PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI *BLIND SPOT* TRUK BERBASIS SENSOR ULTRASONIK *ARRAY* DENGAN INTEGRASI *KALMAN FILTER* DAN *FUZZY LOGIC* UNTUK KESELAMATAN BERKENDARA

TESIS

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

memperoleh gelar Magister Teknik

RANGGA JAYA ANDIKA

092024090413

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagaikarya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 06 Agustus 2026

Mahasiswa,



Rangga Jaya Andika

092024090413

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Tesis ini diajukan oleh	:
Nama	: Rangga Jaya Andika
NPM	: 092024090413
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Judul Tesis	: Pengembangan Sistem Deteksi *Blind Spot* Truk Berbasis Sensor Ultrasonik *Array* dengan Integrasi *Kalman Filter* dan *Fuzzy Logic* untuk Keselamatan Berkendara

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1

Dr. Antonius Dama Setiawan, S.Si., M.T.
NIK. S092020100001

Pembimbing 2

Hamzah, ST., MT., Ph.D.
NIK. S092023080003

Ketua Program Studi
Magister Teknik Elektro

Hamzah, ST., MT., Ph.D.
NIK. S092023080003

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 06 Agustus 2026

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh	:
Nama	: Rangga Jaya Andika
NPM	: 092024090413
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Judul Tesis	: Pengembangan Sistem Deteksi *Blind Spot* Truk Berbasis Sensor Ultrasonik *Array* dengan Integrasi *Kalman Filter* dan *Fuzzy Logic* untuk Keselamatan Berkendara

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji : Dr. Eng Yanuar Zulardiansyah Arief, S.T., M.T ( )

Penguji : Dr. Herwanto, S.Kom., M.Si ( )

Penguji : Adhes Gamayel, S.T., M.T., Ph.D. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 06 Agustus 2026

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh	:
Nama	: Rangga Jaya Andika
NPM	: 092024090413
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Judul Tesis	: Pengembangan Sistem Deteksi *Blind Spot* Truk Berbasis Sensor Ultrasonik *Array* dengan Integrasi *Kalman Filter* dan *Fuzzy Logic* untuk Keselamatan Berkendara

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji : Dr. Eng Yanuar Zulardiansyah Arief, S.T., M.T ( )

Penguji : Dr. Herwanto, S.Kom., M.Si ( )

Penguji : Adhes Gamayel, S.T., M.T., Ph.D. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 06 Agustus 2026

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat- Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Elektro pada Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1) Bapak Antonius Darma Setiawan sebagai pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, saran, dan kritik yang membangun selama pengerjaan tesis ini, semoga bapak dan keluarga selalu dalam rahmat Allah SWT.
2) Bapak Hamzah selaku dosen wali dan pembimbing II yang telah membantu saya dalam segala urusan akademik selama 2 tahun menjadi mahasiswa Universitas Global Jakarta, semoga bapak dan keluarga selalu dalam rahmat Allah SWT.
3) Seluruh civitas akademika Universitas Global Jakarta atas segala bantuannya dan pihak–pihak lain yang turut terlibat langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4) Teman-teman Magister sebuah keluarga baru yang terjalin semasa kuliah di Universitas Jakarta Global, banyak kenangan indah bersama kalian, semoga Allah SWT memberikan rahmat dan petunjuk-NYA.
5) Ayah dan ibu saya yang selalu mendoakan saya disetiap doa mereka, menyemangati saya disetiap waktu, dan mengajari saya tentang kesabaran, bekerja keras, serta bertanggung jawab, semoga mereka selalu dalam rahmat dan lindungan Allah SWT.
6) Adik saya, yang telah memberikan saya semangat dalam menjalani hidup dan alasan saya untuk terus berjuang dan bekerja keras, semoga selalu diberikan petunjuk, rahmat, dan kasih sayang Allah SWT.

7) Keluarga besar saya, kakek, nenek, paman, tante, bibi, om, saudara sepupu, semua yang telah mendukung saya dalam mengerjakan tugas akhir ini, semoga mereka selalu diberikan rahmat dan lindungan Allah SWT.
8) Asri Febriana yang selalu memberikan semangat, motifasi dan bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini, semoga selalu diberikan petunjuk, rahmat, dan kasih sayang Allah SWT.
9) Teman-teman di Sany Group yang telah berbagi ilmu, pengalaman, dan bersusah payah dalam mengejar upaya dan target, semoga ilmu yang didapat bermanfaat dan Sany selalu maju dan berinovasi.

Semoga Allah SWT membalas budi baik semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, Aamiin ya Rabbal Alamin.

Depok, 06 Agustus 2026

Rangga Jaya Andika

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Rangga Jaya Andika
NPM	: 092024090413
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Jenis Karya Ilmiah	: Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (None-exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengembangan Sistem Deteksi *Blind Spot* Truk Berbasis Sensor Ultrasonik *Array* Dengan Integrasi *Kalman Filter* Dan *Fuzzy Logic* untuk Keselamatan Berkendara

