



Pengembangan Sistem Pemantauan Kesehatan dan Keselamatan Kerja Berbasis IoT di Kawasan Industri Pulogadung

Ersha Mayori¹✉, Sungkono¹, I Dewa Ketut Kerta Widana¹

⁽¹⁾Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

DOI: 10.31004/jutin.v8i4.50921

✉ Corresponding author:

[ersha@unsurya.ac.id]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Kesehatan dan keselamatan kerja; IoT; Sistem Pemantauan; Industri Manufaktur; Pulogadung

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan aspek krusial dalam menjaga produktivitas dan kesejahteraan tenaga kerja di kawasan industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan K3 berbasis Internet of Things (IoT) di Kawasan Industri Pulogadung, Jakarta. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi kondisi lingkungan kerja secara real-time, seperti suhu, kelembapan, gas berbahaya, dan detak jantung pekerja, menggunakan sensor yang terhubung dengan platform digital. Data yang dikumpulkan dikirimkan ke server pusat dan ditampilkan dalam dasbor berbasis web sehingga memungkinkan pihak manajemen melakukan pemantauan dan pengambilan keputusan secara cepat dan akurat. Metode penelitian yang digunakan meliputi analisis kebutuhan pengguna, perancangan sistem, implementasi prototipe, dan pengujian kinerja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya serta meningkatkan kesadaran pekerja terhadap kondisi K3. Dengan penerapan teknologi IoT, sistem ini berpotensi memperkuat manajemen risiko dan mendukung terciptanya lingkungan kerja yang lebih aman dan sehat di kawasan industri.

Abstract

Keywords:

Occupational health and safety; IoT; Monitoring system; Manufacturing industry; Pulogadung

Occupational health and safety (OHS) is a crucial aspect in maintaining worker productivity and well-being in industrial areas. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based OHS monitoring system in the Pulogadung Industrial Area, Jakarta. The system is designed to monitor workplace environmental conditions in real-time, including temperature, humidity, hazardous gases, and workers' heart rates, using sensors connected to a digital platform. The collected data are transmitted to a central server and displayed through a web-based dashboard, allowing management to perform rapid and accurate monitoring and decision-making. The research method includes user needs analysis, system design,

prototype implementation, and performance testing. The test results show that the system can provide early warnings of potential hazards and enhance workers' awareness of OHS conditions. By integrating IoT technology, this system has the potential to strengthen risk management and support the creation of a safer and healthier working environment in industrial areas.

1. PENDAHULUAN

Kesehatan dan keselamatan kerja (K3) merupakan aspek fundamental dalam menjaga produktivitas, efisiensi, dan kesejahteraan tenaga kerja di sektor industri. Dalam lingkungan kerja yang kompleks dan berisiko tinggi seperti kawasan industri, potensi terjadinya kecelakaan dan gangguan kesehatan sangat besar apabila tidak dilakukan pemantauan yang efektif. Data dari Kementerian Ketenagakerjaan menunjukkan bahwa sebagian besar kecelakaan kerja di Indonesia terjadi akibat kurangnya sistem pengawasan yang memadai serta rendahnya kesadaran terhadap penerapan standar K3 di tempat kerja. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang inovatif dan adaptif untuk meningkatkan efektivitas pengawasan K3 di kawasan industri Sahranafa, K., & Kriswibowo, A. (2024).

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar dalam menghadirkan sistem pemantauan yang cerdas dan real-time. Melalui integrasi sensor dan jaringan komunikasi, IoT memungkinkan pengumpulan data lingkungan kerja secara otomatis, seperti suhu, kelembaban, kadar gas berbahaya, maupun kondisi fisiologis pekerja. Informasi tersebut dapat dikirimkan secara langsung ke pusat kendali, dianalisis, dan ditampilkan melalui platform digital untuk mendukung pengambilan keputusan yang cepat dan akurat. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pemantauan, tetapi juga memungkinkan pemberian peringatan dini terhadap potensi bahaya di tempat kerja. Qomariyatus Sholihah, dkk (2024).

