



TUGAS AKHIR – AB 1956 - 409

Penerapan *Safety Alarm* Berdasarkan Sensor Jarak Pada Area *Blind Spot* Forklift Untuk Mencegah Kecelakaan di *Workshop* Politeknik Negeri Madura

Oleh:

**Rizky Ageng Rahmadany
NRP. 33212301016**

Dosen Pembimbing 1

Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing 2

Bayu Praharsena, S.ST., M.T

**PRODI D3 TEKNIK MESIN ALAT BERAT
JURUSAN REKAYASA MESIN DAN INDUSTRI
POLITEKNIK NEGERI MADURA
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mahasiswa Politeknik Negeri Madura Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi:

Nama : Rizky Ageng Rahmadany

NRP : 33212301016

Program Studi : D3 Teknik Mesin Alat Berat

Jurusan : Rekayasa Mesin dan Industri

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dengan judul “Penerapan *Safety Alarm* Berdasarkan Sensor Jarak Pada Area *Blind Spot Forklift* Untuk Mencegah Kecelakaan di *Workshop* Politeknik Negeri Madura” adalah *original*, belum pernah dibuat oleh pihak lain sebelumnya dan bebas dari plagiarisme.

Bila mana pada kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Sampang, 27 Juli 2026



Rizky Ageng Rahmadany

NRP:33212301016

LEMBAR PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Penerapan *Safety Alarm* Berdasarkan Sensor Jarak Pada Area *Blind Spot* Forklift Untuk Mencegah Kecelakaan di *Workshop* Politeknik Negeri Madura.

Penulis : Rizky Ageng Rahmadany

Nrp : 33212301016

Program Studi : D3 Teknik Mesin Alat Berat

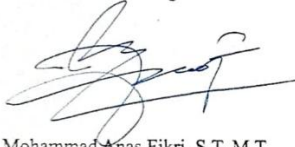
Jurusan : Rekayasa Mesin dan Industri

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk disidangkan.

Ditandatangani di Politeknik Negeri Madura.

Menyetujui,

Pembimbing I



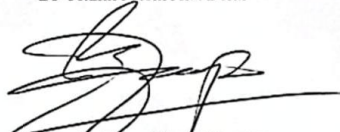
Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T.
NIPPPK. 197705222021211005

Pembimbing II



Bayu Praharsana, S.ST., M.T.
NIP.199405312019031009

Koordinator Program Studi
D3 Teknik Mesin Alat Berat



Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T.
NIPPPK. 197705222021211005

Koordinator TA
D3 Teknik Mesin Alat Berat



Faizatur Rohmah, S.Si., M.Si.
NIPPPK. 199006062024212053

LEMBAR PENGESAHAN

Penerapan Safety Alarm Berdasarkan Sensor Jarak Pada Area Blind Spot Forklift Untuk Mencegah Kecelakaan di Workshop Politeknik Negeri Madura

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar Ahli Madya Teknik

Pada

Jurusan Rekayasa Mesin Dan Industri
Politeknik Negeri Madura

Oleh:

Rizky Ageng Rahmadany

NRP 33212301016

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal 27 Juli
2026 Dan telah sesuai dengan ketentuan.

Disetujui Tim Penguji Tugas Akhir.

1. Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T. (Pembimbing I)
2. Bayu Praharsena, S.ST, M.T. (Pembimbing II)
3. Amin Jakfar, S.T., M.T. (Penguji I)
4. Lukman Hadi Wijaya, S.T., M.T. (Penguji II)
5. Ratna Ayu Pawestri.K.D,S.Pd., M.Pd. (Penguji III)

SAMPANG

27 Juli 2026

**Penerapan Safety Alarm Berdasarkan Sensor Jarak
Pada Area *Blind Spot* Forklift Untuk Mencegah
Kecelakaan di *Workshop* Politeknik Negeri Madura**

Nama : Rizky Ageng Rahmadany
NRP : 33212301016
Dosen Pembimbing 1 : M. Anas Fikri, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Bayu Praharsena, S.ST., M.T.

ABSTRAK

Area *blind spot* pada *forklift* merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan kerja di lingkungan *workshop*, khususnya pada institusi pendidikan vokasi seperti Politeknik Negeri Madura, di mana mahasiswa masih dalam tahap pembelajaran praktik pengoperasian alat berat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan sistem peringatan dini berbasis sensor ultrasonik guna mengurangi risiko kecelakaan akibat area yang tidak terpantau oleh operator. Metode yang digunakan meliputi identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sensor dan *wiring diagram*, perakitan alat, hingga pengujian kinerja sistem. Sistem dirancang menggunakan sensor ultrasonik JSN-SR04 yang dipasang pada beberapa titik strategis *forklift*, dengan Arduino Mega sebagai unit utama, LED, *buzzer*, dan LCD sebagai indikator peringatan. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi sensor sebesar 99,65% dengan nilai *error*

rata-rata 0,35 dan dengan sudut baca sensor 0 derajat. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini secara *real-time* kepada operator sehingga memberikan waktu jeda yang cukup untuk melakukan pengereman sebelum terjadi benturan. Penelitian ini dapat menjadi solusi teknologi keselamatan kerja (K3) yang sederhana, terjangkau, dan sesuai diterapkan pada lingkungan pendidikan vokasi maupun industri.

Kata kunci: *Blind spot, forklift*, sensor ultrasonik, JSN-SR04, keselamatan kerja (K3).

**Penerapan Safety Alarm Berdasarkan Sensor Jarak
Pada Area *Blind Spot* Forklift Untuk Mencegah
Kecelakaan di *Workshop* Politeknik Negeri Madura**

Name : Rizky Ageng Rahmadany
NRP : 33212301016
Supervisor 1 : M. Anas Fikri, S.T., M.T
Supervisor 2 : Bayu Praharsena, S.ST., M.T.

ABSTRACT

The blind spot area on forklifts is one of the main causes of workplace accidents, particularly in vocational education environments such as Madura State Polytechnic, where students are still in the learning stage of operating heavy equipment. This study aims to design and implement an early warning system based on ultrasonic sensors to reduce the risk of accidents caused by areas that are not visible to the operator. The method used includes problem identification, literature review, sensor and wiring diagram design, tool assembly, and system performance testing. The system was designed using JSN-SR04 ultrasonic sensors installed at several strategic points on the forklift, with an Arduino Mega as the main processing unit, along with LEDs, a buzzer, and an LCD as warning indicators. The test results show that the sensor achieved an accuracy of 99.65% with an average error value of 0.35%, and with a sensor reading

angle of 0 degrees. These results indicate that the system can provide real-time early warnings to the operator, giving sufficient lead time to brake before a collision occurs. This research is to serve as a simple, affordable, and applicable occupational health and safety (OHS) technology solution for both vocational education and industrial environments.

Keywords: *Blind spot, forklift, ultrasonic sensor, JSN-SR04, occupational health and safety (OHS).*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa yang telah memberi kekuatan, kemampuan, dan kesabaran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Tujuan penulisan tugas akhir adalah memenuhi salah satu persyaratan bagi mahasiswa untuk dapat menyelesaikan pendidikan Diploma-3 Program Studi Teknik Mesin Alat Berat jurusan Rekayasa Mesin dan Industri di Politeknik Negeri Madura.

Dalam tugas akhir ini, penulis berperan sebagai perancang dan pengembang sistem keselamatan kerja berupa *safety alarm* berbasis sensor jarak pada *forklift*. Berdasarkan perancangan dan penerapan sistem tersebut, penulis menyusun laporan TA berjudul **Penerapan Safety Alarm Berdasarkan Sensor Jarak Pada Area *Blind Spot* Forklift Untuk Mencegah Kecelakaan di Workshop Politeknik Negeri Madura**

Laporan TA ini tidak akan selesai dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, dan dorongan dari orang-orang yang berada di sekitar penulis. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Yth. Ibu Laily Ulfiyah, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Madura.
2. Yth. Bapak Mohammad Anas Fikri, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri, Prodi D3 Teknik Mesin Alat Berat dan sebagai dosen

- pembimbing 1 yang telah memberikan semangat, motivasi serta dukungan sehingga tugas akhir ini dapat selesai.
3. Yth. Bapak Amin Jakfar, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan.
 4. Yth. Ibu Faizatur Rohmah, S.Si., M.Si. selaku koordinator Tugas Akhir Politeknik Negeri Madura.
 5. Yth Bapak Bayu Praharsena, S.ST., M.T. Selaku dosen pembimbing 2
 6. Para dosen dan tenaga kependidikan Politeknik Negeri Madura yang telah melayani mahasiswa selama penulis menempuh pendidikan di sini.
 7. Kedua orang tua saya Simin dan Istiqomah. Terima kasih atas segala doa serta pengorbanan dan tulus kasih sayang yang telah diberikan kepada saya. Beliau memang tidak sempat merasakan pendidikan dibangku perkuliahan, namun mereka mampu senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan serta memberikan perhatian dan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
 8. Kepada Iqlima Maulina serta teman-teman Teknik Mesin Alat Berat. Terima kasih telah memberikan semangat dan motivasi.

