

SISTEM PERINGATAN DINI BLINDSPOT FORKLIFT BERBASIS IOT MENGUNAKAN ESP32, SENSOR ULTRASONIK, DAN NOTIFIKASI TELEGRAM REAL-TIME

IOT-BASED FORKLIFT BLIND SPOT EARLY WARNING SYSTEM USING ESP32, ULTRASONIC SENSORS, AND REAL-TIME TELEGRAM NOTIFICATIONS

Muhammad Raffi Rasyad¹, Muhammad Najamuddin Dwi Miharja², Aceng Badruzzaman³

Teknik Informatika, Universitas Pelita Bangsa¹

Teknik Informatika, Universitas Pelita Bangsa²

Teknik Informatika, Universitas Pelita Bangsa³

raffirasyad86@mhs.pelitabangsa.ac.id¹

ABSTRACT

This study aims to develop and test an Internet of Things (IoT)-based forklift blind spot early warning system to enhance workplace safety in the manufacturing industry. The research is motivated by the persistent risk of hazards and near-miss incidents associated with forklift operations, particularly in blind spots outside the operator's field of vision. A Research and Development (R&D) approach was employed, encompassing system design, implementation, and testing at PT Futaba Industrial Indonesia. The developed system integrates an HC-SR04 ultrasonic sensor for distance detection, an ESP32 microcontroller for data processing and system control, a buzzer for local alarms, and the Telegram Bot API for real-time notifications. Testing was conducted to evaluate sensor reading accuracy, buzzer alarm response based on distance intervals, and the speed of Telegram notification delivery. Test results indicate that the ultrasonic sensor has an average error rate of 0.71%, the buzzer provides tiered warnings based on object proximity, and Telegram notifications exhibit an average delay of approximately 3 seconds—falling within an acceptable response time for an early warning system. These findings demonstrate that the system functions reliably in detecting objects within forklift blind spots and providing prompt warnings to both operators and safety personnel. Consequently, this IoT-based early warning system has the potential to serve as an effective additional layer of risk control in supporting workplace accident prevention efforts within forklift operational areas.

Keywords: *Internet of Things, ESP32, Forklift, Blind Spot, Ultrasonic Sensor, Telegram Bot, Workplace Safety.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji sistem peringatan dini blindspot forklift berbasis Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan keselamatan kerja di lingkungan industri manufaktur. Latar belakang penelitian didasarkan pada masih tingginya potensi bahaya dan kejadian near miss yang berkaitan dengan operasional forklift, khususnya pada area blindspot yang tidak terjangkau pandangan operator. Penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) yang meliputi tahapan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem di PT Futaba Industrial Indonesia. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi jarak, mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data dan pengendali sistem, buzzer sebagai alarm lokal, serta Telegram Bot API sebagai media notifikasi real-time. Pengujian dilakukan untuk menilai akurasi pembacaan sensor, respon alarm buzzer berdasarkan interval jarak, serta kecepatan pengiriman notifikasi Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki rata-rata error sebesar 0,71%, buzzer mampu memberikan peringatan bertingkat sesuai kedekatan objek, dan notifikasi Telegram memiliki rata-rata delay sekitar 3 detik yang masih dalam batas waktu respon yang dapat diterima untuk sistem peringatan dini. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem yang dikembangkan berfungsi secara andal dalam mendeteksi objek pada area blindspot forklift dan memberikan peringatan cepat kepada operator maupun petugas keselamatan. Dengan demikian, sistem peringatan dini berbasis IoT ini berpotensi menjadi lapisan pengendalian risiko tambahan yang efektif untuk mendukung upaya pencegahan kecelakaan kerja di area operasional forklift.

Kata Kunci: Internet of Things, ESP32, Forklift, Titik Buta, Sensor Ultrasonik, Bot Telegram, Keselamatan Kerja

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital pada era Industri 4.0 telah mendorong perusahaan manufaktur untuk mengintegrasikan teknologi otomatisasi dan Internet of Things (IoT) ke dalam berbagai aspek operasional, termasuk sistem keselamatan kerja. IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pengumpulan data, pemantauan kondisi, serta pengambilan keputusan secara otomatis dan real-time (Ashton, 2009; Atzori et al., 2010). Pemanfaatan IoT pada sektor industri tidak hanya bertujuan meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga berkontribusi dalam mengurangi risiko kecelakaan kerja melalui sistem pemantauan yang lebih responsif dan terintegrasi (Xu et al., 2018).