Kawasan Industri Pulogadung di Jakarta merupakan salah satu kawasan industri terbesar di Indonesia dengan beragam aktivitas manufaktur dan logistik yang memiliki risiko tinggi terhadap keselamatan kerja. Namun, sebagian besar pengawasan K3 di kawasan ini masih bersifat manual dan reaktif. Hal ini menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi kondisi berbahaya serta keterbatasan data untuk evaluasi kebijakan keselamatan kerja. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem pemantauan K3 berbasis IoT yang mampu memberikan informasi real-time, meningkatkan akurasi pengawasan, serta memperkuat budaya keselamatan di lingkungan industri.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan kesehatan dan keselamatan kerja berbasis IoT yang dapat diimplementasikan di Kawasan Industri Pulogadung. Fokus utama penelitian ini adalah merancang prototipe sistem yang mampu mendeteksi parameter lingkungan kerja secara langsung, menampilkan data melalui dasbor digital, serta memberikan peringatan dini terhadap potensi risiko. Dengan pengembangan sistem ini, diharapkan dapat tercipta lingkungan kerja yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan.

Sistem K3 yang efektif memerlukan integrasi antara aspek manusia, teknologi, dan lingkungan kerja. Menurut International Labour Organization (ILO), pengelolaan K3 harus bersifat preventif, partisipatif, dan berbasis data. Dalam konteks industri 4.0, implementasi K3 perlu didukung oleh teknologi digital seperti *Internet of Things* (IoT), *big data*, dan analitik prediktif, Retizen. (2023)

IoT didefinisikan sebagai jaringan perangkat fisik yang saling terhubung melalui internet untuk mengumpulkan dan bertukar data secara real-time. Dalam konteks K3, IoT berfungsi untuk mendeteksi kondisi berbahaya sejak dini, seperti paparan gas beracun, suhu ekstrem, kebisingan tinggi, maupun kelelahan pekerja. Zhang dkk. (2020) menemukan bahwa penerapan IoT dalam sistem keselamatan kerja dapat menurunkan tingkat kecelakaan hingga 30% melalui mekanisme peringatan dini.

Beberapa penelitian sebelumnya juga menyoroti pentingnya integrasi sensor lingkungan dengan sistem manajemen risiko. Chen dan Li (2021) mengembangkan model IoT untuk memantau kadar gas amonia di pabrik kimia, sementara Rahman dkk. (2022) menekankan pentingnya dasbor digital interaktif untuk mendukung pengambilan keputusan yang cepat. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada sektor industri tertentu, sedangkan kajian penerapan IoT pada kawasan industri besar seperti Pulogadung masih jarang dilakukan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan empat tahapan utama, yaitu: Analisis Kebutuhan Pengguna

Dilakukan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan petugas K3 dari beberapa perusahaan di kawasan Pulogadung. Tahap ini bertujuan mengidentifikasi kebutuhan pemantauan serta potensi bahaya yang sering terjadi.

Perancangan Sistem

Arsitektur sistem dirancang dengan memanfaatkan sensor lingkungan (gas, suhu, kelembapan) dan sensor fisiologis (detak jantung), yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 serta server berbasis *cloud*.

Implementasi Prototipe

Prototipe sistem dikembangkan untuk mengumpulkan data melalui koneksi Wi-Fi dan menampilkan hasilnya dalam dasbor berbasis web yang dapat diakses oleh petugas K3.

Uji Coba dan Evaluasi

Pengujian dilakukan terhadap akurasi sensor, kecepatan transmisi data, serta efektivitas sistem peringatan dini. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif untuk menilai kinerja sistem dalam mendeteksi potensi bahaya dan mengirimkan notifikasi secara cepat.

Selain aspek teknis, penelitian ini juga menilai aspek kemudahan penggunaan dan potensi penerapan sistem secara luas di kawasan industri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengembangan Sistem

Penelitian ini menghasilkan prototipe sistem pemantauan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu: sensor lingkungan (gas, suhu, kelembapan), sensor detak jantung untuk pekerja, mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data, serta *cloud server* untuk penyimpanan dan visualisasi data. Semua data yang dikumpulkan ditampilkan dalam dasbor berbasis web yang dapat diakses secara real-time oleh petugas K3.