Sampang, 23 Juli 2026,



Rizky Ageng Rahmadany
NRP. 33212301016

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	7
2.2 Landasan Teori.....	14
2.2.1. Pengertian <i>Forklift</i>	14
2.2.2. <i>Blind spot</i>	15

2.2.3. Sensor Jarak Ultrasonik	16
2.2.4. Arduino	17
2.2.5. Arduino IDE	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Tahapan Penelitian.....	20
3.1.1. <i>Flowchart</i> Sistem Alat	22
3.1.2. <i>Block Diagram</i>	24
3.1.3. Rangkaian Sistem	24
3.2 Letak Sensor Pada <i>Forklift</i>	26
3.3 Alat dan Bahan.....	27
3.3.1. Alat	27
3.3.2. Bahan	27
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Perancangan Sistem Sensor Ultrasonik pada <i>Forklift</i>	29
4.1.1. Perakitan alat	30
4.1.2. Pemrograman system.....	31
4.2. Penerapan Sistem serta Pengujian Kinerja Sistem Sensor JSN-SR04	32
4.2.1. Hasil pengujian kinerja sensor.....	32
4.2.2. Tipe Program	34

4.3. Pembahasan berupa Analisa Efektivitas Sistem terhadap Pencegahan Kecelakaan.....	36
BAB V PENUTUP	38
5.1. Kesimpulan.....	38
5.2. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
BAB VI LAMPIRAN	42
Lampiran 6.1 Program yang Digunakan.....	42
BAB VII BIODATA PENULIS	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	11
Tabel 4.1 Nilai pengujian kinerja sensor JSN-SR04	34
Tabel 6.1. Dokumentasi Kegiatan.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain Sistem Anti Blind spot Alat Berat....	8
Gambar 2.2 Perancangan Alat Sensor Parkir Mobil.....	9
Gambar 2.3 Sensor Ultrasonic HC SR04 3	9
Gambar 2.4 Radar Ultrasonik Menggunakan Arduino ..	10
Gambar 2.5 Blind spot pada forklift.....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Sistem Alat	23
Gambar 3.3 Block Diagram.....	24
Gambar 3.4 Rangkaian Sistem	25
Gambar 4.1. Desain Rangkaian PCB.....	30
Gambar 4.2. Perakitan komponen pada PCB	31
Gambar 4.3. Penginputan program.....	32
Gambar 4.4 Pengukuran Jarak.....	33
Gambar 4.5 Nilai Pembacaan Sensor	33

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Potensi Bahaya pada alat berat bisa muncul dari beberapa hal, seperti kelalaian operator, medan yang miring, area kerja yang sempit dan juga area dimana operator tidak bisa melihat atau area *blind spot*. Semua ini bisa berpotensi menyebabkan kecelakaan, luka, kerusakan alat, atau masalah bagi keselamatan orang dan lingkungan jika tidak di kelola dengan baik Maka dari itu, menemukan dan mengontrol potensi bahaya sangat penting untuk menjaga keselamatan dan kesehatan kerja (K3) saat menggunakan alat berat.

Kecelakaan di area *blind spot* pada *forklift* dapat berdampak serius, mulai dari cedera ringan hingga kecelakaan fatal, baik terhadap operator maupun personel lain di sekitar area *workshop*. Lingkungan pendidikan memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi karena aktivitas praktikum melibatkan mahasiswa dan instruktur dalam area *workshop* yang terbatas. Oleh karena itu, diperlukan upaya peningkatan sistem keselamatan kerja melalui pemanfaatan teknologi yang mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya di area *blind spot forklift*. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, tercatat sebanyak 103.645 kecelakaan yang melibatkan *forklift* di Indonesia pada tahun 2021, dengan korban jiwa mencapai 25.266 orang, 10.553 orang mengalami luka berat,

117.913 orang mengalami luka ringan, dan kerugian materi mencapai 246.653 juta rupiah.

Dalam konteks Politeknik Negeri Madura, khususnya pada Program Studi D3 Teknik Mesin Alat Berat, penggunaan *forklift* merupakan bagian dari kegiatan praktikum di *workshop* yang melibatkan mahasiswa dan dosen secara langsung. Aktivitas pembelajaran berbasis praktik ini menuntut tingkat keselamatan kerja yang tinggi karena mahasiswa masih berada pada tahap pembelajaran dan berpotensi melakukan kesalahan operasional. Kondisi *workshop* yang terbatas serta intensitas aktivitas yang cukup padat meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan, terutama akibat area *blind spot forklift*. Oleh karena itu, diperlukan penerapan sistem keselamatan tambahan yang sesuai dengan lingkungan pendidikan vokasi, sehingga dapat mendukung terciptanya proses pembelajaran yang aman, efektif, dan sesuai dengan standar keselamatan kerja di *Workshop* Politeknik Negeri Madura.

Salah satu solusi teknologi yang dapat diterapkan untuk mengurangi area *blind spot forklift* adalah sistem sensor ultrasonik. Sensor ultrasonik bekerja dengan memancarkan gelombang suara frekuensi tinggi dan menerima pantulan gelombang tersebut untuk mendeteksi keberadaan serta objek di sekitarnya. Teknologi ini terbukti efektif dalam sistem pemantauan *blind spot* karena mampu memberikan informasi jarak secara real time dan dapat diintegrasikan dengan sistem peringatan berupa alarm atau indikator visual. Sensor jarak ultrasonik

adalah alat yang menggunakan gelombang suara ultrasonik untuk menemukan benda di depannya. Cara sensor ini bekerja mirip dengan cara keelawar mendeteksi benda di sekitarnya. Prosesnya dimulai ketika pemancar gelombang ultrasonik mengeluarkan gelombang suara, kemudian gelombang suara tersebut akan dipantulkan oleh objek dan gelombang yang kembali itu diterima oleh alat penerima di sensor ultrasonik. Namun, dalam praktiknya, benda atau target yang terdeteksi tidak selalu memiliki bentuk yang sama.[1]

Penerapan sensor ultrasonik pada alat berat di *Workshop* Politeknik Negeri Madura diharapkan dapat meningkatkan kewaspadaan mahasiswa pada saat melakukan praktikum pengoperasian *forklift* terhadap objek di area *blind spot* serta meminimalkan risiko kecelakaan kerja. Selain meningkatkan aspek keselamatan, penerapan sistem ini juga menjadi sarana pembelajaran berbasis teknologi bagi mahasiswa, sehingga mampu mendukung pengembangan kompetensi sesuai dengan kebutuhan industri modern dan standar keselamatan kerja.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perancangan dan penerapan sistem sensor ultrasonik pada area *blind spot* alat berat di *workshop* Politeknik Negeri Madura?

2. Bagaimana prinsip kerja sistem sensor ultrasonik pada area *blind spot* alat berat khususnya *forklift* mempengaruhi efektivitas pencegahan kecelakaan di *workshop* Politeknik Negeri Madura?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Alat berat yang di *forklift* yang digunakan di *workshop* Politeknik Negeri Madura, tanpa membahas seluruh jenis alat berat di luar lingkungan tersebut.
2. Sensor yang diterapkan pada penelitian ini yaitu sensor ultrasonik.
3. Tidak membahas detail dasar-dasar pemrograman
4. Alat ini berfokus pada safety alarm memberitahu tanda peringatan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perancangan dan penerapan sensor ultrasonik pada area *blind spot* alat berat di *Workshop* Politeknik Negeri Madura.
2. Mengetahui kinerja sistem sensor ultrasonik pada area *blind spot* alat berat khususnya *forklift* mempengaruhi efektivitas pencegahan kecelakaan di *workshop* Politeknik Negeri Madura.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan bisa memberikan kontribusi untuk pengembangan ilmu dan teknologi, khususnya di bidang keselamatan dan kesehatan kerja (K3) serta sistem deteksi objek menggunakan sensor ultrasonik pada alat berat. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan acuan akademis untuk penelitian di masa depan yang berkaitan dengan pencegahan kecelakaan yang diakibatkan oleh area yang tidak terlihat.

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi *workshop* Politeknik Negeri Madura

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan tingkat keselamatan kerja dengan meminimalkan risiko kecelakaan yang disebabkan oleh area *blind spot* pada pengoperasian alat berat.