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan salah satu aspek yang memiliki peran strategis dalam menjaga keberlangsungan proses produksi. International Labour Organization (ILO, 2023) melaporkan bahwa jutaan kecelakaan kerja masih terjadi setiap tahun di berbagai sektor industri, termasuk sektor manufaktur yang memiliki tingkat risiko relatif tinggi akibat penggunaan mesin dan kendaraan operasional. Salah satu kendaraan yang paling banyak digunakan dalam aktivitas material handling adalah forklift. Forklift berfungsi untuk memindahkan material, komponen produksi, maupun produk jadi dengan kapasitas beban yang besar sehingga menjadi elemen penting dalam rantai proses produksi industri manufaktur (OSHA, 2024).

Meskipun memiliki manfaat yang besar dalam meningkatkan efisiensi kerja, penggunaan forklift juga menyimpan potensi bahaya yang signifikan. Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2024) menyebutkan bahwa sebagian besar kecelakaan forklift disebabkan oleh keterbatasan visibilitas operator, kurangnya sistem peringatan dini, kesalahan manusia (human error), serta kondisi lingkungan

kerja yang padat. Salah satu faktor yang paling sering menjadi penyebab insiden adalah keberadaan area blindspot, yaitu area yang tidak dapat terlihat secara langsung oleh operator forklift akibat posisi kendaraan maupun muatan yang dibawa (NIOSH, 2023).

Area blindspot menjadi permasalahan serius pada lingkungan manufaktur karena dapat menyebabkan operator tidak menyadari keberadaan pekerja, material, atau kendaraan lain yang berada di sekitar jalur operasional. Penelitian yang dilakukan oleh Salminen (2017) menunjukkan bahwa sebagian besar kecelakaan kendaraan industri terjadi akibat kegagalan deteksi objek pada area terbatas yang tidak dapat dipantau secara visual oleh operator. Kondisi tersebut semakin berisiko ketika forklift membawa material berukuran besar yang menghalangi pandangan ke depan maupun ke samping.

Berdasarkan hasil observasi awal yang dilakukan di PT Futaba Industrial Indonesia, aktivitas forklift berlangsung secara intensif pada area produksi dan logistik. Jalur forklift berada berdekatan dengan area kerja operator produksi sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya interaksi antara kendaraan dan pekerja. Data keselamatan perusahaan menunjukkan bahwa pada tahun 2023 tercatat sebanyak 18 potensi bahaya dan 1 kejadian near miss, sedangkan pada tahun 2024 ditemukan 17 potensi bahaya dan 1 kejadian near miss. Meskipun jumlah tersebut menurun menjadi 3 potensi bahaya tanpa kejadian near miss pada tahun 2025 setelah dilakukan berbagai upaya perbaikan keselamatan kerja, potensi risiko masih tetap ditemukan sehingga diperlukan sistem pencegahan yang lebih efektif dan berbasis teknologi. Data tersebut diperoleh dari hasil observasi lapangan dan dokumentasi keselamatan PT Futaba Industrial Indonesia yang tercantum dalam proposal penelitian ini.

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah pengembangan sistem

peringatan dini berbasis Internet of Things. Teknologi IoT memungkinkan proses deteksi bahaya dilakukan secara otomatis menggunakan sensor yang terhubung dengan jaringan komunikasi digital sehingga mampu memberikan respon lebih cepat dibandingkan sistem peringatan konvensional (Gubbi et al., 2013). Dalam konteks penelitian ini, sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan sebagai perangkat utama untuk mendeteksi keberadaan objek berdasarkan pengukuran jarak. Sensor ultrasonik banyak digunakan pada sistem monitoring dan keselamatan karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi, biaya implementasi yang relatif rendah, serta kemampuan bekerja pada berbagai kondisi pencahayaan (Mahalik, 2016).

Pemrosesan data hasil pembacaan sensor dilakukan menggunakan mikrokontroler ESP32. ESP32 merupakan mikrokontroler yang memiliki kemampuan komputasi tinggi serta dilengkapi konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth bawaan sehingga sangat sesuai untuk implementasi sistem IoT (Kolban, 2017). Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ESP32 mampu digunakan secara efektif pada sistem monitoring lingkungan, sistem keamanan, serta sistem peringatan dini yang membutuhkan komunikasi data secara real-time (Kurniawan et al., 2022; Prayoga et al., 2024).

