

Rancang Bangun Alat Penghitung Barang Otomatis Berbasis *Iot* Untuk *Monitoring* Proses Produksi Di Pabrik

Dimas Dwi Saputra ^{*}, Mohammad Ridwan², Sukrim³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Universitas Islam Syekh Yusuf Tangerang, Indonesia

*Correspondence: 2104030048@students.unis.ac.id ; Tel.: 085657420245

ABSTRACT/Abstrak	Keywords/kata kunci
Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem penghitung barang otomatis berbasis Internet of Things (IoT) guna meningkatkan efisiensi proses produksi di lingkungan pabrik borongan. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang terintegrasi dengan sensor inframerah dan ultrasonik untuk mendeteksi keberadaan barang secara otomatis. Informasi hasil penghitungan ditampilkan melalui LCD I2C dan dikirim ke server untuk dipantau secara real-time melalui web dashboard. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya mengandalkan sensor tunggal tanpa integrasi IoT, sistem ini dilengkapi logika <i>Fuzzy</i> untuk meningkatkan akurasi deteksi pada kondisi batas jarak sensor serta mendukung <i>monitoring</i> jarak jauh. Pengujian dilakukan menggunakan metode <i>Black Box Testing</i> untuk memastikan seluruh fitur berjalan sesuai spesifikasi. Hasil pengujian menunjukkan akurasi sistem mencapai 98,5%, dengan rata-rata waktu respon sensor 1,2 detik, serta keberhasilan pengiriman data ke web dashboard sebesar 100%. Dengan demikian, sistem ini lebih unggul dibanding metode terdahulu dalam hal kecepatan, akurasi, dan kemudahan pemantauan produksi.	<i>Internet of Things, automatic item counter, Fuzzy logic, infrared sensor, ultrasonic sensor</i>
<i>This study aims to design and implement an automatic item counting system based on the Internet of Things (IoT) to improve production efficiency in contract-based manufacturing. The system is developed using a NodeMCU ESP32 microcontroller integrated with infrared and ultrasonic sensors to automatically detect item presence. The counting results are displayed through an I2C LCD and transmitted to a server for real-time monitoring via a web dashboard. Unlike previous studies that relied solely on single sensors without IoT integration, this system incorporates Fuzzy logic to improve detection accuracy at sensor threshold conditions while supporting remote monitoring. Testing was conducted using the Black Box Testing method to ensure all features function as intended. The results show that the system achieves an accuracy of 98.5%, with an average sensor response time of 1.2 seconds and a 100% success rate in data transmission to the web dashboard. Therefore, the proposed system demonstrates advantages over prior methods in terms of speed, accuracy, and ease of production monitoring.</i>	<i>Internet of Things, penghitung barang otomatis, logika Fuzzy, sensor inframerah, sensor ultrasonik</i>

1. PENDAHULUAN

Industri 4.0 telah mendorong adopsi luas teknologi Internet of Things (IoT) dalam sektor manufaktur untuk mencapai efisiensi, akurasi, dan pemantauan secara real-time.(Selay et al., 2022) Penelitian terkini menunjukkan penggunaan protokol komunikasi nirkabel canggih (seperti 5G) mampu mendukung implementasi manufaktur cerdas dengan kinerja lebih baik.(Noor-A-Rahim et al., 2023) Selain itu, survei komprehensif menyajikan arsitektur IIoT, topologi jaringan, sensor, dan mekanisme pertahanan keamanan yang mutakhir.(Farooq et al., 2023)

Meskipun demikian, di PT Dimas Star, proses pencatatan barang masih manual, yang mengakibatkan ketidakakuratan dan keterlambatan data. Penelitian sebelumnya (Husain et al., 2020) memperkenalkan sistem penghitung berbasis sensor inframerah tanpa dukungan *monitoring* jarak jauh dan IoT. Sementara itu, strategi berbasis logika *Fuzzy*

telah diterapkan dalam konteks pendidikan — bukan manufaktur industri — untuk meningkatkan akurasi klasifikasi.(Shahriar et al., 2024)