- b. Bagi mahasiswa

Memberikan peringatan awal tentang objek yang ada disekitar alat berat sehingga bisa meningkatkan kewaspadaan, keselamatan, dan

pemahaman tentang penerapan teknologi K3 dengan cara yang nyata.

c. Bagi Pendidikan Vokasi

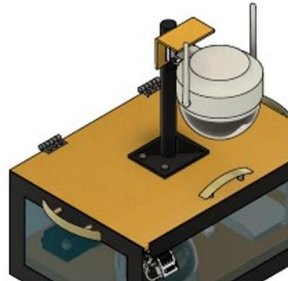
Sebagai pilihan solusi teknologi yang sederhana dan bisa diterapkan serta dapat disesuaikan di lingkungan *workshop* atau industri untuk meningkatkan keselamatan kerja.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

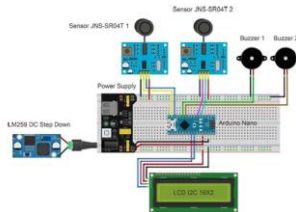
Penelitian tentang penggunaan sensor pada alat berat bertujuan untuk mengurangi kecelakaan kerja di area blind spot. Banyak peneliti sebelumnya telah melakukan studi mengenai hal ini, dengan banyak fokus pada penggunaan sensor pada forklift untuk mengatasi masalah blind spot. Menurut pitriadai et al pada tahun 2024, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Sistem Pemantauan Portabel yang bisa mengatasi masalah tempat yang tidak terlihat pada alat berat, seperti excavator dan bulldozer, dengan memanfaatkan teknologi kamera 360 derajat. Berdasarkan pengujian yang dilakukan di Bengkel Perawatan Alat Berat Politeknik Negeri Ungjung Pandang selama delapan bulan. hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan kamera 360 dapat mengurangi area yang tidak terlihat. Untuk ekskavator 313D menunjukkan penurunan sebesar 83,57% sementara bulldozer D3K turun sebesar 79,82%. Penemuan ini menunjukkan bahwa inovasi teknologi sangat penting untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi dalam operasi alat berat. [2]



Gambar 2.1 Desain Sistem Anti Blind spot Alat Berat

Sumber : [2]

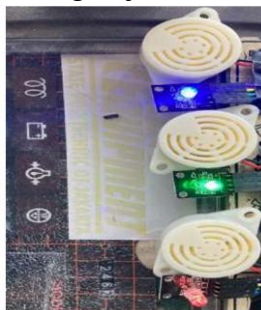
Penelitian yang lain yang dilakukan oleh Fahrezi dan Yuliendi pada tahun 2023, penelitian ini menjelaskan tentang pembuatan prototipe alat yang bisa mendeteksi jarak aman untuk memarkir mobil dengan menggunakan sensor ultrasonik yang berbasis Arduino. Alat ini dibuat untuk membantu pengemudi menghindari titik buta dan mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan saat parkir. Sistem ini memanfaatkan sensor JSN-SR04T untuk mengukur jarak dan memberikan tanda melalui layar LCD dan buzzer, dengan tingkat jarak yang ditentukan untuk keamanan. Hasil uji coba memperlihatkan bahwa alat ini efektif dalam memberikan informasi jarak yang tepat, sehingga dapat meningkatkan keselamatan saat memarkir. [3]



Gambar 2.2 Perancangan Alat Sensor Parkir Mobil

Sumber : [3]

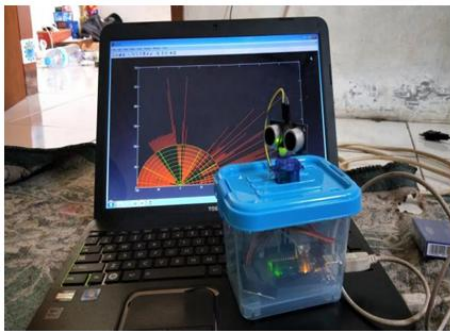
Menurut Sari et al pada tahun 2022, penelitian menjelaskan pengembangan sistem sensor parkir otomatis yang menggunakan mikrokontroler untuk membantu pengemudi, terutama pemula dan lansia, dalam memarkir kendaraan di area blind-spot. Sistem ini memanfaatkan sensor ultrasonik HCR-04 untuk mendeteksi jarak objek di sekitar kendaraan, memberikan sinyal peringatan kepada pengemudi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi proses parkir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengurangi kesalahan parkir dan berkontribusi dalam mengatasi masalah parkir yang sering terjadi di Indonesia.[4]



Gambar 2.3 Sensor Ultrasonic HC SR04 3

Sumber : [4]

Menurut Dhaifullah et al pada tahun 2024, Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat sistem *Blind Spot Monitoring System* (BSMS) memakai Arduino dan sensor ultrasonik HC-SR04 di *Workshop* Alat Berat Politeknik Negeri Jakarta. Dengan teknologi ini, BSMS bisa mengetahui keberadaan objek di wilayah yang tidak terlihat dan memberikan sinyal kepada operator lewat LED RGB dan buzzer, sehingga meningkatkan keselamatan saat bekerja. Metode yang digunakan mencakup melakukan penelitian, membangun perangkat keras, pengkodean, dan pengujian, yang menunjukkan bahwa sistem ini bekerja dengan baik dalam mendeteksi objek dan mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan di tempat kerja yang ramai. [5]



Gambar 2.4 Radar Ultrasonik Menggunakan Arduino
Sumber : [5]

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Tinjauan (Judul & Peneliti)	Sensor Ultrasonik / LiDAR / Kamera 360°
1	Analisis dan Pengurangan <i>Blind Spot</i> pada Alat Berat (<i>Excavator</i> dan <i>Bulldozer</i>) Melalui Implementasi Kamera 360 <i>Peri Pitriadi, Muh. Iqbal M., Muhammad Iswar, A. Ariputra (2024)</i>	Kamera 360° : Penelitian tentang penggunaan sensor pada alat berat bertujuan untuk mengurangi kecelakaan kerja di area blind spot. Banyak peneliti sebelumnya telah melakukan studi mengenai hal ini, dengan banyak fokus pada penggunaan sensor pada forklift untuk mengatasi masalah blind spot. Kelebihan: Memberikan visualisasi real-time area sekitar alat berat, Mampu menurunkan blind spot hingga 83,57% pada Excavator 313D dan 79,82% pada Bulldozer D3K, Mendukung pemantauan jarak jauh. Kekurangan: Ketergantungan pada pencahayaan, Masih terdapat blind spot kecil di sudut tertentu
2	Prototype Alat Sensor Jarak Aman Parkir Mobil Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino. <i>Reza Fahrezi, Rangga Rahmadian Yuliendi, Yandri (2023)</i>	Sensor Ultrasonik : penelitian ini menjelaskan tentang pembuatan prototipe alat yang bisa mendeteksi jarak aman untuk memarkir mobil dengan menggunakan sensor ultrasonik yang berbasis Arduino. Kelebihan: Biaya rendah, mudah diimplementasikan, dan dapat mendeteksi jarak dengan akurasi dari 25 cm hingga 450 cm. Kekurangan: Rentan terhadap gangguan dari suara

Tugas Akhir TMAB

No	Tinjauan (Judul & Peneliti)	Sensor Ultrasonik / LiDAR / Kamera 360°
		dan cuaca, serta memiliki sudut pengukuran terbatas.
3	Prototype Sensor Parking Otomatis Pada Area <i>Blind-Spot</i> Kendaraan Menggunakan Mikrokontroler <i>H. P. Muhammad Alvin Syahrin, Arini, Husni Teja Sukmana, Anggraeni Endah Kusumaningrum (2022)</i>	LiDAR : Penelitian menjelaskan pengembangan sistem sensor parkir otomatis yang menggunakan mikrokontroler untuk membantu pengemudi, terutama pemula dan lansia, dalam memarkir kendaraan di area blind-spot. Sistem ini memanfaatkan sensor ultrasonik HCR-04 untuk mendeteksi jarak objek di sekitar kendaraan, memberikan sinyal peringatan kepada pengemudi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi proses parkir. Kelebihan: Mampu menghasilkan peta 3D yang sangat akurat dan detail dari lingkungan sekitar. Efektif untuk pengukuran jarak jauh dan dapat beroperasi dalam berbagai kondisi pencahayaan. Kekurangan: Biaya tinggi dibandingkan dengan sensor lainnya, Memerlukan pemrosesan data yang lebih kompleks dan sumber daya yang lebih besar.

Tugas Akhir TMAB

No	Tinjauan (Judul & Peneliti)	Sensor Ultrasonik / LiDAR / Kamera 360°
4	Rancang Bangun Blind Spot Monitoring System Dengan Menggunakan Arduino Dan Sensor Ultrasonic HC-SR04 Pada Workshop Alat Berat Politeknik Negeri Jakarta <i>Wira Dhaifullah, Dedi Junaedi, Dewin Purnama (2024)</i>	Sensor Ultrasonik : Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat sistem <i>Blind Spot Monitoring System</i> (BSMS) memakai Arduino dan sensor ultrasonik HC-SR04 di <i>Workshop</i> Alat Berat Politeknik Negeri Jakarta. Dengan teknologi ini, BSMS bisa mengetahui keberadaan objek di wilayah yang tidak terlihat dan memberikan sinyal kepada operator lewat LED RGB dan buzzer, sehingga meningkatkan keselamatan saat bekerja. Kelebihan: Mampu mendeteksi objek dalam jarak yang bervariasi (kurang dari 100 cm hingga lebih dari 300 cm), Biaya rendah dan mudah digunakan dengan Arduino. Kekurangan: Kinerja dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti cuaca, Terbatas pada jarak deteksi yang lebih pendek dibandingkan teknologi lain.