Selain kemampuan deteksi dan pemrosesan data, efektivitas sistem peringatan dini juga ditentukan oleh kecepatan penyampaian informasi kepada pengguna. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan Telegram Bot API sebagai media notifikasi real-time. Telegram dipilih karena memiliki tingkat stabilitas yang tinggi, kemudahan integrasi dengan mikrokontroler, serta kemampuan mengirimkan pesan dalam waktu singkat kepada banyak pengguna sekaligus (Fadillah & Nuroji, 2025). Penggunaan Telegram sebagai media notifikasi telah terbukti efektif dalam berbagai penelitian sistem monitoring dan peringatan dini berbasis IoT, seperti sistem deteksi banjir,

monitoring ketinggian air, dan sistem keamanan berbasis sensor ultrasonik (Ovid & Yandani, 2025; Wikantama & Puspitasari, 2023).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) untuk merancang, mengembangkan, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem peringatan dini berbasis Internet of Things (IoT). Penelitian dilakukan di PT Futaba Industrial Indonesia, Bekasi, dengan pertimbangan tingginya aktivitas forklift dan kebutuhan peningkatan keselamatan kerja. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara semi-terstruktur dengan pihak HSE, studi pustaka, serta eksperimen. Sistem yang dikembangkan terdiri dari sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi jarak, ESP32 sebagai pengolah data, buzzer sebagai alarm lokal, dan Telegram Bot API sebagai media notifikasi real-time. Sensor bekerja dengan prinsip time of flight untuk mengukur jarak objek, kemudian data diproses menggunakan sistem berbasis ambang batas untuk menentukan tingkat bahaya. Ketika objek memasuki zona berbahaya, sistem secara otomatis mengaktifkan buzzer dan mengirim notifikasi. Pengujian dilakukan terhadap akurasi sensor, respon buzzer, dan kecepatan notifikasi Telegram dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap standar aktual. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk menilai tingkat akurasi, waktu respon, serta efektivitas sistem. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam meningkatkan keselamatan kerja pada area blindspot forklift.

Tabel 1. Aturan untuk Tabel

No	Elemen	Keterangan
1	Penomoran	Dimulai dari 1, 2, dan 3, bukan 1.1, 1.2, dan 1.3
2	Nomor dan judul tabel	Ditulis di bagian atas tabel
3	Garis	Garis yang digunakan hanya horizontal
4	Judul kolom	Ditulis dengan tebal

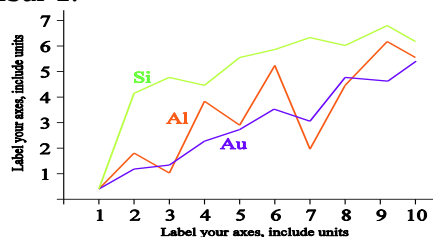
Untuk tabel, Peraturannya adalah (1) penomoran tabel dimulai dari 1, 2, 3, dan seterusnya, bukan 1.1, 1.2, dan seterusnya, (2) Nomor dan judul tabel ditulis pada bagian atas tabel berjarak 1 enter dari baris terakhir isi di atasnya dengan huruf times new roman, ukuran 10, tebal, sejajar dengan kiri tabel, dan setiap huruf pertama ditulis dengan huruf kapital dengan bentuk “Judul Tabel”, (3) Tabel hanya menggunakan garis horizontal, tanpa vertikal, (4) Judul kolom ditulis menggunakan huruf tebal, dan (5) Sumber tabel ditulis di bagian bawah tabel sejajar dengan bagian tepi kiri dari tabel menggunakan huruf times new roman ukuran 10.