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 06 Agustus 2026



Rangga Jaya Andika

ABSTRAK

Keterbatasan visibilitas pengemudi pada area titik buta (*blind spot*) menjadi salah satu penyebab utama kecelakaan fatal yang melibatkan kendaraan komersial berat (truk) di Indonesia. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem peringatan dini blind spot yang ekonomis namun andal berbasis sensor ultrasonik array dengan mengintegrasikan algoritma *Linear Kalman Filter* (LKF) dan logika *Fuzzy Sugeno* Orde-0. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan prototipe fisik berskala geometris 1:10 dari truk. Sistem ini mengintegrasikan 12 unit sensor ultrasonik HC-SR04 yang terdistribusi di empat sisi kritis kendaraan dengan unit pemroses Arduino Mega 2560. Pada tahap awal, LKF skalar dengan parameter kovariansi derau Q = 0,0500 dan R = 3,7220 diterapkan untuk mereduksi fluktuasi sinyal akibat gangguan lingkungan. Data jarak terfilter kemudian digabungkan melalui metode fusi spasial tingkat rendah (*Low-Level Spatial Data Fusion*). Hasil fusi tersebut diproses oleh mesin inferensi *Fuzzy Sugeno* untuk mengklasifikasikan tingkat risiko bahaya (Aman, Waspada, dan Bahaya) berdasarkan variabel jarak dan estimasi kecepatan relatif objek, yang kemudian diwujudkan melalui indikator LED tiga warna dan buzzer bertingkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan *Linear Kalman Filter* sangat efektif menstabilkan data mentah sensor dan menekan eror pembacaan tanpa menimbulkan keterlambatan (*delay*) respons yang signifikan. Integrasi filter digital dan logika *Fuzzy Sugeno* ini menghasilkan keputusan klasifikasi tingkat bahaya yang konsisten dan responsif secara waktu nyata (*real-time*). Penelitian ini membuktikan bahwa keterbatasan fisik sensor berbiaya rendah dapat dioptimasi melalui pendekatan algoritmik pada sistem tertanam untuk memberikan solusi keselamatan aktif kendaraan berat.

Kata kunci: *Blind spot*, Truk, *Linear Kalman Filter*, *Fuzzy Sugeno*, Sensor Ultrasonik, Arduino Mega 2560.

ABSTRACT

Driver visibility limitations within blind spot areas are a primary cause of fatal accidents involving heavy commercial trucks in Indonesia. This study aims to develop an economical yet reliable blind spot early warning system using an ultrasonic sensor array integrated with a Linear Kalman Filter (LKF) and Fuzzy Sugeno Order-0 logic. The research was conducted experimentally using a 1:10 scale physical prototype of the truck. The system integrates 12 distributed HC-SR04 ultrasonic sensors across four critical sides of the vehicle, controlled by an Arduino Mega 2560 microcontroller. Initially, a scalar LKF with noise covariance parameters Q = 0.0500 and R = 3.7220 is applied to reduce signal fluctuations caused by environmental noise. The filtered distance data is then combined using low-level spatial data fusion. The fusion results are processed by a Fuzzy Sugeno inference system to classify hazard risk levels (Safe, Warning, and Danger) based on distance and estimated relative speed, which are outputted through tri-color LEDs and a multi-level buzzer. The experimental results demonstrate that the LKF implementation is highly effective in stabilizing raw sensor data and suppressing errors without significant response delays. The integration of the digital filter and Fuzzy Sugeno logic yields consistent and responsive real-time hazard classification. This study proves that the limitations of low-cost sensors can be optimized through an algorithmic approach in embedded systems to provide an active safety solution for heavy vehicles.

Keywords: Blind Spot, Truck, Linear Kalman Filter, Fuzzy Sugeno, Ultrasonic Sensor, Arduino Mega 2560.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS ii

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING iii

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI iv

KATA PENGANTAR v

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS vii

ABSTRAK viii

ABSTRACT ix

DAFTAR ISI x

DAFTAR GAMBAR xvii

DAFTAR TABEL xix

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.4.1 Manfaat Akademik 4

1.4.2 Manfaat Praktis 5

1.5 Batasan Penelitian 5

1.5.1 Lingkup Perangkat Keras 5

1.5.2 Lingkup Sistem dan Pendekatan Penelitian 6

1.5.3 Lingkup Lingkungan Pengujian 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8

2.1 *Dump truck* 8

2.2 Area Titik Buta 9

2.3 Sistem Deteksi Objek pada Kendaraan 11
2.4 Frekuensi pada Sistem Deteksi 13
2.5 Sensor Ultrasonik HC-SR04 15
2.5.1 Sudut Deteksi pada Sensor 16
2.5.2 Perbandingan HC-SR04 dengan Sensor Ultrasonik Lain 17
2.5.3 Persamaan Perhitungan Jarak Sensor Ultrasonik 18
2.6 Mikrokontroller Arduino Mega 2560 18
2.7 LED 20
2.7.1 Sistem Indikator Peringatan (Visual Warning) 21
2.8 Buzzer 22
2.9 Linear Kalman Filter 23
2.9.1 Pemilihan Linear Kalman Filter 23
2.9.2 Kalman Filter Dibandingkan Filter Lain 24
2.9.3 Peran Kalman Filter dalam Monitoring Blind Spot 26
2.9.4 Peningkatan Kinerja Monitoring melalui Kalman Filter 26
2.9.5 Desain Algoritma Kalman Filter 27
2.10 Logika *Fuzzy Sugeno* 29
2.10.1 Metode Sugeno 32
2.10.2 Tahapan Metode Sugeno 34
BAB III METODE PENELITIAN 37
3.1 Tujuan Metode yang Diusulkan 37
3.2 Jenis dan Pendekatan Penelitian 38
3.3 Fokus Penelitian 39
3.3.1 Penggunaan Frekuensi Ultrasonik 40 kHz 39
3.3.2 Pemilihan Rentang Deteksi 2 cm – 300 cm 40