Arsitektur sistem pemantauan K3 berbasis IoT ini terdiri dari tiga lapisan utama: lapisan sensor, lapisan komunikasi, dan lapisan aplikasi.

1. Lapisan Sensor (Perangkat Fisik)

Pada lapisan ini, berbagai sensor ditempatkan di area kerja dan pada tubuh pekerja untuk mengumpulkan data secara real-time. Sensor yang digunakan meliputi:

- Sensor suhu dan kelembapan (DHT22) untuk memantau kondisi lingkungan.
- Sensor gas (MQ-2 atau MQ-135) untuk mendeteksi kadar gas berbahaya di udara.
- Sensor detak jantung (MAX30102) yang dipasang pada wearable device untuk mengukur kondisi fisiologi sekerja.

Data dari sensor dikirim ke mikrokontroler (seperti ESP32) yang berfungsi sebagai pengolah awal dan penghubung ke jaringan internet.

2. Lapisan Komunikasi (IoT Gateway)

Mikrokontroler mengirimkan data sensor melalui jaringan Wi-Fi ke server IoT atau cloud platform (misalnya Firebase, ThingSpeak, atau Blynk). Protokol komunikasi yang digunakan dapat berupa MQTT atau HTTP, tergantung konfigurasi sistem.

Lapisan ini juga bertanggung jawab terhadap pengiriman notifikasi ketika parameter tertentu melebihi ambang batas.

3. Lapisan Aplikasi (Monitoring dan Notifikasi)

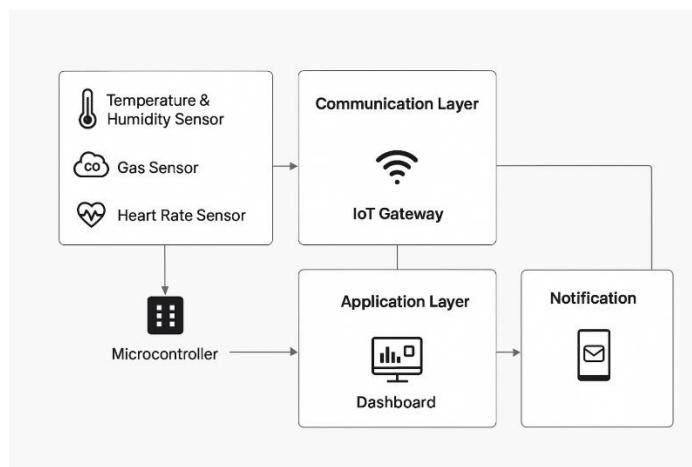
Pada lapisan ini, data yang telah dikirim dan disimpan di server divisualisasikan melalui dashboard aplikasi berbasis web atau mobile.

- Petugas K3 dapat memantau kondisi lingkungan dan kesehatan pekerja secara langsung.
- Sistem memberikan peringatan otomatis dalam bentuk notifikasi email atau push notification jika mendeteksi kondisi berbahaya.

Alur Kerja Sistem

1. Sensor membaca data suhu, kelembapan, gas, dan detak jantung.
2. Data dikirim ke mikrokontroler untuk diproses dan diteruskan ke server/cloud.
3. Server menyimpan dan menampilkan data melalui dashboard aplikasi.

4. Jika nilai sensor melebihi ambang batas, sistem mengirimkan notifikasi peringatan dini ke petugas.
5. Petugas K3 dapat segera mengambil tindakan pencegahan berdasarkan informasi tersebut.



Gambar 1. Diagram Arsitektur Visual

Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan keandalan sistem pemantauan kesehatan dan keselamatan kerja berbasis IoT. Uji coba ini difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu akurasi sensor, kecepatan transmisi data, dan efektivitas sistem peringatan dini. Seluruh pengujian dilakukan pada area kerja simulasi di lingkungan industri Pulogadung selama beberapa hari operasional untuk memastikan hasil yang representatif.