Tabel 2. Aturan Margin

Margin	A4 Paper	US Letter Paper
Left	18.5 mm	14.5 mm
Right	18mm	13 mm (0.51

Sumber : ditulis miring dan ukuran 9

Grafik-grafik boleh dibuat berwarna (*full-color*). Grafik tidak boleh menggunakan polatitik-titik (*stipple fill pattern*) karena akan sulit untuk direproduksi ulang dengan baik. Dimohon untuk hanya menggunakan warna *SOLID* yang akan terlihat kontras baik di layar maupun dalam bentuk cetakan *hardcopy* hitam putih seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Warna Gambar Harus Kontras

Sumber : sumber gambar ditulis dengan ukuran 9

Subbab

Apabila diperlukan, dapat diberi penjelasan lanjut mengenai materi yang dibahas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem peringatan dini blindspot forklift berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04, mikrokontroler ESP32, buzzer, dan Telegram Bot API sebagai media notifikasi real-time. Sistem dirancang untuk mendeteksi keberadaan objek pada area blindspot forklift dan memberikan peringatan secara otomatis guna meminimalkan risiko kecelakaan kerja di lingkungan industri. Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan aspek akurasi sensor, respon alarm buzzer, kecepatan notifikasi Telegram, serta potensi kontribusi sistem terhadap peningkatan keselamatan kerja.

Implementasi Sistem Peringatan Dini Blindspot Forklift

Implementasi sistem dilakukan dengan memasang sensor ultrasonik HC-SR04 pada area yang mewakili titik blindspot forklift. Sensor bertugas mendeteksi keberadaan objek berdasarkan jarak yang telah ditentukan. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim ke ESP32 untuk diproses menggunakan algoritma berbasis ambang batas (*threshold*).

Ketika objek memasuki area deteksi, ESP32 akan mengaktifkan buzzer sebagai alarm lokal dan secara simultan mengirimkan notifikasi ke Telegram melalui jaringan Wi-Fi. Mekanisme ini memungkinkan informasi potensi bahaya diterima oleh operator forklift, petugas keselamatan kerja (HSE), maupun supervisor secara real-time.

Implementasi sistem ini sejalan dengan konsep Industrial Internet of Things (IIoT) yang memanfaatkan sensor dan komunikasi digital untuk meningkatkan kemampuan monitoring serta pengambilan keputusan pada lingkungan industri (Xu et al., 2018). Menurut Gubbi et al. (2013), sistem IoT yang dikombinasikan dengan sensor cerdas mampu meningkatkan efektivitas pengawasan lingkungan kerja dibandingkan metode konvensional yang masih bergantung pada observasi manusia.

Hasil Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap jarak aktual yang diukur menggunakan alat ukur standar. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi jarak untuk mengetahui tingkat presisi sensor dalam mendeteksi objek.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik HC-SR04

No	Jarak Aktual (cm)	Jarak Terbaca Sensor (cm)	Selisih Error (cm)	Persentase Error (%)
1	300	298,5	1,5	0,50
2	200	199,1	0,9	0,45
3	100	98,2	1,8	1,80
4	50	49,6	0,4	0,80
5	10	10	0	0
Rata-rata				0,71

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sensor ultrasonik HC-SR04 menunjukkan performa yang sangat baik dengan rata-rata tingkat kesalahan sebesar 0,71%. Nilai error tersebut masih berada jauh di bawah batas toleransi pengukuran untuk sistem monitoring jarak pada lingkungan industri. Tingkat akurasi yang tinggi menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi objek secara konsisten pada berbagai variasi jarak. Hasil ini sejalan dengan penelitian Prayoga et al. (2024) yang melaporkan bahwa sensor ultrasonik memiliki tingkat akurasi tinggi dalam sistem peringatan dini berbasis IoT dengan nilai error di bawah 2%.

Keakuratan sensor menjadi faktor penting dalam sistem keselamatan karena kesalahan pembacaan jarak dapat menyebabkan keterlambatan peringatan atau bahkan kegagalan deteksi objek yang berpotensi membahayakan pekerja. Oleh karena itu, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa HC-SR04 layak digunakan sebagai sensor utama dalam sistem peringatan dini blindspot forklift. Selain itu, karakteristik sensor ultrasonik yang tidak dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan menjadikannya lebih unggul dibandingkan sensor berbasis kamera pada lingkungan manufaktur yang

memiliki variasi intensitas cahaya, debu, dan polusi udara (Mahalik, 2016).

Hasil Pengujian Respon Alarm Buzzer

Pengujian respon buzzer dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu memberikan peringatan suara sesuai tingkat kedekatan objek terhadap sensor.