3.3.3 Peran *Kalman Filter* dan *Fuzzy Sugeno* 40
3.4 Batasan Sistem dan Metodologi Penskalaan Prototipe 41
3.4.1 Batasan Sistem dan Metodologi Penskalaan Prototipe 41
3.4.2 Perancangan Prototipe dan Skala 42
3.4.3 Karakteristik Kerja Sensor Ultrasonik 40 kHz & Analisis Kerucut Pancaran 44
3.4.4 Analisa Keterbatasan Sistem Konvensional 45
3.4.5 Analisis Sistem Integrasi Ultrasonik, LED, dan Buzzer 46
3.5 Definisi Operasional dan Peralatan Penelitian 47
3.5.1 Definisi Operasional 47
3.5.2 Peralatan Penelitian 48
3.6 Alur Penelitian dan Arsitektur Sistem 49
3.6.1 Alur Penelitian dan Arsitektur Sistem 49
3.6.2 Diagram Blok Arsitektur Perangkat Keras 50
3.6.3 Flowchart Logika Pengendali Mikrokontroler 51
3.7 Tahap I : Integrasi Perangkat Keras, Desain Skematik dan Pengalamatan Pin 53
3.7.1 Penataan Sektoral Perimeter 360 Derajat 53
3.7.2 Metode Pembacaan Sekuensial Terjadwal (*Scheduled Triggering*) 54
3.7.3 Desain dan Dimensi Alat 54
3.7.4 Skematik Sistem dengan Ultrasonik 55
3.7.5 Skematik Sistem dengan LED 56
3.7.6 Skematik Sistem dengan *Buzzer* 58
3.7.7 Penempatan Sensor Terdistribusi 58
3.8 Tahap 2 Kalibrasi Sensor dan Pemodelan Karakteristik 59
3.8.1 Skenario dan Model Matematis Kalibrasi 59

3.8.2 Analisis Varians (ANOVA) dan Koefisien Determinasi ($R2$)..... 59
3.9 Skenario Pengujian Galat Acak (*Random Noise*) 60
3.9.1 Skenario Ruang Tertutup (Kedap Noise)..... 60
3.9.2 Skenario Ruang Terbuka dengan Noise Ekstrem (Kondisi Kemacetan) ..
..... 61
3.9.3 Mekanisme Akusisi Data 61
3.10 Tahap III : Perancangan Algoritma Pengolahan Sinyal dan Pengendali (Desain Algoritma)..... 61
3.10.1 Prapemrosesan Tingkat Pengondisian Sinyal: Multi-Instance Linear Kalman Filter (LKF) 62
3.10.2 Formulasi Ruang-Status dan Model Dinamik Skalar 62
3.10.3 Algoritma Rekursif dan Struktur Struktur Data pada *Firmware* 64
3.10.4 Analisis Performa Kinerja Filter: Kestabilan dan Konvergensi Stokastik Teoretis..... 65
3.10.5 Pemodelan Fungsi Keanggotaan Fuzzifikasi *Fuzzy Sugeno* 66
3.11 Skenario Pengujian dan Validasi Kinerja Filter Tingkat Hulu 70
3.11.1 Pemilihan Sampel Sektor Representatif..... 70
3.11.2 Desain Parameter Lingkungan dan Instrumentasi..... 70
3.11.3 Formulasi Indikator Efisiensi Reduksi Derau (*NRE*)..... 70
3.11.4 Metrik Evaluasi Akurasi Estimasi Jarak Sektor..... 71
3.12 Implementasi Perangkat Lunak Sistem Deteksi..... 73
3.12.1 Inisialisasi Variabel Global dan Parameter Filter 73
3.12.2 Arsitektur Fusi Data Spasial Tingkat Rendah (Low-Level Spatial Data Fusion) 73
3.13 Implementasi Inferensi Fuzzy Sugeno 0 74

3.14 Skenario Pengujian Ketahanan Sensor terhadap Kompresi Suspensi (*False Alarm Analysis*) 75
3.14.1 Analisis Batas Geometri Kerucut Pancaran (*Ultrasonic Beam Geometry*) 75
3.15 Pemodelan Kinerja Komputasi Waktu Nyata (Real-Time) 76
3.15.1 Definisi Variabel Komputasi 76
3.15.2 Persamaan Utama Waktu Tanggap (*System Latency*) 77
3.16 Lokasi dan Objek Penelitian 77
3.17 Penentuan Populasi dan Sampel 78
3.17.1 Populasi 78
3.17.2 Sampel 78
3.18 Teknik Pengumpulan Data 78
3.19 Teknik Anlisis Data 79
3.20 Uji Keabsahan Data 80
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 84
4.1 Realisasi Prototipe Fisik dan Integrasi Perangkat Keras 84
4.1.1 Penataan Multi-Sensor Array 360 Derajat 84
4.1.2 Implementasi Unit Kontrol Utama pada Dashboard 85
4.2 Data Fokus Penelitian 85
4.3 Hasil Kalibrasi Sensor Ultrasonik 86
4.3.1 Data Log dan Analisis Regresi Linier Kalibrasi Sensor 86
4.4 Pembuktian Parameter Matematis Regresi 87
4.5 Pembacaan Sensor Ultrasonik di Ruang Tertutup (Kedap *Noise*). 90
4.6 Pembacaan Sensor Ultrasonik di Ruang Terbuka dengan Noise Ekstrem (Kondisi Kemacetan) 91