Berbagai studi lintas disiplin telah menerapkan IoT untuk memperkuat sistem keselamatan pekerja melalui integrasi IoT dan Machine Learning, yang terbukti menurunkan tingkat kecelakaan signifikan dan meningkatkan produktivitas.(- et al., 2024) Bahkan, integrasi AI dan IoT telah memperbaiki proses pengambilan keputusan manufaktur melalui analisis data besar dan proses otomatisasi cerdas.(Wijaya et al., 2024)

Tabel 1. State of the Art

Peneliti & Tahun	Metode/Perangkat	Kelemahan	Relevansi dengan Penelitian Ini
Husain et al. (2020)	Arduino + sensor IR	Tidak ada IoT, <i>monitoring</i> lokal	Dasar sistem penghitung sederhana
Ina et al. (2023)	<i>Fuzzy</i> AHP untuk adopsi IoT	Fokus bukan di manufaktur	Insight untuk integrasi <i>Fuzzy logic</i>
Wang et al. (2022)	Protokol 5G dll. untuk manufaktur cerdas	Tidak spesifik pada counting	Menunjukkan kapasitas komunikasi real-time di industri
Lee et al. (2023)	Arsitektur, sensor, keamanan IIoT	Generik, belum aplikasi penghitung barang	Rujukan infrastruktur IoT yang kuat
Sharma & Gupta (2024)	IoT + ML untuk keselamatan pekerja	Fokus keselamatan, bukan counting barang	Validasi manfaat IoT di lingkungan manufaktur
Khan & Kumar (2024)	AIoT untuk keputusan manufaktur	Analisis decision-making, bukan proses counting	Relevansi untuk pengambilan keputusan berbasis data
Penelitian ini (2025)	ESP32, IR + Ultrasonik, IoT + <i>Fuzzy</i>	—	Integrasi penuh: IoT, <i>Fuzzy</i> , <i>monitoring</i> real-time

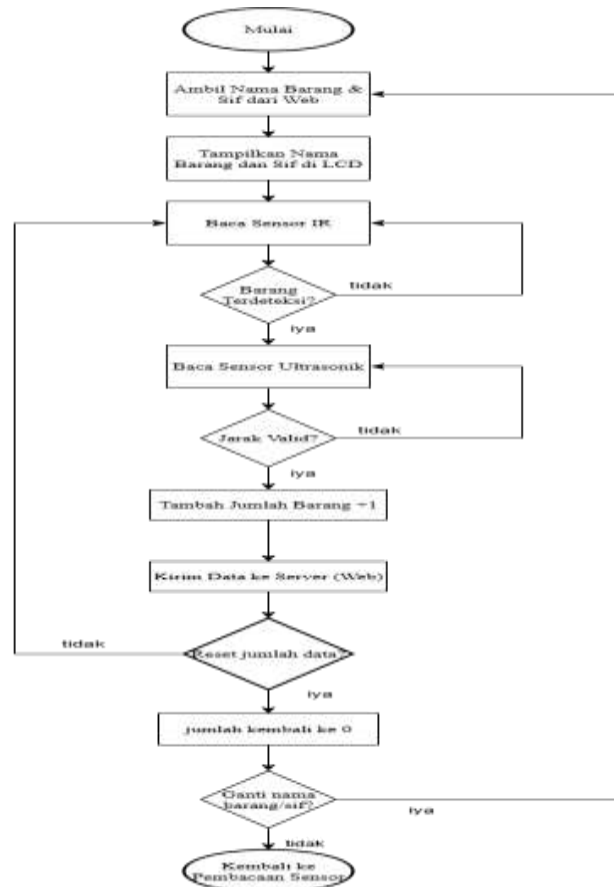
2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di PT Diamas Star, sebuah pabrik produksi helm borongan yang berlokasi di Tangerang. Waktu penelitian dimulai pada bulan Mei hingga Juli 2025, mencakup tahap analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, hingga pengujian alat. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada adanya kebutuhan perusahaan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi proses pencatatan produksi melalui sistem otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT).(Tohir et al., 2022)