Tabel 2. Hasil Pengujian Respon Buzzer terhadap Interval Jarak

No	Jarak Objek	Jeda Bunyi	Output Aktual	Status
1	>200 cm	Off	Buzzer tidak berbunyi	Sesuai
2	>100–<200 cm	750 ms	Berbunyi putus-putus lambat	Sesuai
3	>50–<100 cm	400 ms	Berbunyi putus-putus sedang	Sesuai
4	>5–<50 cm	150 ms	Berbunyi putus-putus cepat	Sesuai
5	<5 cm	Kontinu	Bunyi terus menerus	Sesuai

Penggunaan pola alarm bertingkat bertujuan memberikan persepsi risiko yang berbeda kepada operator. Semakin dekat objek terhadap forklift, semakin cepat frekuensi bunyi yang dihasilkan sehingga operator dapat segera mengenali tingkat bahaya yang sedang terjadi. Pada jarak kurang dari 5 cm, sistem mengaktifkan buzzer secara kontinu sebagai indikator kondisi kritis yang membutuhkan tindakan segera.

Penggunaan buzzer sebagai alarm lokal memberikan keuntungan karena sistem tetap dapat memberikan peringatan meskipun koneksi internet mengalami gangguan. Dengan demikian, alarm lokal berfungsi sebagai lapisan perlindungan pertama sebelum informasi dikirimkan melalui Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon buzzer berlangsung hampir seketika setelah objek memasuki area deteksi, sehingga sistem mampu memberikan peringatan secara cepat kepada pengguna di sekitar area forklift.

Hasil Pengujian Notifikasi Telegram

Pengujian notifikasi dilakukan untuk mengukur kecepatan pengiriman pesan dari

ESP32 ke Telegram Bot API ketika sensor mendeteksi objek pada zona bahaya.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kecepatan Pengiriman Notifikasi Telegram

No	Lokasi Uji	Radius	Delay
1	Genba Logistik	5 m	1 detik
2	Area Receiving Part Logistik	7 m	0 detik
3	Office Logistik	20 m	4 detik
4	Office Produksi	20 m	5 detik
5	Office Manajemen	30 m	5 detik

Rata-rata delay:

$$\frac{1 + 0 + 4 + 5 + 5}{5} = 3 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil pengujian, waktu pengiriman notifikasi berkisar antara 1–5 detik dengan rata-rata delay sebesar 3 detik. Waktu tersebut masih tergolong sangat baik untuk sistem peringatan dini pada lingkungan industri. Delay yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kualitas jaringan Wi-Fi, kestabilan koneksi internet, beban server Telegram, serta proses komunikasi antara ESP32 dan API Telegram (Kolban, 2017).

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Fadillah dan Nuroji (2025) yang menemukan bahwa Telegram mampu mengirimkan notifikasi sistem IoT dengan waktu respon kurang dari 5 detik. Penelitian Ovid dan Yandani (2025) juga menunjukkan bahwa Telegram memiliki tingkat reliabilitas yang tinggi untuk sistem monitoring berbasis IoT. Keunggulan Telegram dibandingkan metode SMS atau email adalah kemampuannya mengirim pesan secara instan kepada banyak pengguna sekaligus tanpa biaya tambahan. Selain itu, seluruh riwayat notifikasi tersimpan secara otomatis sehingga memudahkan proses audit keselamatan dan evaluasi risiko di masa mendatang.

Analisis Potensi Peningkatan Keselamatan Kerja

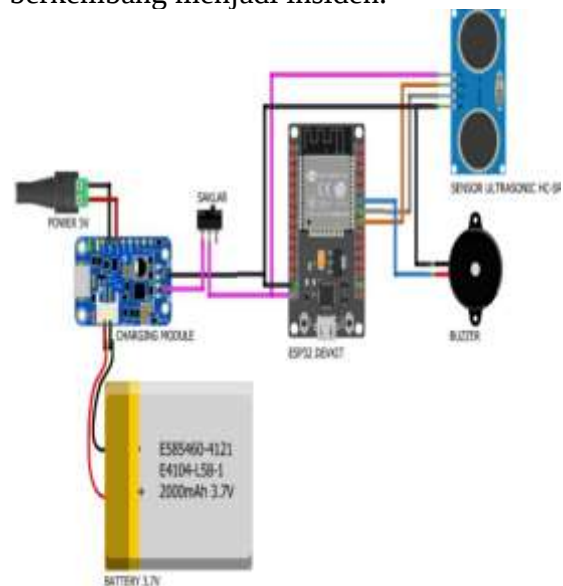
Data observasi keselamatan kerja PT Futaba Industrial Indonesia menunjukkan adanya penurunan jumlah potensi bahaya dan kejadian near miss dalam tiga tahun terakhir. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Potensi Bahaya dan Near Miss Area Forklift