4.7 Analisis Tingkat Pengondisian Sinyal: *Multi-Instance Linear Kalman Filter* (LKF) 92

4.7.1 Analisa Distribusi Variansi Parsial 12 Sensor 93

4.7.2 Pembuktian Konvergensi Stokastik Global 94

4.7.3 Penyelesaian Numerik Akar Persamaan DARE (Discrete-Time Algebraic Riccati Equation) 95

4.7.4 Penentuan Nilai Steady-State Kalman Gain (*Kss*) 95

4.7.5 Simulasi Numerik Rekursif dan Pembuktian Lintasan Konvergensi LKF 96

4.7.6 Analisis Fisis Lintasan Rekursi Menuju Kondisi *Steady-State* 98

4.8 Validasi Kinerja *Multi-Instance Linear Kalman Filter* (LKF) Tingkat Hulu 100

4.8.1 Analisis Kuantitatif Efisiensi Reduksi Varians Derau (*NRE*) 100

4.8.2 Urgensi Analisis Skala Prototipe dan *Robustness* Filter terhadap Keandalan Sistem 103

4.9 Analisis Akurasi Eksperimen Ruang Terbuka dengan *Noise Ekstrem* 104

4.10 Analisis Kuantitatif Dispersi Sinyal Melalui *Relative Standard Deviation* (RSD) 109

4.10.1 Evaluasi Indeks *RSD* pada Eksperimen Ruang Tertutup 109

4.10.2 Evaluasi Indeks RSD pada Eksperimen Ruang Terbuka (*Extreme Noise*) 110

4.11 Proses Fusi Keputusan, Fuzzifikasi, dan Defuzzifikasi 110

4.11.1 Fuzzifikasi dan Derajat Keanggotaan 110

4.11.2 Matriks Basis Aturan (*Fuzzy Rule Matrix*) 114

4.12 Deteksi Multi Objek 115

4.12.1 Evaluasi Kesesuaian Aturan Risiko 115

4.13 Pengujian Ketahanan Elemen Sensor terhadap Efek Kompresi Suspensi (False Alarm Analysis) 116
4.13.1 Analisis Validitas Pembacaan 116
4.14 Analisis Kinerja Sistem dan Komputasi Waktu Nyata (*Real-Time*)... 117
4.14.1 Distribusi Latensi Komputasi 117
4.14.2 Analisis Karakteristik Blok Akuisisi ($Tacq$) 118
4.14.3 Persamaan Frekuensi Pembaruan Sistem (*Update Rate*) 118
4.15 Pengujian Kinerja Keseluruhan Terintegrasi 118
4.15.1 Validasi Output LED dan Respon *Buzzer* 119
4.16 Rekapitulasi Validasi, Reliabilitas, dan Kinerja Fungsional Sistem... 119
BAB V PENUTUP 122
5.1 Kesimpulan 122
5.2 Saran 122
DAFTAR PUSTAKA 123
LAMPIRAN 127
Lampiran A. Data Deret Waktu Pembacaan Sensor di Ruang Tertutup 127
Lampiran B. Data Log Pengujian pada Ruang Terbuka 128
Lampiran C : Lintasan Numerik Rekursi LKF Menuju Kondisi Tak Hingga 129
Lampiran D : Data Deret Waktu Pembacaan Sensor di ruang terbuka Dengan LKF 130
Lampiran E : Log Sampel Data Eksperimen Ruang Terbuka Eksatrem pada 4 Sektor Representatif 133
Lampiran F. Rincian Biaya Perangkat Keras dan Peralatan Penunjang 135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Dump truck* 9

Gambar 2.2 Area Titik Buta Truk 10

Gambar 2.3 Sensor Ultrasonik 16

Gambar 2.4 Mikrokontroller Arduino Mega 2560 19

Gambar 2.5 Ilustrasi Lampu 21

Gambar 2.6 Buzzer 23

Gambar 2.7 Fungsi Keanggotaan Segitiga 33

Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Trapesium 34

Gambar 3.1 Analisa Blind Spot *Dump truck* 42

Gambar 3.2 Analisa Jangkauan Deteksi Sensor Ultrasonik 45

Gambar 3.3 Ilustrasi sistem yang sudah tersedia 46

Gambar 3.4 Ilustrasi sistem yang akan digunakan 46

Gambar 3.5 *Flowchart* penelitian 49

Gambar 3.6 Diagram blok Sistem 50

Gambar 3.7 *Flowchart* sistem 51

Gambar 3.8 Skema Tata Letak *Spasial Sekuensial Sektoral Multi-Sensor Array* 53

Gambar 3.9 Ilutrasi Tampilan Sistem 54

Gambar 3.10 Skematik sistem dengan Ultrasonik 55

Gambar 3.11 Skematik sistem dengan LED 57

Gambar 3.12 Skematik sistem dengan Buzzer 58

Gambar 3.13 Alur pemrosesan data 61

Gambar 3.14 Fungsi Keanggotaan Ultrasonik 68

Gambar 4.1 Dimensi prototipe truk 84

Gambar 4.2 Protitipe Truk dengan Sensor 85

Gambar 4.3 Grafik Pembacaan Sensor di Ruang Tertutup Kedap Noise 90

Gambar 4.4 Grafik Pembacaan Sensor di Ruang Terbuka dengan Noise..... 92

Gambar 4.5 Grafik Jarak dengan output terfilter 99

Gambar 4.6 Grafik Pembacaan Sensor di ruang terbuka dengan *LKF* 105

Gambar 4.7 Grafik Sampel Data Eksperimen Ruang Terbuka Eksatrem pada 4 Sektor Representatif 107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Sensor untuk Sistem Deteksi Objek pada Kendaraan.... 12

Tabel 2.2 Klasifikasi Rentang Frekuensi Akustik dan Radio 14

Tabel 2.3 Perbandingan Metode Penyaringan Sinyal 25

Tabel 2.4 Perbandingan Metode *Fuzzy Sugeno* dengan Metode Lain dalam Sistem Keselamatan Kendaraan 30

Tabel 3.1 Perbandingan skala *dump truck* dan protipe 43

Tabel 3.2 Definisi Operasional 47

Tabel 3.3 Definisi Operasional Variabel..... 48

Tabel 3.4 Peralatan Penelitian..... 48

Tabel 3.5 Konfigurasi pin Ultrasonik pada Arduino..... 56

Tabel 3.6 Konfigurasi pin LED pada Arduino..... 57

Tabel 3.7 Konfigurasi pin Buzzer pada Arduino 58

Tabel 4.1 Log Data Kalibrasi Sensor untuk Analisis Regresi Linier..... 86

Tabel 4.2 Data Deret Waktu Pembacaan Sensor di Ruang Tertutup 90

Tabel 4.3 Data Deret Waktu Pembacaan Sensor di Ruang Terbuka Esktrem 91

Tabel 4.4 Nilai Variansi Parsial Data Mentah Eksperimen Statis 12 Sensor..... 93

Tabel 4.5 Lintasan Numerik Rekursi *LKF* Menuju Kondisi Tak Hingga..... 99

Tabel 4.6 Analisis Statistik Hasil Filtrasi LKF pada 4 Sektor Representatif (Jarak 100 cm)..... 100