Sumber : Diolah Oleh Peneliti

Berdasarkan celah penelitian sebelumnya, penelitian ini mengambil pendekatan penggunaan sensor ultrasonik 3 titik yang ditempatkan pada beberapa sisi strategis *forklift* (depan, belakang, dan samping). Konfigurasi Tiga titik ini diharapkan mampu memberikan cakupan deteksi yang lebih menyeluruh, meningkatkan akurasi peringatan dini, serta meminimalkan area blind spot yang tidak terpantau. Selain itu, penggunaan sensor ultrasonik dipilih karena biaya yang relatif rendah, kemudahan integrasi, serta kesesuaian dengan kebutuhan lingkungan pendidikan vokasi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya melanjutkan penelitian-penelitian sebelumnya, tetapi juga memberikan kebaruan (*novelty*) berupa penerapan multi-sensor ultrasonik 3 titik pada forklift, yang secara spesifik dirancang untuk meningkatkan keselamatan kerja di area workshop pendidikan, sekaligus sebagai media pembelajaran teknologi keselamatan kerja (K3) berbasis sistem sensor.

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Pengertian *Forklift*

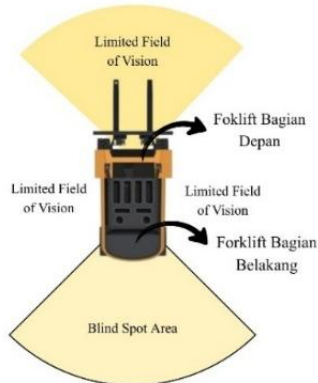
Forklift adalah kendaraan yang difungsikan sebagai alat angkat dan angkut dalam memudahkan pemindahan bahan beban/barang berkapasitas besar baik dalam ruangan maupun luar ruangan, termasuk dalam kegiatan bongkar muat di industri. [6] Dalam lingkungan pendidikan vokasi, khususnya di *workshop* Politeknik Negeri Madura, alat berat digunakan sebagai sarana

praktikum sehingga interaksi langsung antara operator, mahasiswa, dan alat berat memiliki risiko kecelakaan kerja yang cukup tinggi apabila tidak dilengkapi dengan sistem keselamatan yang memadai. Ukuran fisik alat berat yang besar serta keterbatasan desain kabin operator menyebabkan beberapa area di sekitar alat tidak dapat terlihat secara langsung, sehingga berpotensi menimbulkan bahaya keselamatan kerja.

2.2.2. *Blind spot*

Area titik buta pada *forklift* adalah area di sekitar *forklift* yang tidak dapat diamati oleh pengemudi. Titik buta timbul karena adanya keterbatasan penglihatan pengemudi saat berkendara. [2] Rancang bangun *blind spot* memberikan peringatan kepada pengemudi dengan menggunakan LCD, LED, dan *buzzer* yang terhubung dengan sensor dan mikrokontroler. Tujuan pembuatan aplikasi ini adalah untuk membantu mempelajari teknologi *blind spot*, cara kerja, prinsip kerja, dan perkembangan terkini. Ini bertujuan menambah pengetahuan pembaca tentang pentingnya alat

blind spot untuk menjaga dan mencegah kecelakaan saat berkendara. [7]



Gambar 2.5 Blind spot pada forklift

Sumber : diolah oleh peneliti

2.2.3. Sensor Jarak Ultrasonik

Sensor jarak ultrasonik adalah memancarkan gelombang ultrasonik ke objek, dan gelombang tersebut akan kembali setelah mengenai permukaan objek. Sensor ultrasonik banyak digunakan dalam sistem keselamatan karena memiliki keunggulan seperti akurasi yang baik pada jarak dekat, waktu respon cepat, biaya relatif rendah, serta mudah diintegrasikan dengan sistem mikrokontroler. Sensor ini sangat efektif untuk mendeteksi keberadaan objek di area *blind spot* alat berat. Pada penelitian ini sensor yang digunakan adalah sensor JSN-SR04 yang dikarenakan memiliki kelebihan tahan terhadap air

dan memiliki jarak minimum 20 cm dan jarak maksimum sebesar 600 cm, membutuhkan tegangan sebesar 5v untuk sudut ukur 0 derajat.

Rumus yang digunakan dalam pengujian kinerja sensor yaitu rata-rata, *error* dan akurasi sensor. Nilai *error* pada pengujian kinerja sensor bernilai persen dengan rentang nilai $\pm 0\%$ - $\pm 3\%$ dan nilai akurasi rentang 97% - 99,9% [8]

Rumus rata-rata

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{n} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$\bar{x}$ = mean / rata rata

x = hasil pengukuran

n = jumlah pengukuran

Rumus Error

$$Error (\%) = \left| \frac{x_a - \bar{x}}{x_a} \right| \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan :

x_a = jarak acuan

$\bar{x}$ = mean / rata rata

Rumus Akurasi

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error(\%) \quad (2.3)$$

2.2.4. Arduino

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* kecil yang berfungsi sebagai pengatur utama dalam

sistem elektronik. Mikrokontroler memiliki memori, pin untuk komunikasi, pin untuk input dan output, serta sistem untuk mengubah sinyal analog menjadi digital. Seiring dengan perkembangannya, mikrokontroler dibuat bersama dengan papan pengembangan yang membuatnya lebih mudah untuk menulis program di dalam mikrokontroler. Mikrokontroler arduino adalah salah satu jenis mikrokontroler yang memiliki memori dengan kapasitas 10-bit, yang artinya bisa menyimpan sampai 1023. Arduino Mega 2560 adalah salah satu jenis mikrokontroler yang dibuat oleh perusahaan Arduino, yang memiliki lebih banyak pin digital dan analog dibandingkan dengan jenis Arduino lain nya, seperti Arduino micro, nano, dan uno.[9]

2.2.5. Arduino IDE

IDE adalah perangkat lunak penting dalam pemrograman, kompilasi biner, dan unduhan memori mikrokontroler. Arduino menjadi populer karena sifatnya yang open source, baik hardware maupun software. Skema Arduino tersedia gratis untuk semua orang, memungkinkan pengunduhan gambar, pembelian komponen, pembuatan PCB, dan rakitan sendiri tanpa biaya. Arduino IDE juga bisa diunduh dan diinstal secara gratis. Kita harus menghargai tim Arduino yang telah berbagi hasil kerja keras mereka. Kualitas tinggi dan desain

canggih perangkat keras dan IDE Arduino sangat mengesankan. menggunakan bahasa C++ yang dipermudah lewat library. Program ditulis dengan Software Processing, yang menggabungkan C++ dan Java, dan dapat di-install di Linux, Mac OS, dan Windows. Arduino adalah kombinasi hardware, bahasa pemrograman, dan Integrated Development Environment (IDE), yang berfungsi untuk menulis, meng-compile, dan meng-upload program ke microcontroller.[10]

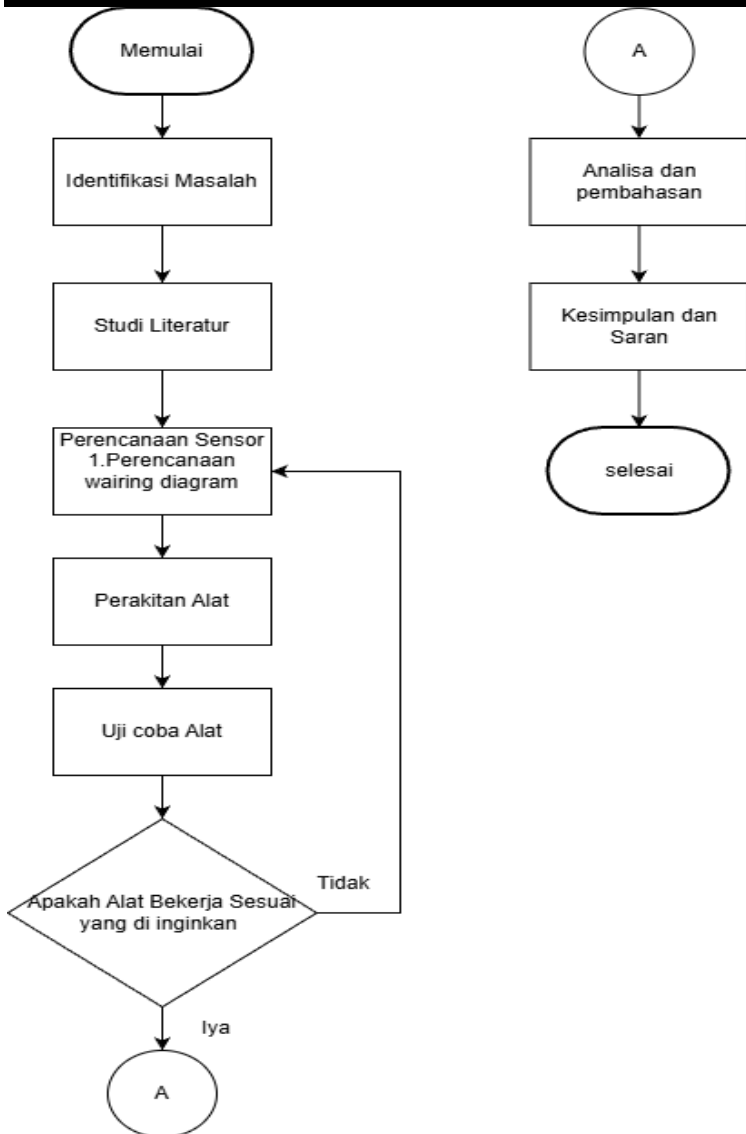
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Diagram alir ini di tunjukan pada gambar 3.1 disusun untuk menggambarkan proses kerja sistem alarm keselamatan berbasis sensor jarak pada area *blind spot forklift* di *Workshop* Politeknik Negeri Madura.