Tahun	Potensi Bahaya	Near Miss
2023	18	1
2024	17	1
2025	3	0

Sumber: Data Observasi PT Futaba Industrial Indonesia

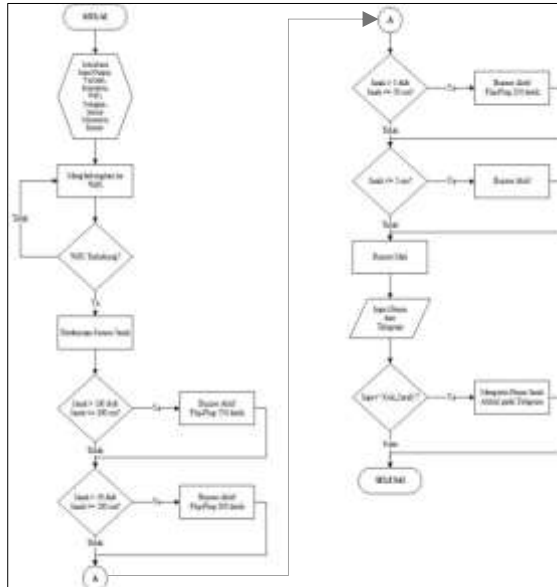
Penurunan jumlah potensi bahaya menunjukkan bahwa berbagai upaya perbaikan keselamatan yang telah dilakukan perusahaan memberikan dampak positif terhadap lingkungan kerja. Namun demikian, masih ditemukan beberapa kondisi yang berpotensi menimbulkan kecelakaan, seperti jalur forklift yang sempit, area persimpangan dengan visibilitas rendah, serta kerusakan pembatas jalan yang ditemukan selama observasi lapangan. Implementasi sistem peringatan dini berbasis IoT dapat berfungsi sebagai lapisan pengendalian tambahan (additional safety barrier) dalam hierarki pengendalian risiko. Menurut Heinrich (1959), sebagian besar kecelakaan kerja dapat dicegah apabila potensi bahaya dapat dideteksi dan dikendalikan sebelum berkembang menjadi insiden.



Gambar 1. Implementasi Perangkat Keras Sistem

Gambar 1 menunjukkan implementasi perangkat keras yang digunakan pada penelitian. Sensor ultrasonik HC-SR04 terhubung ke pin

GPIO ESP32 untuk melakukan pengukuran jarak objek secara real-time. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 dan digunakan untuk menentukan kondisi bahaya yang selanjutnya diteruskan ke buzzer maupun Telegram Bot API.



Gambar 2 Implementasi Alur Kerja Sistem

Berdasarkan flowchart tersebut, proses diawali ketika sistem mendapatkan sumber daya listrik dan ESP32 melakukan proses inisialisasi seluruh perangkat yang terhubung. Pada tahap ini, mikrokontroler akan mengaktifkan sensor ultrasonik HC-SR04, menginisialisasi koneksi buzzer, serta melakukan koneksi ke jaringan Wi-Fi yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Koneksi internet diperlukan agar sistem dapat berkomunikasi dengan Telegram Bot API dan mengirimkan notifikasi secara real-time kepada pengguna.

Setelah koneksi berhasil dilakukan, sensor ultrasonik mulai melakukan pembacaan jarak secara terus-menerus terhadap objek yang berada di area pengamatan. Sensor bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik melalui pin transmitter, kemudian menerima pantulan gelombang melalui pin receiver. Waktu tempuh gelombang yang dipantulkan digunakan oleh ESP32 untuk menghitung jarak antara sensor dan objek yang terdeteksi.

Data jarak yang diperoleh selanjutnya diproses oleh ESP32 menggunakan logika pengambilan keputusan berbasis ambang batas (threshold). Sistem membandingkan hasil pembacaan sensor dengan nilai jarak yang telah ditentukan sebagai kategori aman, waspada, dan bahaya. Apabila objek berada pada jarak lebih dari 200 cm, sistem menganggap kondisi masih aman sehingga buzzer tidak diaktifkan dan tidak ada notifikasi yang dikirimkan.