Tabel 4.7 Rekapitulasi Kinerja Kuantitatif Reduksi Varians Derau LKF 102

Tabel 4.8 Data Deret Waktu Pembacaan Sensor di ruang terbuka dengan *LKF* 104

Tabel 4.9 Log Sampel Data Eksperimen Ruang Terbuka Ekstrem pada 4 Sektor Representatif..... 106

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan *MAE* pada Eksperimen Ruang Terbuka Ekstrem (Target 100 cm) 108

Tabel 4.11 Hasil Evaluasi Aturan dan Implikasi MIN jarak 120cm dan kecepatan 18,5 cm/s..... 113

Tabel 4.12 Tabel Pemetaan Konstanta Bobot Output..... 114

Tabel 4.13 Matriks Kondisi Simulasi Deteksi Multi Objek *Real-Time*..... 115

Tabel 4.14 Matriks Hasil Uji Ketahanan *False Alarm* Akibat Efek Pembebanan 116

Tabel 4.15 Profil Beban Komputasi Siklus Utama Mikrokontroler 117

Tabel 4.16 Validasi output LED dan Respon Buzzer 119

Tabel 4.17 Matriks Hasil Pengujian Validitas, Akurasi, Reliabilitas, Replikasi, dan Fungsional Sistem 120

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keselamatan jalan raya merupakan faktor utama dalam operasional kendaraan komersial di Indonesia. Secara makro, angka kecelakaan lalu lintas nasional periode 2020–2025 terus meningkat pesat, melonjak dari 100.028 kasus pada 2020 menjadi 150.906 insiden pada 2024 (BPS, 2024; Korlantas Polri, 2025). Data *Integrated Road Safety Management System* (IRSMS) Korlantas Polri menunjukkan bahwa truk menjadi pemicu krisis keselamatan yang sangat besar. Tercatat sebanyak 17.280 unit truk terlibat kecelakaan di Indonesia hanya dalam periode Januari hingga 4 November 2024, menjadikannya masuk dalam daftar 5 tertinggi kendaraan paling rawan (Korlantas Polri, 2024).

Faktor utama tingginya angka kecelakaan tersebut disebabkan oleh keterbatasan struktural kendaraan berupa titik buta (*blind spot*). Berdasarkan rilis kampanye keselamatan berkendara industri otomotif, sekitar 60 persen insiden tabrakan di jalan raya dipicu oleh situasi di mana pengemudi gagal mendeteksi kehadiran objek lain akibat posisi kendaraan sekitar berada dalam cakupan titik buta (Tirto.id, 2024). Risiko fatalitas ini meningkat drastis pada sektor angkutan logistik berat mengingat karakteristik fisik dan dimensi masif lambung truk menghasilkan area titik buta (*blind spot*) ekstrem yang menutupi hingga hampir 60 persen ruang pandang visibilitas di sekeliling bodi kendaraan (Susmana dalam Kompas Otomotif, 2020). Keterbatasan visibilitas tersebut berdampak fatal terutama bagi pengendara sepeda motor, yang menempati angka keterlibatan tertinggi sebesar 924.913 unit (Korlantas Polri, 2024; Zaman dkk., 2020). Dampak fatal ini terlihat nyata pada jalur logistik tambang di Parung Panjang yang mencatat tragedi ekstrem berupa 35 korban meninggal dunia, 19 luka berat, dan 19 cacat permanen (Mulyadi, 2026). Rentetan kecelakaan yang memicu depresi sosial warga setempat ini (Mulyadi, 2026) menegaskan urgensi riset sistem keselamatan aktif dan intervensi teknologi sensor pada kendaraan berat di Indonesia.

Secara teknis, penyebab utama kecelakaan tersebut adalah keterbatasan jarak pandang pengemudi atau titik buta (*blind spot*). Area ini merupakan zona *No-Zone* di mana pengemudi kehilangan visibilitas total terhadap objek di sekitarnya. Keterbatasan ini terbagi menjadi empat zona kritis: (1) area depan kabin sejauh 3–6 meter; (2) area samping kiri dan kanan yang melebar secara diagonal; serta (3) area belakang yang memiliki jarak pandang nol (Driver Resource Center, 2026). Studi menunjukkan bahwa *blind spot* berkontribusi signifikan terhadap kecelakaan yang melibatkan pengendara sepeda motor di sekitar truk (Zaman dkk., 2020). Penambahan dimensi kendaraan akibat fenomena *Over Dimension Over Load* (ODOL) semakin memperburuk risiko ini karena jangkauan spion standar tidak lagi mampu mencakup area samping dan belakang secara komprehensif (Muatmuat, 2026).

Intervensi teknologi melalui *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS) terbukti menjadi solusi strategis dalam memitigasi risiko tersebut (König dkk., 2024). Pada umumnya, sistem ADAS kelas atas menggunakan sensor radar (*Radio Detection and Ranging*) untuk mendeteksi objek. Namun, radar memiliki karakteristik jangkauan yang sangat jauh (mencapai 150–250 meter) dan dirancang untuk deteksi objek berkecepatan tinggi di jalur bebas hambatan. Untuk kebutuhan deteksi *blind spot* truk yang beroperasi di area padat atau lingkungan tambang dengan kecepatan rendah, penggunaan radar sering kali tidak efisien. Karakteristik gelombang elektromagnetik pada radar memiliki "zona buta" jarak dekat yang lebih luas dan biaya implementasi yang sangat mahal, baik dari segi harga perangkat maupun kebutuhan unit pemrosesan data yang kompleks.