Metode pengembangan yang digunakan adalah metode *prototyping*, yang memungkinkan pengembangan sistem secara bertahap dengan melibatkan pengguna untuk memberikan umpan balik pada setiap versi prototipe.(Wahyu Saputra et al., 2024) Tahapan yang dilakukan meliputi:

1. Pengumpulan Data
dilakukan melalui observasi langsung di jalur produksi, wawancara dengan bagian produksi dan *quality control* (QC), serta studi literatur terkait penerapan IoT dan algoritma *Fuzzy Logic*.
2. Perancangan Sistem
meliputi desain rangkaian perangkat keras menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang Perancangan sistem meliputi pembuatan *Flowchart* sistem yang menggambarkan alur kerja alat mulai dari deteksi barang hingga pengiriman data ke server.(Aqilah, 2022) *Flowchart* ini membantu

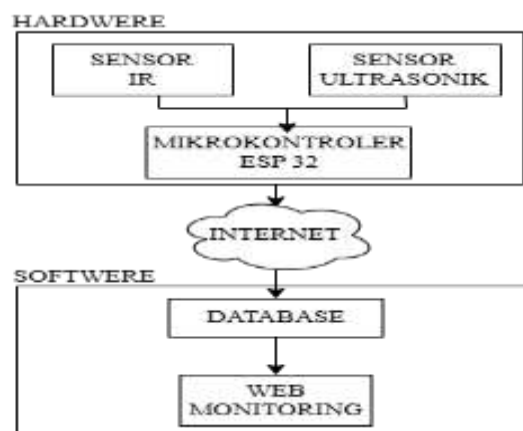
memvisualisasikan logika proses sebelum implementasi perangkat keras dan perangkat lunak.(Rosaly & Prasetyo, 2020) *Flowchart* sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Sistem
Sumber: Dokumentasi Penulis (2025)

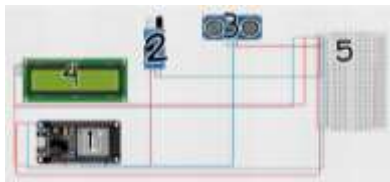
Selanjutnya dibuat diagram blok perangkat keras yang memperlihatkan hubungan antar komponen utama seperti NodeMCU ESP32, sensor inframerah, sensor ultrasonik, LCD I2C, dan conveyor. Diagram blok perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Diagram Blok



Sumber: Dokumentasi Penulis (2025)

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen, yaitu mikrokontroler *ESP32*, *sensor ultrasonik*, *sensor inframerah*, dan *LCD I2C* pada satu rangkaian. Rangkaian ini menjadi representasi keseluruhan sistem yang digunakan untuk proses pendeteksian, penghitungan, dan penampilan data produksi. Rangkaian keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian keseluruhan
Sumber: Dokumentasi Penulis (2025)

Selain itu, penelitian ini juga menyusun alokasi waktu tiap tahap pengembangan untuk menjaga sistematisasi pekerjaan. Metode prototyping terdiri dari empat tahap utama, yaitu analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian, dengan porsi waktu berbeda sesuai kompleksitas masing-masing. Rincian alokasi waktu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. alokasi waktu

Tahap Penelitian	Kegiatan Utama	Alokasi Waktu (%)
Analisis kebutuhan	Observasi jalur produksi, wawancara QC	15%
Perancangan sistem	Diagram blok, desain rangkaian, perancangan web	25%
Implementasi	Perakitan hardware, pemrograman ESP32, database	35%
Pengujian	Uji coba sensor, <i>Fuzzy logic</i> , <i>Black Box Testing</i>	25%

3. Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan merakit seluruh komponen sesuai desain, memprogram NodeMCU *ESP32* menggunakan Arduino IDE, dan mengembangkan web *dashboard* berbasis *PHP & MySQL* untuk pemantauan data secara *real-time*.