Diagram Alir Penelitian

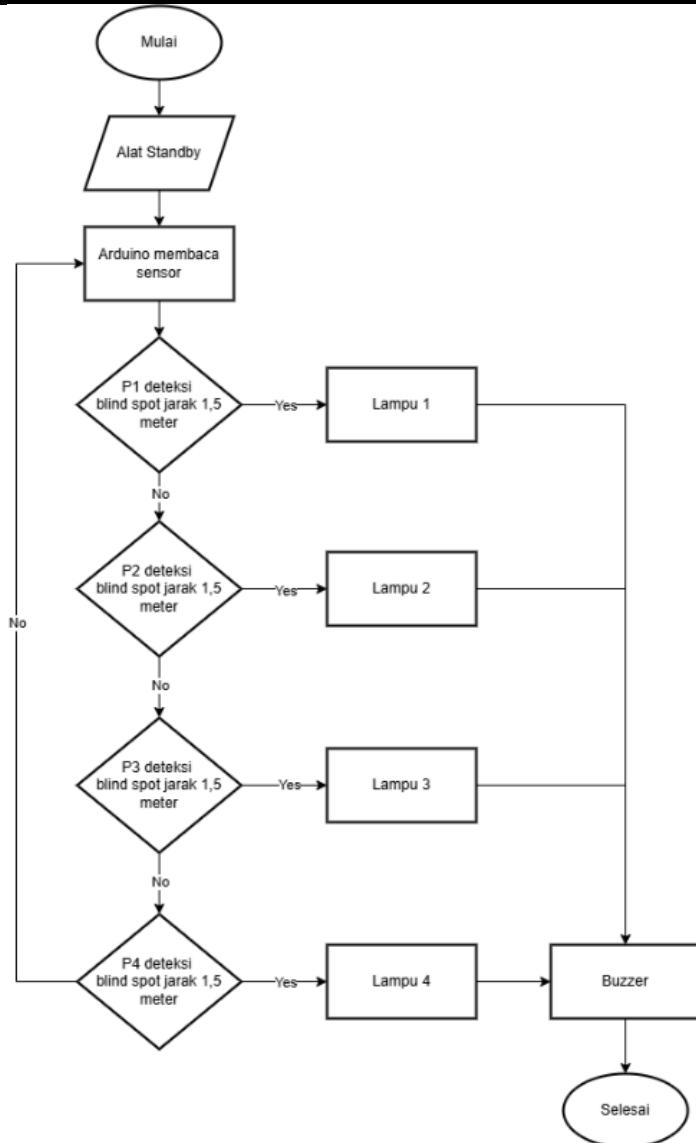


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber: di olah oleh peneliti

3.1.1. *Flowchart* Sistem Alat

Sistem yang dirancang memerlukan alur kerja yang jelas agar setiap proses dapat berjalan secara terstruktur dan sistematis. Oleh karena itu, digunakan flowchart untuk menggambarkan tahapan kerja sistem secara keseluruhan, mulai dari kondisi awal alat hingga keluaran yang dihasilkan. Adapun flowchart alur kerja sistem ditunjukkan pada gambar 3.2.

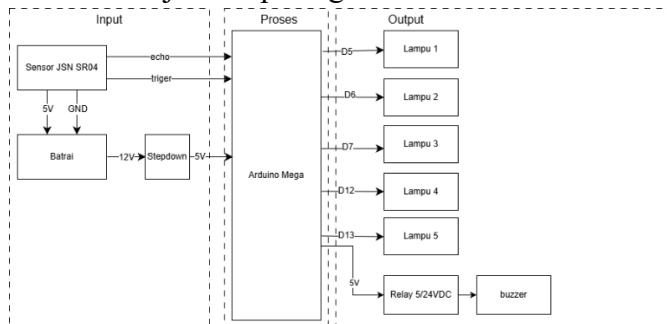


Gambar 3.2 *Flowchart* Sistem Alat

Sumber: diolah oleh peneliti

3.1.2. Block Diagram

Untuk mempermudah pemahaman mengenai hubungan antara komponen masukan, proses pengolahan data, dan keluaran sistem, maka disusun diagram Input-Proses-Output (IPO). Diagram ini menunjukkan bagaimana data dari sensor dan sumber daya diproses oleh mikrokontroler hingga menghasilkan output berupa indikator peringatan. Adapun diagram IPO sistem ditunjukkan pada gambar 3.3.

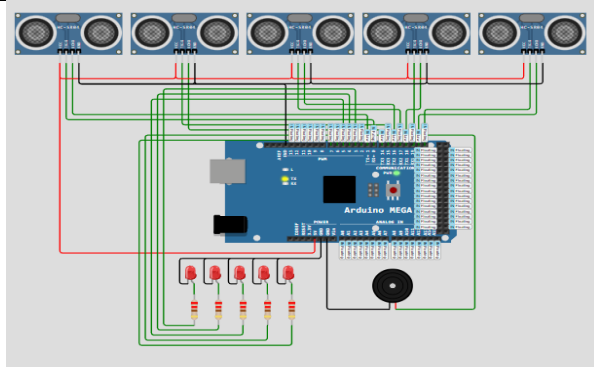


Gambar 3.3 Block Diagram

Sumber: diolah oleh peneliti

3.1.3. Rangkaian Sistem

Gambar berikut menunjukkan rangkaian sistem yang menghubungkan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan Arduino Mega serta output LED dan buzzer.



Gambar 3.4 Rangkaian Sistem
Sumber: diolah oleh peneliti

3.2 Letak Sensor Pada *Forklift*



Memperlihatkan tampilan bagian belakang *forklift* beserta letak pemasangan sensor jarak. Sensor ditempatkan pada sisi kiri dan kanan bagian belakang *forklift* untuk mendeteksi keberadaan objek di area *blind spot*. Penempatan sensor ini bertujuan untuk memberikan peringatan dini kepada operator melalui sistem *safety alarm* apabila terdeteksi objek pada jarak tertentu, sehingga dapat meningkatkan keselamatan kerja di lingkungan *workshop*.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1. Alat

A. *Forklift*

Digunakan sebagai objek penelitian untuk penerapan sistem *safety alarm* pada area *blind spot*.

B. Laptop/Komputer

Digunakan untuk pemrograman mikrokontroler, pengujian sistem, serta dokumentasi hasil penelitian.

C. Peralatan Pendukung

Meliputi obeng, tang, solder, dan alat bantu lainnya yang digunakan dalam proses perakitan system.

3.3.2. Bahan

A. Mikrokontroler Arduino Mega

Berfungsi sebagai pusat pengendali sistem yang mengolah data dari sensor jarak dan mengaktifkan safety alarm.

- B. Sensor Jarak Ultrasonik JSN-SR04
Digunakan untuk mendeteksi jarak objek pada area blind spot forklift.
- C. *Buzzer*/Alarm
Berfungsi sebagai indikator peringatan suara ketika objek terdeteksi pada jarak tertentu.
- D. LED (*Light Emitting Diode*)
Digunakan sebagai indikator visual peringatan tambahan.
- E. Kabel Jumper
Digunakan untuk menghubungkan antar komponen elektronik.

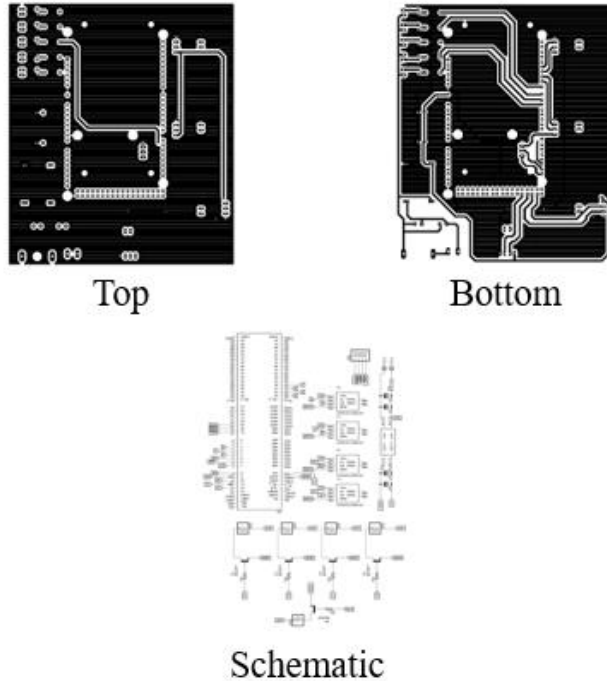
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Perancangan Sistem Sensor Ultrasonik pada *Forklift*

Pada sub bab ini diuraikan secara sistematis proses perancangan sistem sensor ultrasonik sebagai alat bantu keselamatan pada area *blind spot forklift* di *workshop* Politeknik Negeri Madura. Perancangan dilakukan melalui beberapa tahapan meliputi identifikasi kebutuhan sistem, pemilihan komponen, perancangan PCB (*Printed Circuit Board*) dan pemrograman sistem.