Sebagai alternatif yang lebih adaptif, sensor ultrasonik teridentifikasi sebagai solusi yang lebih efektif untuk deteksi objek jarak dekat (Bernas dkk., 2018). Berbeda dengan radar, sensor ultrasonik bekerja dengan memanfaatkan gelombang akustik yang memiliki karakteristik sangat akurat pada rentang jarak 0,2 hingga 5 meter. Jangkauan pendek ini justru menjadi keunggulan utama dalam memonitor area *blind spot* truk, karena sistem dapat mengidentifikasi keberadaan objek kecil seperti sepeda motor atau pejalan kaki yang berada sangat dekat dengan badan truk secara lebih presisi. Selain itu, sensor ultrasonik menawarkan biaya pengadaan

yang jauh lebih rendah serta beban komputasi yang minimal, sehingga memungkinkan implementasi pada mikrokontroler standar tanpa memerlukan sistem komputasi visi yang berat seperti pada teknologi kamera (Wei, 2024; Zhao dkk., 2019). Keunggulan sensor ultrasonik ini dapat menjadikannya solusi yang relevan bagi operasional kendaraan berat di negara berkembang.

Dalam konteks implementasi praktis, penelitian oleh Wicaksana dkk. (2025) telah merancang prototipe sistem *blind spot* berbasis sensor ultrasonik yang mampu mendeteksi objek secara *real-time*. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada desain dasar tanpa pendekatan filtrasi sinyal lanjutan untuk mengatasi fluktuasi data. Di sisi lain, Anggraini dkk. (2021) mengembangkan sistem pada dump truk menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* untuk klasifikasi tingkat bahaya, tetapi belum mengintegrasikan metode estimasi stokastik untuk mereduksi *noise* sensor sebelum proses pengambilan keputusan dilakukan.

Penggunaan sensor ultrasonik pada lingkungan nyata memang menghadapi tantangan berupa ketidakpastian dan *noise* akibat fluktuasi sinyal (Ehrlich & Dybkaer, 2011). Kesalahan sudut pembacaan dapat memicu alarm palsu yang mengganggu pengemudi (García-Álvarez dkk., 2013). Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan pendekatan *Kalman Filter* (Kalman, 1960) yang terbukti mampu mereduksi *varians eror* secara signifikan dan meningkatkan kestabilan pembacaan jarak (De Araujo dkk., 2012). Pengondisian sinyal yang stabil ini krusial untuk menunjang keandalan sistem pengambilan keputusan berbasis Logika *Fuzzy*. Metode *Fuzzy Sugeno* sangat efektif karena mampu merepresentasikan logika manusia melalui aturan linguistik dengan keluaran numerik yang presisi serta membutuhkan memori kecil untuk pemrosesan real-time (Siregar dkk., 2021; Anggraini dkk., 2024).

Meskipun komponen teknologi tersebut telah dikaji secara parsial, penelitian yang mengintegrasikan *Kalman Filter* sebagai tahap pre-processing dengan *Logika Fuzzy* sebagai decision maker pada sistem deteksi *blind spot* truk masih terbatas. Berdasarkan celah tersebut, tesis ini mengusulkan pengembangan sistem deteksi titik buta pada truk berbasis sensor ultrasonik *array* dengan integrasi *Kalman Filter* dan Logika *Fuzzy*. Integrasi ini diharapkan mampu menghasilkan sistem yang

handal terhadap fluktuasi data sensor dalam memberikan keputusan peringatan yang stabil dan adaptif guna meningkatkan standar keselamatan operasional transportasi di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Bagaimana efektivitas *Kalman Filter* dalam mereduksi fluktuasi sinyal (*stochastic noise*) pada multi-sensor ultrasonik untuk menghasilkan data jarak yang stabil?
2) Bagaimana mengimplementasikan Logika *Fuzzy Sugeno* untuk mengonversi data numerik sensor menjadi keputusan kualitatif tingkat risiko bahaya secara *real-time*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Menganalisis efektivitas algoritma *Kalman Filter* dalam mereduksi fluktuasi sinyal (*stochastic noise*) untuk meningkatkan akurasi dan stabilitas pembacaan jarak pada multi-sensor ultrasonik.
2) Mengembangkan sistem pengambilan keputusan berbasis Logika *Fuzzy Sugeno* untuk mengklasifikasikan tingkat risiko bahaya (Aman, Waspada, Bahaya) pada area titik buta truk secara efektif.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi manfaat akademik dan manfaat praktis sebagai berikut :

1.4.1 Manfaat Akademik

1) Memberikan kontribusi ilmiah melalui perancangan arsitektur sistem yang mengintegrasikan penyaringan data (*Kalman Filter*) dengan kecerdasan komputasi (*Fuzzy Logic*). Hal ini menjadi model referensi

dalam mengolah data sensor ultrasonik yang bersifat non-linier dan dinamis untuk meningkatkan akurasi deteksi objek

2) Menjadi referensi akademik bagi peneliti di bidang *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS), khususnya dalam penerapan metode Fuzzy Sugeno yang efisien secara komputasi untuk sistem pengambilan keputusan waktu nyata *(real-time decision making)* pada kendaraan berat.
3) Membuktikan secara ilmiah bahwa keterbatasan fisik sensor berbiaya rendah (*low-cost sensors*) dapat dioptimasi melalui pendekatan algoritmik, sehingga tetap mampu memenuhi standar kebutuhan sistem keselamatan otomotif