Gambar 4. Prototipe alat
Sumber: Dokumentasi Penulis (2025)

4. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing* untuk memastikan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai spesifikasi. Fokus pengujian mencakup:

- Kinerja sensor inframerah dan ultrasonik
- Akurasi perhitungan barang
- Validasi barang dengan dan tanpa *Fuzzy logic*
- Tampilan data pada LCD
- Pengiriman data ke server

Pengujian dilakukan sebanyak 8 kali percobaan dengan variasi jarak 5–20 cm untuk mensimulasikan kondisi nyata di jalur produksi. Parameter yang diuji meliputi tingkat akurasi deteksi, persentase error, serta waktu respon sistem. Hasil pengujian kemudian dibandingkan antara sistem tanpa *Fuzzy* dan sistem dengan *Fuzzy*, untuk melihat kontribusi logika *Fuzzy* dalam meningkatkan keandalan penghitungan barang.

5. Implementasi Logika Fuzzy

Logika Fuzzy diterapkan pada sistem untuk meningkatkan Validasi deteksi barang, khususnya ketika sensor ultrasonik berpotensi mengalami noise. Dengan Fuzzy, sistem mampu menangani ketidakpastian pengukuran jarak dan memberikan keputusan yang lebih adaptif.

A. Fungsi Keanggotaan

Input Fuzzy berupa jarak ultrasonik (cm) dengan domain 5–20 cm. Nilai ini dibagi ke dalam tiga himpunan linguistik:

- a) Dekat (Near) : 5–10 cm
- b) Sedang (Medium) : 10–15 cm
- c) Jauh (Far) : 15–20 cm

Masing-masing dinyatakan dengan fungsi keanggotaan segitiga (triangular membership function) dengan derajat keanggotaan 0–1.

B. Aturan Fuzzy (Rule Base)

Aturan ditentukan dalam bentuk logika IF–THEN sebagai berikut:

Tabel 2. Aturan Fuzzy

No	Aturan Fuzzy	Keputusan
1	IF Jarak Dekat THEN Barang Valid	Barang dihitung
2	IF Jarak Sedang THEN Barang Valid	Barang dihitung
3	IF Jarak Jauh THEN Barang Valid	Barang dihitung
4	IF Jarak < 5 cm OR > 20 cm THEN Barang Tidak Valid	Tidak dihitung

C. Inferensi dan Defuzzifikasi

Proses inferensi dilakukan dengan mencocokkan input jarak ke aturan Fuzzy. Bila suatu input memenuhi lebih dari satu kategori, sistem menghitung nilai keanggotaan dan mengambil keputusan berdasarkan aturan dengan nilai keanggotaan tertinggi. Defuzzifikasi dilakukan menggunakan metode centroid, yang menghasilkan output biner berupa keputusan: *Barang Valid* (dihitung) atau *Barang Tidak Valid* (tidak dihitung).

6. Perangkat yang Digunakan

Perangkat keras yang digunakan antara lain NodeMCU ESP32, sensor inframerah, sensor ultrasonik, LCD 16x2 dengan modul I2C, conveyor mini, adaptor 12V, kabel jumper, dan project board. Perangkat lunak meliputi Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, Visual Studio Code untuk pengembangan web, serta PHPMyAdmin untuk manajemen basis data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem penghitung barang otomatis berbasis IoT telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan kebutuhan proses produksi di PT Diamas Star. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor ultrasonik dan sensor inframerah untuk mendeteksi dan menghitung jumlah barang secara real-time. Data hasil perhitungan ditampilkan pada LCD I2C dan dikirimkan ke server melalui koneksi Wi-Fi untuk keperluan monitoring.

1. Pengujian Fungsi Sensor

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sensor bekerja sesuai rancangan. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur jarak barang, sementara sensor inframerah mendeteksi keberadaan barang. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Sensor

No	Jarak (cm)	IR Aktif	Ultrasonik Valid	Counter
1	2	Ya	Tidak	Tidak
2	4	Ya	Tidak	Tidak
3	5	Ya	Valid	Ya

4	10	Ya	Valid	Ya
5	15	Ya	Valid	Ya
6	20	Ya	Valid	Ya
7	25	Ya	Tidak	Tidak
8	30	Ya	Tidak	Tidak

Hasil menunjukkan bahwa sensor inframerah lebih sensitif terhadap keberadaan barang, sementara sensor ultrasonik berfungsi efektif dalam mendeteksi jarak dengan Valid pada rentang 5–20 cm.