4.1.1. Perakitan alat



Gambar 4.1. Desain Rangkaian PCB

Sumber: diolah oleh peneliti

Proses perakitan ini didahului dengan mendesain. Tahap perakitan alat merupakan proses penyusunan seluruh komponen elektronik menjadi suatu sistem yang dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Perakitan diawali dengan pemasangan setiap komponen pada PCB (*Printed Circuit Board*). Kemudian dilakukan penyolderan untuk menghubungkan jalur listrik antar komponen

sehingga membentuk rangkaian yang permanen dan stabil.



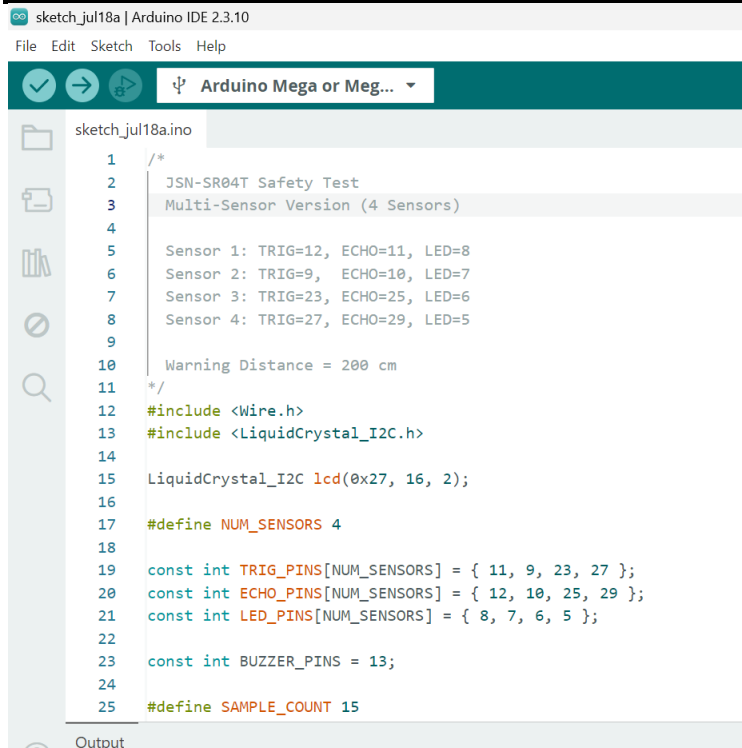
Gambar 4.2. Perakitan komponen pada PCB

Sumber: diolah oleh peneliti

Setelah seluruh komponen terpasang pada PCB, dilakukan pengujian koneksi menggunakan multimeter untuk memastikan tidak terdapat hubungan singkat (*short circuit*) maupun jalur yang terputus. Selanjutnya rangkaian dipasang pada kotak pelindung (*enclosure*) agar komponen terlindungi dari debu, benturan, maupun getaran yang terjadi saat *forklift* beroperasi.

4.1.2. Pemrograman system

Setelah proses perakitan perangkat keras selesai, tahap berikutnya adalah pemrograman sistem menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Program dibuat menggunakan bahasa pemrograman C/C++ yang berfungsi untuk mengendalikan seluruh komponen sesuai dengan logika kerja sistem.



```

sketch_jul18a.ino
1  /*
2   JSN-SR04T Safety Test
3   Multi-Sensor Version (4 Sensors)
4
5   Sensor 1: TRIG=12, ECHO=11, LED=8
6   Sensor 2: TRIG=9,  ECHO=10, LED=7
7   Sensor 3: TRIG=23, ECHO=25, LED=6
8   Sensor 4: TRIG=27, ECHO=29, LED=5
9
10  Warning Distance = 200 cm
11  */
12  #include <Wire.h>
13  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
14
15  LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
16
17  #define NUM_SENSORS 4
18
19  const int TRIG_PINS[NUM_SENSORS] = { 11, 9, 23, 27 };
20  const int ECHO_PINS[NUM_SENSORS] = { 12, 10, 25, 29 };
21  const int LED_PINS[NUM_SENSORS] = { 8, 7, 6, 5 };
22
23  const int BUZZER_PINS = 13;
24
25  #define SAMPLE_COUNT 15
  
```

Gambar 4.3. Penginputan program
Sumber: diolah oleh peneliti

4.2. Penerapan Sistem serta Pengujian Kinerja Sistem Sensor JSN-SR04

Pengujian sensor JSN-SR04 dan outputnya alat *blind spot monitoring system* pada *forklift* diterapkan pada jarak objek yang berbeda-beda.

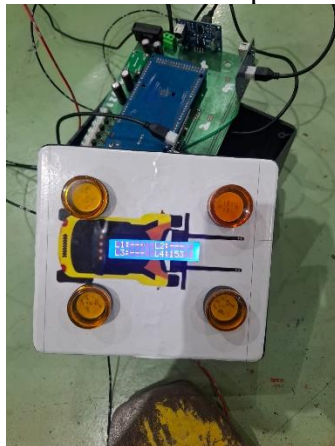
4.2.1. Hasil pengujian kinerja sensor

Pengujian kinerja sensor ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor JSN-

SR04 terhadap pengukuran sebenarnya berdasarkan rumus yang telah ditentukan sebelumnya dan proses pengukuran pada lapangan.



Gambar 4.4 Pengukuran Jarak
Sumber: diolah oleh peneliti



Gambar 4.5 Nilai Pembacaan Sensor
Sumber: diolah oleh peneliti

Berikut data pengukuran pengujian kinerja sensor berdasarkan data lapangan:

Tabel 4.1 Nilai pengujian kinerja sensor JSN-SR04

Meteran	Pengukuran				Rata-rata	Error	Akurasi
(cm)	1	2	3	4	(cm)	%	%
50	49	51	49	50	49,8	0,50%	99,5%
100	98	101	99	100	99,5	0,50%	99,5%
150	150	153	147	149	149,8	0,17%	99,8%
200	198	199	201	200	199,5	0,25%	99,8%
Nilai Rata-rata						0,35%	99,65%

(Sumber : diolah oleh peneliti)

Pada tabel 4.1 dapat diketahui bahwa kinerja sensor telah memenuhi persyaratan dengan nilai *error* sebesar 0,35% dan akurasi kinerja sensor mencapai 99,65%. [8]

4.2.2. Tipe Program

Pemograman ini dilakukan untuk mengatur bunyi *Buzzer* dengan dan *lamp* sehingga bunyi *buzzer* dan nyala lamp dapat dibedakan dari jarak ketika sensor mentrigger benda atau orang.

a. Program Zona 1

```
// Zona 1 : jarak jauh -> bunyi jeda 1
detik
float BUZZER_ZONE1_MAX_CM      = 150.0;
// batas atas (1,5 m)
```

```
float    BUZZER_ZONE1_MIN_CM      = 100.0;
// batas bawah (1 m)
unsigned long BUZZER_ZONE1_INTERVAL_MS =
1000; // jeda 1 detik
```

Program Zona 1 berfungsi memberikan peringatan dini untuk objek yang terdeteksi pada jarak 1 meter hingga 1,5 meter. Pada rentang ini, *buzzer* diatur berbunyi lambat dengan jeda 1 detik untuk memberi tanda bahwa ada objek yang mulai masuk area pengawasan, meskipun posisinya masih dalam batas aman.

b. Program Zona 2

```
// Zona 2 : jarak sedang -> bunyi jeda
0,5 detik
float    BUZZER_ZONE2_MAX_CM      = 100.0;
// batas atas (1 m)
float    BUZZER_ZONE2_MIN_CM      = 70.0;
// batas bawah (70 cm) -- lihat catatan
di chat
unsigned long BUZZER_ZONE2_INTERVAL_MS =
500; // jeda 0,5 detik
```

Program Zona 2 merespons objek yang berada di jarak sedang, antara 70 cm hingga 1 meter. Begitu objek masuk area ini, jeda bunyi *buzzer* dipercepat menjadi 0,5 detik sekali. Irama suara yang makin cepat ini memberi

sinyal bahwa objek bergerak makin dekat, sehingga kewaspadaan perlu ditingkatkan.

c. Program Zona 3

```
// Zona 3 : jarak sangat dekat / blind  
spot -> bunyi terus (HIGH)  
float    BUZZER_ZONE3_MAX_CM    = 70.0;  
// dari batas ini ke bawah -> bunyi terus
```

Program Zona 3 dirancang untuk mendeteksi objek pada jarak sangat dekat, yaitu di bawah 70 cm yang dikategorikan sebagai area titik buta (*blind spot*). Ketika objek memasuki rentang ini, *buzzer* diaktifkan secara kontinu tanpa jeda. Pola bunyi terus-menerus ini berfungsi sebagai sinyal bahaya utama untuk memberi tahu pengemudi agar segera menghentikan laju kendaraan.