Ketika objek memasuki rentang jarak lebih dari 100 cm hingga kurang dari 200 cm, sistem mulai memberikan peringatan awal berupa bunyi buzzer dengan interval 750 milidetik. Kondisi ini menunjukkan bahwa terdapat objek yang mulai mendekati area blindspot forklift namun masih berada pada tingkat risiko rendah. Apabila objek bergerak lebih dekat hingga berada pada rentang 50 cm sampai 100 cm, buzzer akan berbunyi dengan interval yang lebih cepat yaitu 400 milidetik sebagai indikasi peningkatan tingkat risiko.

Selanjutnya, ketika objek berada pada jarak 5 cm hingga 50 cm, sistem mengaktifkan buzzer dengan interval 150 milidetik. Pola bunyi yang semakin cepat bertujuan memberikan informasi kepada operator bahwa objek telah berada pada zona bahaya dan memerlukan perhatian segera. Pada kondisi paling kritis, yaitu ketika jarak objek kurang dari atau sama dengan 5 cm, buzzer akan menyala secara terus-menerus sebagai peringatan bahaya ekstrem yang mengindikasikan potensi terjadinya tabrakan apabila tidak segera dilakukan tindakan.

Selain menghasilkan alarm suara, ESP32 juga mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke Telegram Bot API melalui jaringan internet. Ketika objek terdeteksi pada zona bahaya yang telah ditentukan, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi kepada pengguna yang telah terdaftar. Informasi yang dikirim meliputi status peringatan dan jarak objek yang terdeteksi oleh sensor. Notifikasi ini memungkinkan operator forklift, petugas keselamatan kerja, maupun supervisor

memperoleh informasi secara cepat meskipun tidak berada di lokasi pengamatan.

Implementasi alur kerja sistem menunjukkan bahwa seluruh komponen mampu bekerja secara terintegrasi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada tahap perancangan. Sensor ultrasonik berhasil melakukan deteksi objek secara real-time, ESP32 mampu memproses data dan menjalankan logika keputusan dengan baik, buzzer dapat memberikan peringatan berdasarkan tingkat kedekatan objek, serta Telegram Bot API berhasil mengirimkan notifikasi kepada pengguna dalam waktu yang relatif singkat. Dengan demikian, alur kerja sistem yang dirancang telah mampu mendukung fungsi utama penelitian, yaitu meningkatkan kemampuan deteksi dini terhadap potensi bahaya pada area blindspot forklift di lingkungan produksi PT Futaba Industrial Indonesia.



Gambar 3. Implementasi Notifikasi Telegram

Telegram digunakan sebagai media komunikasi antara sistem dan pengguna. Ketika sensor mendeteksi objek pada zona bahaya, ESP32 secara otomatis mengirimkan notifikasi berisi informasi jarak objek dan waktu kejadian. Selain notifikasi otomatis, pengguna juga dapat melakukan monitoring dengan

mengirimkan perintah tertentu melalui Telegram Bot.

Dalam konteks penelitian ini, sistem mampu mendeteksi keberadaan objek secara otomatis tanpa bergantung sepenuhnya pada kewaspadaan operator. Hal tersebut menjadi sangat penting karena faktor manusia sering kali dipengaruhi oleh kelelahan kerja, stres, dan keterbatasan konsentrasi (Reason, 1990). Selain berfungsi sebagai alat peringatan, sistem juga menghasilkan data digital yang dapat digunakan untuk evaluasi keselamatan kerja secara berkelanjutan. Setiap notifikasi yang dikirim melalui Telegram dapat disimpan sebagai log aktivitas sehingga perusahaan memiliki basis data untuk mengidentifikasi area rawan kecelakaan, waktu kejadian terbanyak, serta pola risiko yang muncul pada operasional forklift.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu mampu mendeteksi objek pada area blindspot forklift, memberikan alarm lokal secara langsung, serta mengirimkan notifikasi real-time kepada pengguna. Tingkat akurasi sensor yang mencapai rata-rata error 0,71% menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan deteksi yang sangat baik. Kecepatan pengiriman notifikasi Telegram dengan rata-rata delay 2,7 detik juga membuktikan bahwa sistem mampu memberikan informasi secara cepat kepada pihak terkait.

