunakan Sensor Kompas dan Global Positioning System (GPS)"* (Vidyana dkk., 2025). Penelitian tersebut berhasil membangun perangkat penunjuk arah kiblat menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dengan rata-rata ketepatan posisi GPS sejauh 15,06 m, serta akurasi sensor kompas sebesar 97,40%. Meskipun sistem telah beroperasi dengan baik, pembacaan koordinat dan orientasi pada sistem tersebut masih murni mengandalkan data mentah (*raw data*) dari sensor tanpa adanya penapisan, sehingga perangkat rentan mengalami fluktuasi akibat derau (*noise*) dan distorsi medan magnet lingkungan. Celah kelemahan inilah yang menjadi landasan bagi penelitian ini untuk melakukan optimasi stabilitas data melalui implementasi algoritma *Kalman Filter*.

Keandalan *Kalman Filter* dalam menapis data pada sistem navigasi disabilitas juga didukung oleh penelitian kedua yang berjudul "Penerapan Algoritma Kalman Filter dan Yolo Mengukur Efektifitas Aruco Marker Bagi Tunanetra" (Yulianto dkk., 2025). Pada penelitian tersebut, integrasi *Kalman Filter* terbukti mampu mengatasi beban komputasi dari algoritma deteksi objek YOLO. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Kalman Filter* berhasil meningkatkan efisiensi waktu komputasi menjadi 12,5% hingga 13,3% lebih cepat dibandingkan jika sistem hanya menggunakan algoritma YOLO secara mandiri. Selain unggul dalam efisiensi waktu, *Kalman Filter* juga secara konsisten mencatat tingkat akurasi pelacakan posisi yang lebih tinggi, yakni mencapai 96,00% pada pengujian objek kombinasi. Hal ini menegaskan bahwa algoritma *Kalman Filter* merupakan solusi matematis yang sangat esensial untuk menjaga efisiensi komputasi dan akurasi pada sistem navigasi portabel yang berjalan secara *real-time*.

Penelitian relevan lainnya yang memperkuat fondasi mengenai ketangguhan algoritma penapisan ini yaitu pada penelitian ketiga yang berjudul "*Experimental Validation: Perception and Localization Systems for Autonomous Vehicles using The Extended Kalman Filter Algorithm*" (Widjiantoro dkk., 2024). Penelitian tersebut memvalidasi bahwa implementasi varian *Kalman Filter* (EKF) sangat tangguh dalam mereduksi ketidakpastian dan derau pembacaan dari berbagai fusi sensor pada sistem navigasi kendaraan otonom. Hasil eksperimen di

lingkungan nyata menunjukkan bahwa algoritma ini mampu menekan tingkat galat estimasi posisi secara signifikan. Dibuktikan dengan pencapaian tingkat galat yang sangat kecil, yakni hanya 1% pada sumbu X dan 3% pada sumbu Y. Prinsip reduksi derau berbasis *Kalman Filter* pada penelitian tersebut menjadi landasan teoretis utama bagi penelitian ini, di mana logika matematis serupa diadaptasi untuk menstabilkan data orientasi sensor kompas dan GPS guna mengatasi kendala penentuan arah kiblat.

Berdasarkan identifikasi permasalahan dan temuan dari ketiga penelitian terdahulu tersebut, maka akan dilakukan sebuah penelitian untuk menyempurnakan kelemahan sistem sebelumnya dengan mengambil judul **"Implementasi *Kalman Filter* untuk Optimasi Sistem Pendeteksi Arah Kiblat bagi Disabilitas".** Perangkat keras ini dikembangkan sebagai sistem navigasi atau pemandu arah berbasis mikrokontroler yang berfungsi untuk mendeteksi arah kiblat secara akurat bagi penyandang disabilitas, khususnya penyandang tunanetra dan tunarungu. Dalam pengoperasiannya, sistem ini mengolah data masukan dari modul GPS dan sensor kompas (titik koordinat dan orientasi arah), kemudian menapisnya dengan algoritma *Kalman Filter* untuk memastikan kestabilan data sudut secara matematis. Data hasil pendeteksian yang stabil dan minim derau (*noise*) tersebut diharapkan mampu mengoptimasi kinerja sistem dalam memberikan panduan navigasi arah bagi penyandang disabilitas (tunanetra dan tunarungu) ke arah kiblat yang akurat.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berapakah nilai akurasi dan presisi data titik koordinat modul GPS, orientasi arah sensor kompas, serta sudut azimut kiblat—baik sebelum maupun sesudah diimplementasikan *Kalman Filter*—pada pengujian sistem di area terbuka dan area tertutup?
2. Bagaimanakah efektivitas implementasi *Kalman Filter* dalam mengoptimasi kinerja sistem pendeteksi arah kiblat secara keseluruhan pada pengujian di area terbuka dan area tertutup?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Informasi arah kiblat disampaikan kepada pengguna dalam bentuk visual pada layar OLED (untuk penyandang tunarungu) dan audio pada speaker lewat modul DFPlayer Mini (untuk penyandang tunanetra).
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560 Pro.
3. Sensor yang digunakan adalah modul GPS Ublox NEO-M8N dan modul sensor kompas GY-273 dengan chip sensor IST8310.
4. Algoritma yang diimplementasikan sebagai pereduksi derau (*noise*) pembacaan sensor adalah *Kalman Filter*.
5. Perangkat beroperasi secara portabel (*portable*) dan mandiri (*standalone*), serta tidak menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT).
6. Pengambilan data pengujian dilakukan di satu titik lokasi di wilayah Kota Pontianak pada dua kondisi lingkungan yang berbeda, yaitu di area terbuka dan di area tertutup.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis nilai akurasi dan presisi data titik koordinat modul GPS, orientasi arah sensor kompas, serta sudut azimut kiblat—baik sebelum maupun sesudah diimplementasikan *Kalman Filter*—pada pengujian sistem di area terbuka dan area tertutup.
2. Menganalisis efektivitas implementasi *Kalman Filter* dalam mengoptimasi kinerja sistem pendeteksi arah kiblat secara keseluruhan pada pengujian di area terbuka dan area tertutup.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memudahkan penyandang disabilitas, khususnya muslim tunanetra dan tunarungu, dalam menentukan arah kiblat secara mandiri melalui panduan navigasi berupa keluaran audio dan tampilan visual yang akurat.