4.3. Pembahasan berupa Analisa Efektivitas Sistem terhadap Pencegahan Kecelakaan

Dalam operasional penggunaan mesin alat berat *forklift* efektivitas sistem peringatan dini (*early warning system*) ditentukan oleh waktu respon sistem yang memadai untuk memberikan kesempatan operator *forklift* menghindari bahaya. 4.2 yang telah dijabarkan didapatkan kesimpulan efektif memberikan Pariasi bunyi buzzer

memberikan zinyal ke operator yang cukup untuk menginjak rem hingga unit berhenti total.

Pemasangan 4 sensor jarak pada *forklift* berhasil mengatasi keterbatasan pandangan (*blind spot*) operator, terutama saat *forklift* membawa muatan besar (*high-stack cargo*) di depan atau saat bergerak mundur. Integrasi sinyal audio (*buzzer*) dan visual (lampu/LCD) secara bersamaan secara signifikan meningkatkan persepsi bahaya dan mempercepat reaksi operator dalam situasi darurat (*emergency braking*). Hal tersebut dapat memenuhi standar hazard chapter 24. [12]

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian, dan analisis data kinerja alat yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem dirancang dengan 3 buah sensor ultrasonik pada titik-titik *blind spot forklift*, mikrokontroler sebagai unit pemroses utama, serta modul *output* berupa tampilan LCD, *buzzer*, dan lampu indikator peringatan. Penerapan sistem pada *forklift* di workshop Politeknik Negeri Madura terbukti berhasil secara fungsional dengan tingkat keandalan (*reliability*) sebesar 100% tanpa.
2. Sistem keselamatan ini bekerja secara otomatis dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak objek di sekitar *forklift* secara *real-time*. Begitu sensor mendeteksi adanya halangan, sistem langsung memproses data tersebut untuk mengaktifkan tiga jenis peringatan bersamaan, yaitu tampilan angka jarak pada layar LCD, nyala lampu indikator, dan bunyi *buzzer*. Sistem efektif meningkatkan keselamatan kerja di *workshop* Politeknik Negeri Madura dalam kecepatan operasional *forklift*

standar *workshop*, hal ini memberikan kesempatan dalam rentang aman yang lebih dari cukup bagi operator untuk melakukan pengereman sebelum terjadi bahaya atau benturan.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian tugas akhir yang telah dilaksanakan saran yang dapat direkomendasikan oleh peneliti adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pendalaman pada kode program (misalnya penggunaan pemrograman berbasis *interrupt* atau *multithreading*) untuk mempercepat *polling time* mikrokontroler, sehingga rentang waktu respon dapat ditekan
2. Untuk sistem generasi berikutnya, sinyal peringatan dari mikrokontroler tidak hanya memicu *buzzer* dan lampu, tetapi juga dihubungkan langsung ke sistem pemutus arus/pengereman otomatis (*active safety system*) pada *forklift*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. N. Arifin, G. F. Pratiwi, and A. Janrafsasih, "SENSOR ULTRASONIK SEBAGAI SENSOR JARAK," vol. 2, no. 2, 2022.
- [2] P. Pitriadi, M. I. M, M. Iswar, and A. Ariputra, "Analisis dan Pengurangan Blind Spot pada Alat Berat (Excavator dan Buldozer) Melalui Implementasi Kamera 360," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 22, no. 1, pp. 35–41, May 2024, doi: 10.31963/sinergi.v22i1.4645.
- [3] R. Fahrezi and R. R. Yuliendi, "PROTOTYPE ALAT SENSOR JARAK AMAN PARKIR MOBIL MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK BERBASIS ARDUINO," 2023.
- [4] R. Sari, H. Herlawati, F. N. Khasanah, and P. D. Atika, "Prototype Sensor Parking Otomatis Pada Area Blind-Spot Kendaraan Menggunakan Mikrokontroler," *J. Inf. Syst. Res. JOSH*, vol. 3, no. 2, pp. 76–84, Jan. 2022, doi: 10.47065/josh.v3i2.1245.
- [5] W. Dhaifullah, D. Junaedi, and D. Purnama, "Rancang Bangun Blind Spot Monitoring System Dengan Menggunakan Arduino Dan Sensor Ultrasonic HC-SR04 Pada Workshop Alat Berat Politeknik Negeri Jakarta," 2024.
- [6] H. La Bau, M. F. Safli, Sudarsono, and L. O. A. Barata, "analisa keselamatan dan kesehatan kerja pada pengoperasian forklift di Pt. equiport inti indonesia," *Piston J. Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 7–15, Dec. 2022, doi: 10.55679/pistonjt.v7i2.7.
- [7] R. Galih Kusuma, Y. Muchammad Devara, T. Handoyo, and M. Arif, "Rancang Bangun Alat Blind

- Spot Area Pada Kendaraan Truck Tangki Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno,” *J. Keselam. Transp. Jalan Indones. J. Road Saf.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, Jun. 2020, doi: 10.46447/ktj.v7i1.70.
- [8] U. Amri, D. Widyawarman, and R. K. Ramadhan, “Sistem Monitoring Jarak Dengan Sensor Ultrasonik Hc-Sr04,” vol. 1, no. 1.
- [9] P. Rahardjo, “Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pada Tanaman Mangga Harum Manis Buleleng Bali,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 31, Jul. 2022, doi: 10.24843/MITE.2022.v21i01.P05.
- [10] S. P. Santoso and F. Wijayanto, “RANCANG BANGUN AKSES PINTU DENGAN SENSOR SUHU DAN HANDSANITIZER OTOMATIS BERBASIS ARDUINO,” vol. 10, no. 1, 2022.
- [11] A. M. Samhan, D. J. Supriyanto, and M. M. I. Al’Azzam, “Simulasi Sistem Peringatan Dini Berbasis Sensor Gerak Ultrasonik Untuk Pencegahan Pencurian,” 2025.
- [12] M. S. Wogalter, C. B. Mayhorn, and K. R. Laughery, “Chap. 24 – Warnings and Hazard Communications”.

BAB VI LAMPIRAN

Tabel 6.1. Dokumentasi Kegiatan

No	Nama Kegiatan	Link Drive
1	Dokumentasi pembuatan pcb	https://drive.google.com/drive/folders/1QrAIl_wFyW8yHL1KcNXy2RHi7w42zTdF
2	Dokumentasi perakitan komponen	https://drive.google.com/drive/folders/1xSybTHFtgqUkQIMXXpZ0C1lfVEpAUlOi
3	Dokumentasi pengambilan data sensor dan uji coba sensor	https://drive.google.com/drive/folders/1yu-KWdiqTSblTc3B8pI3Qk1DynH8XWIF
4	Dokumentasi pengambilan data dan uji coba alat	https://drive.google.com/file/d/1Utkrp18vetcl22G-8wH0dh9qmi7l3OTf/view?usp=rivesdk

Lampiran 6.1 Program yang Digunakan

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
#define NUM_SENSORS 4
const int TRIG_PINS[NUM_SENSORS] = { 11, 9, 23, 27
};
```

```
const int ECHO_PINS[NUM_SENSORS] = { 12, 10, 25, 29
};
const int LED_PINS[NUM_SENSORS] = { 8, 7, 6, 5 };
const int BUZZER_PIN = 3;
#define SAMPLE_COUNT 5
#define WARNING_DISTANCE_CM 150
//=====
==
// KONFIGURASI TEMPO BUZZER (silakan edit di sini)
//=====
==
// Zona 1 : jarak jauh -> bunyi jeda 1 detik
float BUZZER_ZONE1_MAX_CM = 150.0; //
batas atas (1,5 m)
float BUZZER_ZONE1_MIN_CM = 100.0; //
batas bawah (1 m)
unsigned long BUZZER_ZONE1_INTERVAL_MS = 1000; //
jeda 1 detik
// Zona 2 : jarak sedang -> bunyi jeda 0,5 detik
float BUZZER_ZONE2_MAX_CM = 100.0; //
batas atas (1 m)
float BUZZER_ZONE2_MIN_CM = 70.0; //
batas bawah (70 cm) -- lihat catatan di chat
unsigned long BUZZER_ZONE2_INTERVAL_MS = 500; //
jeda 0,5 detik
// Zona 3 : jarak sangat dekat / blind spot -> bunyi
terus (HIGH)
float BUZZER_ZONE3_MAX_CM = 70.0; // dari
batas ini ke bawah -> bunyi terus
// Jika true: saat sensor tidak dapat pembacaan
valid (objek terlalu dekat / blind spot
// di bawah 23cm), tetap dianggap bahaya (buzzer
menyala terus).
```