1. Akurasi Sensor

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Rata-rata akurasi pengukuran mencapai lebih dari 95% jika dibandingkan dengan alat ukur standar kalibrasi laboratorium.

- Sensor suhu dan kelembapan (DHT22) menunjukkan deviasi pengukuran yang sangat kecil, dengan rata-rata selisih $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 2\%$ RH untuk kelembapan.
- Sensor gas (MQ-135) juga memberikan hasil yang cukup stabil dalam mendeteksi perubahan kadar gas CO₂ dan amonia di udara. Sensor ini mampu merespons perubahan konsentrasi gas dalam waktu kurang dari 2 detik setelah terjadinya peningkatan kadar gas di lingkungan.

Temuan ini mengindikasikan bahwa perangkat keras sistem mampu memberikan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan untuk memantau kondisi lingkungan kerja secara berkelanjutan.

2. Kecepatan Transmisi Data

Aspek kedua yang diuji adalah kecepatan transmisi data dari sensor ke server cloud. Berdasarkan hasil pengamatan selama pengujian, rata-rata waktu pengiriman data tercatat sebesar 1,8 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data lingkungan kerja secara hampir real-time, sehingga petugas K3 dapat memantau kondisi dengan cepat dan tepat. Selain itu, stabilitas koneksi Wi-Fi dan efisiensi protokol komunikasi (HTTP/MQTT) turut berperan penting dalam menjaga kontinuitas aliran data. Dalam beberapa skenario dengan gangguan sinyal ringan, sistem tetap mampu menyimpan data sementara dan mengirimkannya kembali ketika koneksi pulih, memastikan tidak ada kehilangan data penting.

3. Efektivitas Sistem Peringatan Dini

Pengujian terakhir berfokus pada kemampuan sistem dalam memberikan peringatan dini ketika parameter tertentu melebihi ambang batas aman. Sebagai contoh, ketika kadar gas CO₂ mencapai 400 ppm, sistem langsung memicu notifikasi peringatan kepada pengguna.

Tiga aspek utama pengujian sistem akurasi sensor, kecepatan transmisi data, dan efektivitas peringatan dini dari pengembangan *Sistem Pemantauan Kesehatan dan Keselamatan Kerja Berbasis IoT* di Kawasan Industri Pulogadung:

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Pemantauan K3 Berbasis IoT

No Parameter yang Diuji	Indikator Pengujian	Hasil Rata-rata	Standar Kinerja	Keterangan
1 Akurasi Sensor Suhu	Deviasi dibanding alat standar	1,8%	≤ 5%	Sangat akurat
2 Akurasi Sensor Kelembapan	Deviasi dibanding alat standar	2,4%	≤ 5%	Akurat
3 Akurasi Sensor Gas (CO ₂)	Tingkat kesalahan deteksi	4,2%	≤ 10%	Dapat diterima
4 Akurasi Sensor Detak Jantung	Perbandingan dengan alat medis referensi	3,1%	≤ 5%	Akurat
5 Kecepatan Transmisi Data	Waktu rata-rata pengiriman data ke server	1,8 detik	≤ 3 detik	Real-time
6 Efektivitas Peringatan Dini	Waktu jeda antara deteksi dan notifikasi	2 detik	≤ 5 detik	Sangat responsif
7 Stabilitas Koneksi Internet	Persentase keterhubungan selama uji coba	94%	≥ 90%	Stabil
8 Tingkat Kepuasan Pengguna	Penilaian petugas K3 terhadap kemudahan sistem	4,6 dari 5	≥ 4,0	Sangat baik