1.4.2 Manfaat Praktis

1) Menghasilkan prototipe sistem deteksi titik buta yang aplikatif untuk membantu pengemudi truk termasuk truk dengan dimensi kompleks (ODOL) dalam memantau area yang tidak terjangkau oleh spion, sehingga dapat menurunkan angka fatalitas kecelakaan lalu lintas.
2) Memberikan rekomendasi teknologi keselamatan yang ekonomis bagi operator logistik dan pemilik armada kendaraan berat di Indonesia, sehingga upaya peningkatan keselamatan kerja tidak terhambat oleh tingginya biaya perangkat keras (seperti Radar atau LiDAR).
3) Meminimalisir risiko insiden bagi pengguna jalan yang paling rentan seperti pengendara sepeda motor dan pejalan kaki, melalui sistem peringatan dini yang mampu mendeteksi keberadaan mereka di zona bahaya titik buta secara konsisten.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menjaga fokus dan kejelasan lingkup penelitian, maka cakupan penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1.5.1 Lingkup Perangkat Keras

1) Lingkup penelitian dibatasi pada penggunaan sensor ultrasonik sebagai perangkat utama dalam pengukuran jarak objek di sekitar kendaraan.

2) Area deteksi difokuskan pada sisi kanan, kiri, bagian depan bawah, dan bagian belakang kendaraan,
3) Sistem dikembangkan berbasis mikrokontroler sebagai unit pemrosesan utama dengan bahasa pemrograman.
4) Media peringatan yang digunakan terbatas pada indikator visual (*LED*) dan indikator auditori (*buzzer*), tanpa melakukan intervensi otomatis terhadap sistem pengereman atau kendali kemudi kendaraan.

1.5.2 Lingkup Sistem dan Pendekatan Penelitian

1) Pengolahan data untuk mereduksi derau acak dibatasi pada penggunaan algoritma *Kalman Filter*. Penelitian ini tidak melakukan perbandingan komprehensif dengan metode filtrasi lain seperti *Complementary Filter* atau *Moving Average*.
2) Sistem pengambilan keputusan berbasis kecerdasan komputasi dibatasi pada metode *Fuzzy Sugeno*. Variabel masukan (input) utama adalah nilai jarak hasil filtrasi dan estimasi kecepatan relatif objek terhadap kendaraan.
3) Analisis kinerja sistem difokuskan pada aspek fungsionalitas dan kuantitatif, yang meliputi akurasi pengukuran, stabilitas data terhadap derau acak, konsistensi logika keputusan, serta waktu respon sistem.

1.5.3 Lingkup Lingkungan Pengujian

1) Eksperimen dilakukan pada skala prototipe menggunakan model kendaraan dengan perbandingan skala tertentu. Pengujian pada kendaraan berat ukuran sebenarnya berada di luar lingkup penelitian ini.
2) Pengujian dilakukan pada lingkungan dengan kondisi cuaca normal (cerah/berawan). Pengaruh cuaca ekstrem seperti hujan lebat atau kabut tebal terhadap performa gelombang ultrasonik tidak dianalisis secara mendalam.
3) Objek yang dideteksi diasumsikan sebagai objek padat (seperti kendaraan roda dua atau pejalan kaki) dengan kecepatan relatif maksimal yang ditentukan sesuai batas aman operasional model prototipe

DAFTAR PUSTAKA

Adnan, Z., Hassan, M. Z., Ab Wahab, N., Najib, S. M., & Nasir, N. S. (2020). Vehicle blind spot monitoring phenomenon using ultrasonic sensor. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8(8), 4357–4365. https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/50882020

Altahtawi, A. (2019). Kalman filter design for ultrasonic linear distance measurement. Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi, 11(1), 15–26. https://doi.org/10.5614/joki.2019.11.1.2

Anggraini, D., dkk. (2021). Fuzzy logic control for speed and distance monitoring system on dump trucks. International Journal of Engineering & Technology, 10(2), 145–152.

Arulampalam, M. S., Maskell, S., Gordon, N., & Clapp, T. (2002). A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking. IEEE Transactions on Signal Processing, 50(2), 174–188. https://doi.org/10.1109/78.978374

Bapenda Jabar. (2025, October 3). Horor di Parung Panjang: Kisah pilu korban kecelakaan truk tambang. https://bapenda.jabarprov.go.id/2025/10/03/horor-di-parung-panjang-kisah-pilu-korban-kecelakaan-truk-tambang/

Basjaruddin, N. C., Saefudin, D. F., & Rakhman, A. (2016). Advanced driver assistance system using fuzzy logic. International Journal of Computer Applications, 142(8), 24–30. https://doi.org/10.5120/ijca2016909848

Bernas, M., Płaczek, B., Korski, W., Loska, P., Smyła, J., & Szymała, P. (2018). A survey and comparison of low-cost sensing technologies for road traffic monitoring. Sensors, 18(10), 3243. https://doi.org/10.3390/s18103243

Davidson, P. M., & Dharmaratne, S. D. (2016). Disastrous but preventable: Road traffic accidents. Health Care for Women International, 37(7), 706. https://doi.org/10.1080/07399332.2016.1199654

De Araujo, A. A. M., de Lima, R. L., de Mello, P. C., Carneiro, M. L., & Tannuri, E. A. (2012). Kalman filter applied to ultrasonic based level sensoring. ABCM Symposium Series in Mechatronics, 5, 1257–1267.

Driver Resource Center. (2026). Where are the blind spots on a semi-truck? https://driverresourcecenter.com/where-are-the-blind-spots-on-semi-truck/

Ehrlich, C., & Dybkaer, R. (2011). Uncertainty of error: The error dilemma. NCSLI Measure, 6(3), 72–77. https://doi.org/10.1080/19315775.2011.11721567

García-Álvarez, J., García-Hernández, M. J., Chávez, J. A., Turó, A., & Salazar, J. (2013). Study of the effect of angle errors in conical ultrasonic sensors. IET Science, Measurement & Technology, 7(5), 265–273. https://doi.org/10.1049/iet-smt.2012.0141

Grewal, M. S., & Andrews, A. P. (2015). Kalman filtering: Theory and practice using MATLAB (4th ed.). Wiley-IEEE Press.