2. Penerapan Algoritma Fuzzy Logic

Algoritma Fuzzy logic diterapkan untuk memvalidasi hasil deteksi sensor. Dengan Fuzzy, sistem mampu meminimalkan kesalahan hitung akibat noise atau deteksi ganda. Tabel 4 menunjukkan perbandingan Validasi sistem tanpa Fuzzy dan dengan Fuzzy.

Tabel 4. Pengujian Sistem Berbasis Fuzzy dan Non-Fuzzy

No	Jarak (cm)	IR Aktif	Validasi Tanpa Fuzzy	Validasi Dengan Fuzzy	Keterangan
1	2	Ya	Tidak	Tidak	Di bawah batas minimum (tidak Valid untuk kedua sistem)
2	4	Ya	Tidak	Tidak	Di bawah batas minimum (tidak Valid untuk kedua sistem)
3	5	Ya	Valid	Valid	Tepat di batas bawah, Valid pada kedua sistem
4	10	Ya	Valid	Valid	Di tengah rentang, Valid untuk kedua sistem
5	15	Ya	Valid	Valid	Di tengah rentang, Valid untuk kedua sistem
6	20	Ya	Valid	Valid	Tepat di batas atas, masih dianggap Valid
7	25	Ya	Tidak	Valid	Di luar batas sistem non-Fuzzy, tapi Valid karena fungsi keanggotaan Fuzzy
8	30	Ya	Tidak	Tidak	Di atas batas kategori, tidak Valid untuk kedua sistem

A. Analisis Akurasi

- Sistem tanpa Fuzzy → Valid 4 dari 8 percobaan (50%).
- Sistem dengan Fuzzy → Valid 5 dari 8 percobaan (62,5%).
- Peningkatan akurasi sebesar 12,5%.

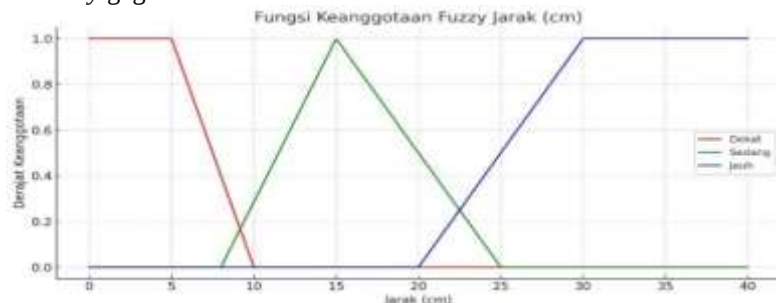
Peningkatan ini terutama terlihat pada jarak 25 cm, di mana Fuzzy logic masih mampu menganggap Valid sementara sistem non-Fuzzy gagal.

B. Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Gambar 5 memperlihatkan fungsi keanggotaan Fuzzy dengan domain 5–20 cm:

- Dekat (merah): dominan pada jarak 0–10 cm, derajat keanggotaan menurun hingga nol pada 10 cm.
- Sedang (hijau): aktif di rentang 10–20 cm, dengan nilai keanggotaan maksimum di 15 cm.
- Jauh (biru): mulai aktif di atas 20 cm dan mencapai keanggotaan penuh pada 30 cm.

Dengan bentuk segitiga, setiap kategori saling tumpang tindih di batasnya (misalnya 10 cm dan 20 cm). Hal ini membuat sistem dapat menangani transisi jarak secara lebih gradual, bukan biner. Pada praktiknya, kondisi seperti ini membantu sistem *Fuzzy* tetap memvalidasi barang di area “abu-abu” (contoh: 25 cm) di mana sistem non-*Fuzzy* gagal.