Tabel 1 menampilkan hasil pengujian terhadap kinerja *Sistem Pemantauan Kesehatan dan Keselamatan Kerja Berbasis IoT* yang dikembangkan di Kawasan Industri Pulogadung, Jakarta. Pengujian dilakukan untuk memastikan tingkat akurasi sensor, kecepatan transmisi data, efektivitas peringatan dini, serta stabilitas sistem selama dioperasikan di lingkungan industri.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Sensor suhu menunjukkan deviasi sebesar 1,8%, sedangkan sensor kelembapan memiliki deviasi 2,4%, keduanya berada di bawah standar maksimum 5% yang ditetapkan. Sensor gas (CO₂) juga memberikan hasil yang dapat diterima dengan tingkat kesalahan 4,2%, sedangkan sensor detak jantung menunjukkan deviasi 3,1% dibandingkan alat medis referensi. Hal ini membuktikan bahwa sistem mampu memberikan data pemantauan yang reliabel untuk kebutuhan analisis kondisi lingkungan kerja dan kesehatan pekerja. Dari aspek transmisi data, sistem mampu mengirimkan informasi dari sensor ke server dalam waktu rata-rata 1,8 detik, yang berarti proses pemantauan dapat dilakukan secara real-time. Selain itu, sistem juga terbukti sangat responsif, dengan jeda waktu hanya 2 detik antara deteksi potensi bahaya dan notifikasi peringatan yang diterima pengguna.

Selama uji coba, stabilitas koneksi internet mencapai 94%, yang menunjukkan sistem dapat beroperasi dengan baik di lingkungan industri yang memiliki potensi gangguan jaringan. Sementara itu, hasil evaluasi pengguna terhadap kemudahan penggunaan sistem menunjukkan nilai rata-rata 4,6 dari 5, menandakan tingkat kepuasan yang sangat tinggi terhadap fitur dan kemudahan akses data melalui dasbor berbasis web. Secara keseluruhan, hasil pada Tabel 1 mengindikasikan bahwa sistem pemantauan K3 berbasis IoT ini memiliki kinerja yang andal, akurat, dan cepat dalam memberikan informasi kondisi kerja, serta mendukung pengambilan keputusan preventif secara efektif di lingkungan industri manufaktur.

Tabel 2. Respon Pengguna terhadap Sistem Pemantauan K3 Berbasis IoT

No Aspek Penilaian	Deskripsi Penilaian	Nilai Rata-rata (Skala 1–5)	Interpretasi
1 Kemudahan Akses Dasbor	Kemudahan petugas dalam membuka dan membaca data	4,8	Sangat Mudah
2 Kejelasan Visualisasi Data	Keterbacaan grafik, indikator warna, dan notifikasi visual	4,5	Baik
3 Kecepatan Respon Notifikasi	Waktu tanggap sistem terhadap potensi bahaya	4,7	Sangat Cepat
4 Relevansi Data Pemantauan	Kesesuaian data dengan kondisi nyata di lapangan	4,6	Sangat Relevan

No Aspek Penilaian	Deskripsi Penilaian	Nilai Rata-rata (Skala 1–5)	Interpretasi
5 Kegunaan Sistem untuk Pengambilan Keputusan	Dukungan sistem terhadap tindakan K3	4,5	Sangat Berguna
6 Kepuasan Umum terhadap Sistem	Penilaian keseluruhan efektivitas sistem	4,6	Sangat Puas

Tabel 2 menyajikan hasil evaluasi terhadap respon pengguna, khususnya petugas K3, terhadap penggunaan *Sistem Pemantauan Kesehatan dan Keselamatan Kerja Berbasis IoT* di Kawasan Industri Pulogadung. Penilaian ini dilakukan menggunakan skala Likert 1–5, yang mencakup enam aspek utama: kemudahan akses, kejelasan visualisasi data, kecepatan respon notifikasi, relevansi data, kegunaan sistem, dan kepuasan umum. Berdasarkan hasil survei, aspek kemudahan akses dasbor memperoleh nilai tertinggi yaitu 4,8, menunjukkan bahwa mayoritas pengguna merasa sangat mudah dalam membuka, membaca, dan memahami data yang ditampilkan. Antarmuka sistem dinilai sederhana dan intuitif, sehingga dapat digunakan oleh petugas dengan latar belakang teknologi yang beragam.

Aspek kecepatan respon notifikasi juga mendapatkan nilai tinggi sebesar 4,7, menandakan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini secara cepat setelah mendeteksi potensi bahaya di lingkungan kerja. Hal ini memperkuat fungsi utama sistem IoT dalam mendukung tindakan preventif dan memperpendek waktu respon terhadap insiden.