```
// Jika false: dianggap tidak ada objek, buzzer
mati.
bool BUZZER_TREAT_NO_ECHO_AS_DANGER = false;
// Variabel state internal untuk tempo buzzer
(jangan diedit manual)
unsigned long buzzerPreviousMillis = 0;
bool buzzerState = LOW;
float globalMinDistance = -1; // jarak terdekat dari
seluruh sensor pada 1 siklus loop
//-----
--
// SORT ARRAY
//-----
--
void sortArray(float arr[], byte size) {
    for (byte i = 0; i < size - 1; i++) {
        for (byte j = i + 1; j < size; j++) {
            if (arr[j] < arr[i]) {
                float temp = arr[i];
                arr[i] = arr[j];
                arr[j] = temp;
            }
        }
    }
}
//-----
--
// KONTROL TEMPO BUZZER (non-blocking, berbasis
millis)
//-----
--
void updateBuzzer(float minDistance) {
    unsigned long currentMillis = millis();
    // Tidak ada pembacaan valid sama sekali
```

```
    if (minDistance < 0) {
        if (BUZZER_TREAT_NO_ECHO_AS_DANGER) {
            digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
            buzzerState = HIGH;
        } else {
            digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
            buzzerState = LOW;
        }
        return;
    }
    if (minDistance <= BUZZER_ZONE3_MAX_CM) {
        // Zona sangat dekat / blind -> bunyi panjang
        terus-menerus
        digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
        buzzerState = HIGH;
    }
    else if (minDistance <= BUZZER_ZONE2_MAX_CM) {
        // Zona sedang -> berkedip tiap 0,5 detik
        if (currentMillis - buzzerPreviousMillis >=
BUZZER_ZONE2_INTERVAL_MS) {
            buzzerPreviousMillis = currentMillis;
            buzzerState = !buzzerState;
            digitalWrite(BUZZER_PIN, buzzerState);
        }
    }
    else if (minDistance <= BUZZER_ZONE1_MAX_CM) {
        // Zona jauh -> berkedip tiap 1 detik
        if (currentMillis - buzzerPreviousMillis >=
BUZZER_ZONE1_INTERVAL_MS) {
            buzzerPreviousMillis = currentMillis;
            buzzerState = !buzzerState;
            digitalWrite(BUZZER_PIN, buzzerState);
        }
    }
}
```

```
    else {
        // Di luar semua zona warning -> aman, buzzer
        mati
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
        buzzerState = LOW;
    }
}
//-----
--
// PENGGANTI delay() BIASA
// Durasi tunggu SAMA PERSIS seperti delay() biasa,
// hanya saja selama menunggu, tempo buzzer tetap
// diproses supaya jeda 0,5s/1s presisi walau sensor
// sedang membaca/menunggu.
//-----
--
void smartDelay(unsigned long ms) {
    unsigned long start = millis();
    while (millis() - start < ms) {
        updateBuzzer(globalMinDistance);
    }
}
//-----
--
// SINGLE READING
//-----
--
float readDistanceCM(int trigPin, int echoPin) {
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(20); // sesuai datasheet JSN-
SR04T V3.0
    digitalWrite(trigPin, LOW);
```

```

    unsigned long duration = pulseIn(echoPin, HIGH,
35000);
    if (duration == 0) return -1;
    float distance = (duration * 0.0343) / 2.0;
    if (distance < 23) return -1;
    if (distance > 600) return -1;
    return distance;
}
//-----
--
// MEDIAN FILTER
//-----
--
float readMedianDistance(byte sensorIndex) {
    float samples[SAMPLE_COUNT];
    byte validCount = 0;

    int trig = TRIG_PINS[sensorIndex];
    int echo = ECHO_PINS[sensorIndex];
    for (byte i = 0; i < SAMPLE_COUNT; i++) {
        float d = readDistanceCM(trig, echo);
        if (d > 0) {
            samples[validCount++] = d;
        }
        smartDelay(20); // sebelumnya delay(20) --
        durasi sama, buzzer tetap jalan
    }
    if (validCount == 0) return -1;
    sortArray(samples, validCount);
    float median;
    if (validCount % 2 == 0) {
        median = (samples[validCount / 2] +
samples[validCount / 2 - 1]) / 2.0;
    } else {

```

```

        median = samples[validCount / 2];
    }
    return median;
}

//-----
--
// PRINT TO LCD
//-----
--
void printSensor(byte col, byte row, const char*
label, float value) {
    lcd.setCursor(col, row);
    if (value < 0) {
        lcd.print(label);
        lcd.print("--- ");
        return;
    }
    char buffer[10];
    if (value <= WARNING_DISTANCE_CM) {
        sprintf(buffer, "%s%03d!", label, (int)value);
    } else {
        sprintf(buffer, "%s%03d ", label, (int)value);
    }
    lcd.print(buffer);
}

//-----
--
// SETUP
//-----
--
void setup() {
    Serial.begin(9600);

```

```

    for (byte i = 0; i < NUM_SENSORS; i++) {
        pinMode(TRIG_PINS[i], OUTPUT);
        pinMode(ECHO_PINS[i], INPUT);
        pinMode(LED_PINS[i], OUTPUT);
        digitalWrite(LED_PINS[i], LOW); // LED mati di
awal
    }
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW); // buzzer mati
di awal
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Safety System");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("4 Sensors Init..");
    delay(1000);
    lcd.clear();
}

//-----
--
// LOOP
//-----
--
void loop() {
    bool warningActive = false; // status global untuk
LED (tidak diubah)
    // PENTING: globalMinDistance TIDAK direset di
sini.
    // Buzzer harus terus berbunyi sesuai hasil scan
SEBELUMNYA yang sudah selesai,

```

```
// selama sensor sedang melakukan scan berikutnya
(butuh waktu ~1,2 detik utk 4 sensor).
// Nilai baru dipakai buzzer setelah SEMUA
sensor selesai dibaca 1 putaran penuh.
float scanMinDistance = -1; // penampung sementara
hasil scan putaran ini
for (byte i = 0; i < NUM_SENSORS; i++) {
    float distance = readMedianDistance(i);
    // ^ Selama readMedianDistance() berjalan (via
    smartDelay), buzzer tetap
    // dikontrol updateBuzzer(globalMinDistance)
    memakai nilai HASIL SCAN LAMA,
    // jadi tidak ada jeda "diam" menunggu sensor.
    Serial.print("Sensor ");
    Serial.print(i + 1);
    Serial.print(" : ");
    Serial.println(distance);
    if (distance > 0) {
        // Kumpulkan jarak terdekat untuk putaran scan
        ini (belum dipakai buzzer dulu)
        if (scanMinDistance < 0 || distance <
        scanMinDistance) {
            scanMinDistance = distance;
        }
        if (distance <= WARNING_DISTANCE_CM &&
        distance >= 10) {
            digitalWrite(LED_PINS[i], HIGH);
            warningActive = true;
            Serial.println("STATUS : WARNING");
        } else {
            digitalWrite(LED_PINS[i], LOW);
            Serial.println("STATUS : SAFE");
        }
    } else {
```

```
        digitalWrite(LED_PINS[i], LOW);
        Serial.println("NO VALID DATA");
    }
    byte col = (i % 2) * 8;
    byte row = (i / 2);
    char label[4];
    sprintf(label, "L%d:", i + 1);
    printSensor(col, row, label, distance);
}
// Semua sensor sudah selesai dibaca 1 putaran
penuh -> baru sekarang
// "keadaan baru" ini menggantikan keadaan lama
untuk kontrol buzzer.
globalMinDistance = scanMinDistance;
updateBuzzer(globalMinDistance);
Serial.println("=====");
smartDelay(100); // sebelumnya delay(500) --
durasi sama, buzzer tetap jalan sesuai keadaan
terbaru
}
```

BAB VII
BIODATA PENULIS

Rizky Ageng Rahmadany dilahirkan di Jombang, 26 Oktober 2004. Anak dari Bapak Simin dan Ibu Istiqomah Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara. Penulis merupakan anak dari seorang buruh tani namun memiliki tekad dan semangat yang tinggi untuk menyekolahkan anak-anaknya sampai ke jenjang perkuliahan. Penulis mulai menuntut ilmu di SDN Darurejo 3 Jombang pada tahun (2011-2017), melanjutkan ke SMPN 2 Plandaan Jombang pada tahun (2017-2020), dan melanjutkan ke SMK Diponegoro Ploso Jombang pada tahun (2020-2023). Pada tahun 2023 penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Politeknik Negeri Madura Jurusan Rekayasa Mesin dan Industri, Program Studi D3 Teknik Mesin Alat Berat selama 3 tahun (2023-2026). Selama kuliah di Politeknik Negeri Madura penulis mengikuti Organisasi Pengurus Himpunan Mahasiswa Rekayasa Mesin dan Industri selama 2 Periode, Periode 2024-2025 Menjabat sebagai anggota Penalaran dan Mejabat sebagai Pengurus wilayah di Organisasi FMMI wilayah 6. Kemudian di periode 2025-2026 Penulis menjabat sebagai Ketua Himpunan Mahasiswa Mesin dan Industri.