2. Menjadi alternatif sistem pendeteksi arah kiblat yang dapat diandalkan pada area yang tidak memiliki akses jaringan internet, mengingat sistem beroperasi secara mandiri (standalone) menggunakan data satelit GPS dan sensor kompas.
3. Menjadi rujukan dan referensi ilmiah mengenai implementasi algoritma *Kalman Filter* dalam mengoptimalkan nilai keakuratan dan kepresisian data sensor pada sistem pendeteksi arah berbasis mikrokontroler.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan skripsi ini dibagi ke dalam enam bab utama agar memberikan penjelasan yang terstruktur sekaligus menyeluruh terkait penyelesaian masalah pada penelitian. Adapun rangkuman dari sistematika penulisan skripsi ini diuraikan sebagai berikut.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab Pendahuluan menguraikan fondasi dasar penelitian yang meliputi urgensi permasalahan dalam latar belakang, identifikasi rumusan masalah, ruang lingkup batasan masalah pada penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, hingga sistematika penulisan skripsi secara keseluruhan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini membahas teori-teori yang mendasari dan mendukung penelitian. Pokok bahasan dalam bab Landasan Teori ini diawali dengan perbandingan penelitian terdahulu dan konsep sistem navigasi berbasis sensor. Selanjutnya, diuraikan mengenai perangkat keras penyusun sistem (yang mencakup mikrokontroler Arduino Mega Pro 2560, modul GPS U-Blox Neo-M8N, sensor kompas IST8310, modul DFPlayer Mini, layar OLED 0.91 inci, serta sistem catu daya) dan perangkat lunak pendukung berupa Arduino IDE. Selain itu, bab ini juga mengupas landasan matematis dan teoretis mengenai trigonometri bola, derau (*noise*), cara kerja algoritma *Kalman Filter*, serta metode evaluasi galat pengukuran (termasuk *Root Mean Square Error*). Teori-teori yang dijelaskan dalam bab ini didasarkan pada referensi pustaka, termasuk buku, jurnal, dan artikel-artikel ilmiah yang mendukung penelitian ini. Seluruh teori tersebut nantinya akan dijadikan sebagai landasan pada tahapan atau bab selanjutnya.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan prosedur dan tahapan penelitian yang dilakukan agar proses penyusunan tugas akhir berjalan secara sistematis dan terstruktur. Pembahasan diawali dengan pemaparan diagram alir penelitian yang mencakup studi literatur, pengumpulan data, hingga analisis kebutuhan perangkat keras maupun perangkat lunak. Tahapan dilanjutkan dengan menguraikan proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Kemudian, ditutup dengan tahap pembahasan, serta penarikan kesimpulan dan saran dari keseluruhan penelitian.

BAB 4 PERANCANGAN

Bab ini menguraikan tahapan perancangan sistem yang mencakup integrasi perangkat keras dan pengembangan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras meliputi penyusunan rangkaian mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pro dengan sensor kompas IST8310, modul GPS, layar OLED, modul audio DFPlayer Mini, serta sistem catu daya (terdiri atas baterai *Lithium-Ion* 18650, modul *charger* TP4056, dan *step-up* MT3608). Sementara itu, perancangan perangkat lunak berfokus pada logika pemrograman untuk akuisisi data sensor, perhitungan azimut kiblat, serta implementasi algoritma *Kalman Filter* guna menapis derau pada data secara *real-time*.

BAB 5 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN, DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan realisasi sistem, meliputi implementasi perangkat keras dan perangkat lunak beserta penjabaran kode program secara detail. Pembahasan mencakup proses komputasi seperti penghitungan manual azimut kiblat, konversi koordinat, dan penerapan algoritma *Kalman Filter*. Selanjutnya, dipaparkan pengujian sistem melalui dua skenario utama: pengujian statis (mode USB) untuk penalaan parameter dan evaluasi galat, serta pengujian dinamis (mode portabel) untuk mengukur tingkat akurasi alat di lapangan, yang ditutup dengan pembahasan komprehensif.

BAB 6 PENUTUP

Bab akhir dari skripsi yang berisi kesimpulan dari keseluruhan hasil implementasi, pengujian, dan pembahasan yang telah diuraikan. Selain itu, bab penutup ini juga memuat beberapa saran yang ditujukan sebagai perbaikan maupun pengembangan sistem untuk penelitian di masa mendatang.