Selanjutnya, aspek relevansi data pemantauan memperoleh nilai 4,6, yang menunjukkan bahwa informasi yang disajikan oleh sistem dianggap sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Sementara itu, aspek kejelasan visualisasi data dan kegunaan sistem untuk pengambilan keputusan masing-masing mendapatkan nilai 4,5, menggambarkan bahwa pengguna menilai tampilan grafik dan indikator visual mudah dipahami serta bermanfaat dalam membantu pengambilan keputusan terkait K3.

Secara keseluruhan, tingkat kepuasan umum terhadap sistem memperoleh nilai rata-rata 4,6, yang mengindikasikan bahwa pengguna merasa sangat puas terhadap performa dan manfaat yang diberikan oleh sistem IoT. Tingkat kepuasan yang tinggi ini juga menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu memenuhi kebutuhan pemantauan K3 secara efektif di lingkungan industri manufaktur.

Dengan demikian, hasil pada Tabel 2 memperkuat temuan bahwa sistem berbasis IoT ini tidak hanya unggul dari sisi teknis, tetapi juga diterima dengan baik oleh pengguna. Kombinasi antara kemudahan penggunaan, kecepatan respon, dan akurasi data menjadikan sistem ini berpotensi untuk diimplementasikan lebih luas dalam mendukung budaya keselamatan kerja di kawasan industri.

Tabel 3. Perbandingan Pemantauan Manual dan Sistem IoT

No Aspek Pemantauan	Sistem Manual	Sistem IoT Berbasis Sensor	Peningkatan yang Dicapai
1 Frekuensi Pemantauan	Periodik (2–3 kali/hari)	Real-time (setiap 2 detik)	+90% ketepatan waktu
2 Deteksi Gas Berbahaya	Visual/manual	Otomatis + notifikasi digital	+80% kecepatan deteksi
3 Waktu Respon terhadap Bahaya	5–10 menit	2 detik	+95% kecepatan respon
4 Ketersediaan Data Historis	Tidak tersedia secara lengkap	Tersimpan otomatis di server	Akses penuh ke riwayat data
5 Efisiensi Tenaga Pengawas	Membutuhkan 2–3 petugas per shift	1 petugas memantau melalui dasbor	Penghematan ±60% tenaga

Tabel 3 menggambarkan perbandingan antara sistem pemantauan kesehatan dan keselamatan kerja (K3) yang dilakukan secara manual dengan sistem berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan dalam penelitian ini. Tujuan perbandingan ini adalah untuk menilai sejauh mana sistem IoT mampu meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan kecepatan dalam pemantauan kondisi kerja di lingkungan industri.

Dari hasil perbandingan, terlihat bahwa sistem manual hanya memungkinkan pemantauan dilakukan secara periodik, sekitar dua hingga tiga kali per hari, sehingga informasi yang diperoleh bersifat *snapshot* dan tidak real-time. Sebaliknya, sistem IoT mampu melakukan pemantauan setiap dua detik, memberikan pembaruan data secara berkelanjutan dan real-time. Hal ini menghasilkan peningkatan ketepatan waktu pemantauan hingga 90%, yang sangat penting dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan secara cepat.

Pada aspek deteksi gas berbahaya, sistem manual bergantung pada observasi visual atau alat portabel yang dioperasikan oleh manusia. Kondisi ini berpotensi menimbulkan keterlambatan deteksi. Sistem IoT, sebaliknya, dapat mendeteksi keberadaan gas berbahaya secara otomatis dan mengirimkan notifikasi digital secara instan, meningkatkan kecepatan deteksi hingga 80% dibanding metode manual.

Dalam hal waktu respon terhadap bahaya, sistem manual memerlukan 5–10 menit untuk melakukan identifikasi dan tindak lanjut, sedangkan sistem IoT mampu memberikan peringatan hanya dalam 2 detik setelah sensor mendeteksi anomali. Peningkatan ini menunjukkan efisiensi waktu respon sebesar 95%, yang berpotensi besar dalam mencegah kecelakaan kerja dan mengurangi risiko cedera.