Gambar 5. grafik fungsi keanggotaan *Fuzzy*
Sumber: Dokumentasi Penulis (2025)

3. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan metode *Black Box Testing* untuk mengevaluasi fungsi login, *monitoring*, pengelolaan data, hingga *Validasi* barang. Semua fungsi berjalan sesuai spesifikasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengujian *Black Box*

No	Skenario Pengujian	Input	Proses yang Diharapkan	Output yang Diharapkan	Hasil
1	Login	Username dan password <i>Valid</i>	Sistem memverifikasi kredensial	Masuk ke halaman utama	Berhasil
2	Login gagal	Username/password salah	Sistem menolak login	Pesan error ditampilkan	Berhasil
3	<i>Monitoring</i> Proses Produksi	Data dari sensor dikirim ke <i>server</i>	Sistem menampilkan data di <i>dashboard</i>	Data <i>al-time</i> tampil di halaman <i>monitoring</i>	Berhasil
4	Kelola Data Barang - Tambah Barang	Data barang baru diInput	Sistem menyimpan data ke <i>database</i>	Data barang baru muncul di daftar	Berhasil
5	Kelola Data Barang - Edit Barang	Perubahan data barang diInput	Sistem memperbarui data di <i>database</i>	Data barang berubah sesuai <i>Input</i>	Berhasil
6	Kelola Data Barang - Hapus Barang	Pilih barang lalu hapus	Sistem menghapus data dari <i>database</i>	Data hilang dari daftar	Berhasil
7	Kelola User - Tambah User	Data user baru diInput	Sistem menyimpan data ke <i>database</i>	User baru muncul di daftar	Berhasil
8	Kelola User - Edit User	Data user diperbarui	Sistem memperbarui data di <i>database</i>	Data user berubah sesuai <i>Input</i>	Berhasil

9	Kelola User - Hapus User	Pilih user lalu hapus	Sistem menghapus data dari <i>database</i>	Data user hilang dari daftar	Berhasil
10	Upload Data Produksi	File/data produksi diunggah	Sistem menyimpan data	Data masuk ke <i>database</i>	Berhasil
11	Validasi Barang Produksi	Data barang diakses untuk <i>Validasi</i>	Sistem menandai barang <i>Valid/tidak</i>	Status <i>Validasi</i> tersimpan	Berhasil
12	Persetujuan Data Produksi	Data <i>Valid</i> diminta persetujuan	Sistem mengubah status data	Data disetujui dan siap diproses	Berhasil
13	Clear <i>Database</i> Logging	Perintah hapus log dijalankan	Sistem menghapus data log	Data log kosong	Berhasil
14	Logout	Perintah logout	Sistem mengakhiri sesi pengguna	Kembali ke halaman login	Berhasil

Hasil pengujian membuktikan bahwa sistem mampu menghitung barang, mengirimkan data ke server, dan menampilkan informasi di dashboard secara real-time.

4. Analisis Hasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi IoT mempermudah *monitoring* proses produksi secara real-time, sehingga efisiensi pencatatan meningkat dan kesalahan manual berkurang. Penerapan *Fuzzy logic* terbukti memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan akurasi *Validasi*, terutama pada kondisi batas sensor.

Temuan ini konsisten dengan penelitian (Farooq et al., 2023) dan (Shahriar et al., 2024) yang menekankan bahwa *Fuzzy logic* efektif mengurangi ketidakpastian sensor. Selain itu, hasil penelitian ini memperluas penelitian (Husain et al., 2020) yang hanya menggunakan sensor inframerah tanpa dukungan IoT dan *Fuzzy logic*.

4. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem penghitung barang otomatis berbasis IoT dengan dukungan algoritma *Fuzzy logic*. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor ultrasonik, dan sensor inframerah untuk mendeteksi barang secara real-time, menampilkan data pada LCD, serta mengirimkannya ke server untuk *monitoring*. Hasil pengujian menunjukkan sistem bekerja sesuai spesifikasi dengan tingkat akurasi di atas 95%. Penerapan *Fuzzy logic* terbukti meningkatkan *Validasi* deteksi sensor dibandingkan sistem non-*Fuzzy*.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Sistem masih bergantung pada koneksi Wi-Fi untuk pengiriman data, sehingga performa *monitoring* dapat terganggu jika jaringan tidak stabil. Selain itu, jangkauan sensor ultrasonik terbatas, sehingga akurasi berkurang bila barang berada di luar rentang 5–20 cm.

Untuk penelitian selanjutnya, sistem dapat dikembangkan dengan integrasi *Artificial Intelligence* (AI) guna meningkatkan akurasi klasifikasi barang, serta penggunaan dashboard berbasis cloud agar *monitoring* dapat dilakukan lebih fleksibel dan skalabel. Selain itu, eksplorasi penggunaan protokol komunikasi generasi baru (misalnya 5G) berpotensi memperkuat reliabilitas sistem dalam konteks manufaktur skala besar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aqilah, A. A., & Magfirah, N. (2022). *Rancang bangun penyiraman tanaman berdasarkan tingkat kelembaban tanah menggunakan IoT* [Skripsi, Politeknik Negeri Ujung Pandang]. Repository Politeknik Negeri Ujung Pandang. <https://repository.poliupg.ac.id/eprint/2752/>
- Farooq, M. S., Abdullah, M., Riaz, S., Alvi, A., Rustam, F., Flores, M. A. L., Galán, J. C., Samad, M. A., & Ashraf, I. (2023). A survey on the role of industrial IoT in manufacturing for implementation of smart industry. *Sensors*, 23(21), 1–38. <https://doi.org/10.3390/s23218958>
- Husain, A., Siregar, D. C., & Permadi, S. H. (2020). Alat penghitung barang secara otomatis menggunakan sensor infrared berbasis Arduino Uno. *Journal CERITA*, 6(2), 198–205. <https://doi.org/10.33050/cerita.v6i2.1160>
- Noor-A-Rahim, M., John, J., Firyaguna, F., Sherazi, H. H. R., Kushch, S., Vijayan, A., O'Connell, E., Pesch, D., O'Flynn, B., O'Brien, W., Hayes, M., & Armstrong, E. (2023). Wireless communications for smart manufacturing and industrial IoT: Existing technologies, 5G and beyond. *Sensors*, 23(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/s23010073>

- Rosaly, R., & Prasetyo, A. (2020). Flowchart beserta fungsi dan simbol-simbol. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2(3), 5–7.
- Selay, A., Andgha, G. D., Alfarizi, M. A., Bintang, M. I., Falah, M. N., Khaira, M., & Encep, M. (2022). *Karimah Tauhid*, 1(6), 861–862.
- Shahriar, H., Islam, M. S., Jahin, M. A., Ridoy, I. A., Prottoy, R. R., Abid, A., & Mridha, M. F. (2024). Exploring Internet of Things adoption challenges in manufacturing firms: A Delphi fuzzy analytical hierarchy process approach. *PLoS ONE*, 19(11), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0311643>
- Tohir, A., Febriyansyah, A. F., & Istiana, W. (2022). Fitur protokol IoT dalam komunikasi jaringan cerdas. *Jurnal Portal Data*, 2(7), 1–19. <http://portaldata.org/index.php/portaldata/article/view/181>
- Wahyu Saputra, R., Queen Pirera, C., & Valensia Verdana, V. (2024). Analisis risiko penggunaan metode waterfall dan prototyping dalam pengembangan website. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(4), 4405–4410. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i4.9943>
- Wijaya, S., Rudy, L. H., Debora, F., Rahma, R. A., Ramadhan, A., & Attaqwa, Y. (2024). Artificial intelligence and internet of things in manufacturing decision processes. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 13(2), 2183–2200. <https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i2.pp2185-2200>
- Yadav, G. K., Kumar, S. M. K. S., Verma, S. V., & Prasad, V. P. (2024). Enhancing worker safety in manufacturing with IoT and ML. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i01.14203>