Temuan ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kombinasi ESP32, sensor ultrasonik, dan Telegram merupakan solusi yang efektif untuk sistem monitoring dan peringatan dini berbasis IoT (Wikantama & Puspitasari, 2023; Fadillah & Nuroji, 2025; Prayoga et al., 2024). Namun demikian, penelitian ini memiliki nilai kebaruan karena fokus pada pengendalian risiko blindspot forklift pada lingkungan manufaktur, yang masih relatif jarang dibahas dalam penelitian sebelumnya.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, penelitian ini berhasil mengembangkan sistem peringatan dini blindspot forklift berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mendeteksi objek secara otomatis pada area dengan keterbatasan pandangan operator. Sistem ini mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi jarak, ESP32 sebagai pusat pemrosesan dan komunikasi, buzzer sebagai alarm lokal, serta Telegram Bot API sebagai media notifikasi real-time, sehingga membentuk sistem keselamatan yang responsif dan berkelanjutan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata error sebesar 0,71%, yang mendukung ketepatan deteksi objek. Sistem buzzer juga mampu memberikan peringatan bertingkat sesuai jarak objek, sehingga membantu meningkatkan kewaspadaan operator dan pekerja di sekitar forklift. Selain itu, notifikasi melalui Telegram memiliki rata-rata waktu respon 2,7 detik, yang masih tergolong cepat dan efektif untuk kebutuhan industri serta dapat dimanfaatkan sebagai dokumentasi keselamatan kerja. Secara keseluruhan, sistem ini memiliki potensi besar sebagai lapisan pengendalian risiko tambahan dalam mencegah kecelakaan kerja akibat blindspot forklift, sekaligus melengkapi sistem keselamatan konvensional yang telah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' thing. *RFID Journal*, 22(7), 97–114.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Doebelin, E. O., & Manik, D. N. (2011). *Measurement systems: Application and design* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Fadillah, A., & Nuroji, M. (2025). Sistem peringatan dini banjir berbasis ESP32 dan Telegram untuk monitoring ketinggian air secara real-time. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 12(1), 45–56.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Heinrich, H. W. (1959). *Industrial accident prevention: A scientific approach* (4th ed.). McGraw-Hill.
- International Labour Organization. (2023). *Safety and health at work: Global trends and challenges*. International Labour Organization. <https://www.ilo.org>
- ISO. (2018). *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.
- Kolban, N. (2017). *Kolban's book on ESP32*. Leanpub.
- Kurniawan, D., Hidayat, A., & Prasetyo, B. (2022). Implementasi ESP32 pada sistem monitoring lingkungan berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Elektro*, 13(2), 101–109.
- Mahalik, N. P. (2016). *Sensor technologies and applications for smart manufacturing*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14705-6>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2023). *Forklift safety and workplace hazard prevention*. Centers for Disease Control and

- Prevention.
<https://www.cdc.gov/niosh>
- Occupational Safety and Health Administration. (2024). Powered industrial trucks (forklift) safety standards. United States Department of Labor. <https://www.osha.gov>
- Ovid, A., & Yandani, R. (2025). Monitoring ketinggian air berbasis Telegram menggunakan ESP32 pada sistem peringatan dini banjir. *Jurnal Sistem Cerdas dan Informatika*, 9(1), 33–42.
- Prayoga, M., Nugraha, F., & Ramadhan, A. (2024). Sistem pendeteksi banjir berbasis sensor ultrasonik dan Internet of Things menggunakan Telegram sebagai media notifikasi. *Jurnal Informatika dan Sistem Cerdas*, 8(2), 120–131.
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press.
- Salminen, S. (2017). Industrial vehicle accidents and workplace safety management: A review. *Safety Science*, 96, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.02.012>
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2020). *Research methods for business: A skill-building approach* (8th ed.). Wiley.
- Sugiyono. (2022). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (Edisi ke-2). Alfabeta.
- Wikantama, R., & Puspitasari, D. (2023). Sistem monitoring ketinggian air berbasis ESP32 dan Telegram pada daerah rawan banjir. *Jurnal Teknologi Informasi Terapan*, 7(2), 88–97.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.144480>