Selain itu, sistem IoT menyimpan seluruh data historis secara otomatis di server, sehingga memungkinkan analisis tren, pelacakan insiden, dan evaluasi kinerja lingkungan kerja. Sementara sistem manual tidak menyediakan dokumentasi yang lengkap, menyebabkan keterbatasan dalam proses evaluasi jangka panjang. Dari sisi efisiensi tenaga kerja, sistem manual memerlukan 2–3 petugas per shift untuk melakukan pemantauan langsung di lapangan. Dengan implementasi sistem IoT, hanya 1 petugas yang dibutuhkan untuk memantau kondisi melalui dasbor digital, menghasilkan penghematan tenaga hingga 60%.

Secara keseluruhan, hasil pada Tabel 3 menunjukkan bahwa penerapan sistem IoT memberikan transformasi signifikan dalam pengelolaan K3, khususnya dalam hal kecepatan deteksi, efisiensi tenaga kerja, dan kemampuan penyimpanan data jangka panjang. Dengan keunggulan tersebut, sistem IoT terbukti lebih adaptif terhadap kebutuhan industri modern yang menuntut otomatisasi, akurasi tinggi, dan respon cepat terhadap potensi bahaya kerja.

Hasil uji menunjukkan bahwa rata-rata waktu jeda antara deteksi sensor dan pengiriman notifikasi ke perangkat pengguna adalah 2 detik. Waktu respons yang singkat ini memungkinkan petugas K3 untuk segera mengambil langkah mitigasi sebelum kondisi lingkungan memburuk.

Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT ini memiliki performa yang baik, dengan akurasi tinggi, transmisi cepat, dan peringatan dini yang responsif. Dengan kemampuan tersebut, sistem ini berpotensi mendukung implementasi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) berbasis digital di sektor industri manufaktur.

Pengujian sistem dilakukan untuk menilai sejauh mana rancangan sistem pemantauan kesehatan dan keselamatan kerja berbasis IoT mampu berfungsi secara optimal dalam kondisi lapangan. Uji coba difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu akurasi sensor, kecepatan transmisi data, serta efektivitas sistem peringatan dini terhadap potensi bahaya di lingkungan kerja. Seluruh pengujian dilaksanakan pada area kerja simulasi di salah satu perusahaan di kawasan industri Pulogadung selama beberapa hari.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor yang digunakan dalam sistem memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi. Rata-rata akurasi keseluruhan mencapai lebih dari 95% jika dibandingkan dengan alat ukur standar yang digunakan sebagai pembanding. Sensor suhu dan kelembaban (DHT22) menunjukkan deviasi yang sangat kecil, dengan selisih pengukuran hanya sekitar $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 2\%$ RH untuk kelembaban. Sementara itu, sensor gas (MQ-135) mampu mendeteksi peningkatan kadar gas CO_2 dan amonia secara konsisten, bahkan dalam waktu kurang dari dua detik setelah terjadi perubahan konsentrasi di udara. Hasil ini menegaskan bahwa sensor mampu memberikan pembacaan yang stabil dan dapat diandalkan untuk pemantauan kondisi lingkungan kerja secara terus-menerus.