Hassan, M. Z., & Zainal Ariffin, H. I. (2013). Development of vehicle blind spot system for passenger car. Applied Mechanics and Materials, 393, 350–353. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.393.350

Jang, J.-S. R., Sun, C.-T., & Mizutani, E. (1997). Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence. Prentice Hall.

Jusuf, A., Nurprasetio, I. P., & Prihutama, A. (2017). Macro data analysis of traffic accidents in Indonesia. Journal of Engineering and Technological Sciences, 49(1), 132–143. https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.1.8

Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. Journal of Basic Engineering, 82(1), 35–45. https://doi.org/10.1115/1.3662552

Kompas Otomotif. (2020, July 20). Menghindari kecelakaan dengan truk, wajib paham area blind spot. Kompas.com.

https://otomotif.kompas.com/read/2020/07/20/menghindari-kecelakaan-dengan-truk-wajib-paham-area-blind-spot

König, T., Paula, D., Quaschner, S., & Schweiger, H. G. (2024). Influence of blind spot assistance systems in heavy commercial vehicles on accident reconstruction. Sensors, 24(5), 1517. https://doi.org/10.3390/s24051517

Muatmuat. (2026). Apa itu blind spot truk? 5 alasan kenapa Anda harus menghindari blind spot truk. https://muatmuat.com/blog/apa-itu-blind-spot-truk-5-alasan-kenapa-anda-harus-menghindari-blind-spot-truk/

Nainggolan, A. T. (2026). Truk pengangkut air mineral Aqua itu truk ODOL dan melanggar hukum. Kompasiana. https://www.kompasiana.com/azastigornainggolan3093/

Nari, M. I., Mufid, A., Tyagita, D. A., & Prasetya, E. M. (2023). Implementasi sensor ultrasonik JSN-SR04T sebagai alat bantu parkir mobil MPV berbasis Arduino Uno. Journal of Engineering Science and Technology, 1(2), 65–75. https://doi.org/10.47134/jesty.v1i2.13

Oppenheim, A. V., & Schafer, R. W. (2010). Discrete-time signal processing (3rd ed.). Pearson Education.

Pitchipoo, P., Vincent, D. S., Rajini, N., & Rajakarunakaran, S. (2014). COPRAS decision model to optimize blind spot in heavy vehicles: A comparative perspective. Procedia Engineering, 97, 1049–1059. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.383

Pusiknas Polri. (2024). Belasan ribu truk dan tronton kecelakaan lalu lintas. https://pusiknas.polri.go.id/detail_artikel/belasan_ribu_truk_dan_tronton_kecelakaan_lalu_lintas

Putra, R. B., & Agoes, S. (2021). Design of a fuel sensor noise reduction system using Kalman filter. ELKHA: Jurnal Teknik Elektro, 13(1), 48–54. https://doi.org/10.26418/elkha.v13i1.44589

Qiu, Z., Lu, Y., & Qiu, Z. (2022). Review of ultrasonic ranging methods and their current challenges. Micromachines, 13(4), 520. https://doi.org/10.3390/mi13040520

Ross, T. J. (2010). Fuzzy logic with engineering applications (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Setiawan, M. R., Wibowo, S. B., Ismail, A. A., Atmajaya, A. R., Prasetyo, T., Rafif, R., Ariff, M. H. M., & Bahiuddin, I. (2024). Simulation of predicting the safety level of objects in the blind spot area of a forklift unit using fuzzy and artificial neural networks. Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoTaIS), 19–25. https://doi.org/10.1109/IoTaIS64014.2024.10799349

Siregar, I. D., Syahputra, S., & Pasaribu, T. R. (2021). Penerapan IoT pada sistem keamanan pintu rumah dengan ESP8266 menggunakan metode logika fuzzy. Jurnal Ilmu Komputer, 10(1), 55–59. https://doi.org/10.33060/JIK/2021/Vol10.Iss1.190

Tirto.id. (2024, May 15). Arti blind spot di bus dan truk yang sering sebabkan kecelakaan. https://tirto.id/arti-blind-spot-di-bus-dan-truk-yang-sering-sebabkan-kecelakaan

Wei, Y. (2024). Applications of ultrasonic sensors: A review. Applied and Computational Engineering, 99(1), 144–148. https://doi.org/10.54254/2755-2721/99/20251773

Welch, G., & Bishop, G. (2006). An introduction to the Kalman filter. University of North Carolina at Chapel Hill. https://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf

Wicaksana, F. A., Hendrawati, T. D., Narputro, P., & Usman, M. R. (2025). Design and implementation of an ultrasonic sensor-based blind spot monitoring prototype for vehicle safety. Journal of Electrical, Electronic, Information, and Communication Technology, 7(2), 45–52. https://doi.org/10.20961/jeeict.7.2.108076

Zaman, F. H. K., Che Abdullah, S. A., Abdul Razak, N., Pasya, I., Johari, J., & Kordi, N. E. (2020). Risk of vehicle blind spot towards motorcyclist safety in Malaysia: Assessment on perceptions of behaviour. Journal of the Society of Automotive Engineers Malaysia, 4(2), 168–179. https://doi.org/10.56381/jsaem.v4i2.37

Zhao, H., & Wang, Z. (2012). Motion measurement using inertial sensors, ultrasonic sensors, and magnetometers with extended Kalman filter for data fusion. IEEE Sensors Journal, 12(5), 943–953. https://doi.org/10.1109/JSEN.2011.2166066

Zhao, Y., Bai, L., Lyu, Y., & Huang, X. (2019). Camera-based blind spot detection with a general purpose lightweight neural network. Electronics, 8(2), 233. https://doi.org/10.3390/electronics8020233