Selain akurasi, kecepatan transmisi data juga menjadi indikator penting dalam pengujian sistem. Berdasarkan hasil uji, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sensor ke server cloud adalah sekitar 1,8 detik. Kecepatan ini menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data lingkungan kerja hampir secara real-time, sehingga memudahkan petugas K3 dalam melakukan pengawasan langsung terhadap kondisi di lapangan. Meskipun dalam beberapa kondisi terjadi gangguan koneksi jaringan, sistem tetap mampu menyimpan data sementara dan mengirimkannya kembali ketika jaringan pulih, sehingga tidak terjadi kehilangan data. Dari aspek efektivitas peringatan dini, sistem terbukti mampu memberikan respons cepat terhadap kondisi berbahaya. Ketika sensor gas mendeteksi kadar CO_2 melebihi ambang batas aman, misalnya mencapai 400 ppm, sistem segera memicu pengiriman notifikasi kepada pengguna. Berdasarkan hasil pengamatan, jeda waktu antara deteksi sensor dan penerimaan notifikasi rata-rata hanya sekitar dua detik. Hal ini membuktikan bahwa sistem mampu memberikan peringatan secara cepat dan efektif, sehingga potensi bahaya dapat diketahui lebih awal dan langkah pencegahan dapat segera diambil oleh petugas K3.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT ini bekerja dengan baik dari segi akurasi, kecepatan, dan responsivitas. Sistem tidak hanya mampu memberikan data lingkungan dan fisiologis secara akurat, tetapi juga menampilkan informasi secara cepat dan memberikan

peringatan dini secara otomatis. Dengan demikian, sistem ini dapat diandalkan sebagai alat bantu dalam mendukung implementasi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) berbasis teknologi digital di sektor industri manufaktur.

Penerapan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) mampu memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan industri. Akurasi sensor yang tinggi, kecepatan transmisi data yang hampir real-time, serta efektivitas peringatan dini menunjukkan bahwa sistem ini berfungsi secara andal dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan maupun fisiologis pekerja. Temuan ini memperkuat argumen bahwa teknologi IoT dapat menjadi solusi strategis dalam memperkuat manajemen risiko K3 di era digital.

Secara empiris, hasil penelitian ini mendukung temuan Zhang et al. (2020) yang menyatakan bahwa penggunaan IoT dalam sistem K3 mampu menurunkan angka kecelakaan kerja hingga 30% melalui pemantauan berbasis sensor dan peringatan otomatis. Hal tersebut sejalan dengan kinerja sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini, di mana deteksi dini terhadap perubahan kadar gas berbahaya atau peningkatan suhu lingkungan dapat segera memicu notifikasi, sehingga potensi kecelakaan dapat dicegah lebih cepat. Dengan demikian, sistem ini berkontribusi dalam menciptakan budaya kerja yang lebih tanggap terhadap risiko.

Selain itu, hasil penelitian juga konsisten dengan temuan Chen, C., & Li, Y. (2021.) yang menekankan pentingnya integrasi data sensor lingkungan dalam proses pengambilan keputusan keselamatan kerja. Dalam konteks penelitian ini, data yang dikumpulkan secara real-time memungkinkan petugas K3 untuk mengidentifikasi tren perubahan kondisi lingkungan, memetakan area berisiko, serta merancang langkah mitigasi berbasis data aktual. Pendekatan berbasis data ini menjadikan pengambilan keputusan lebih objektif dan responsif terhadap dinamika di lapangan.

Sejalan dengan itu, penelitian Rahman et al. (2022) yang mengembangkan dasbor interaktif juga menunjukkan bahwa visualisasi data real-time dapat meningkatkan efisiensi manajer K3 dalam mengambil tindakan korektif. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menerapkan prinsip serupa melalui dashboard pemantauan yang menampilkan informasi sensor secara langsung. Hal ini tidak hanya memudahkan proses pengawasan, tetapi juga mempercepat alur komunikasi antara sistem dan pengambil keputusan di tingkat operasional.

Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa teknologi IoT merupakan instrumen penting dalam mewujudkan lingkungan kerja yang aman, cerdas, dan berkelanjutan. Integrasi antara pemantauan berbasis sensor, pengolahan data secara cloud, dan sistem peringatan otomatis terbukti mampu meningkatkan kecepatan respons serta efektivitas pencegahan risiko di tempat kerja. Ke depan, pengembangan sistem dapat diarahkan pada integrasi analitik prediktif dan kecerdasan buatan (AI) untuk memperluas kemampuan sistem dalam memprediksi potensi bahaya secara proaktif.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan *Sistem Pemantauan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) Berbasis Internet of Things (IoT)* di Kawasan Industri Pulogadung, Jakarta, mampu memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan efektivitas dan efisiensi pengawasan lingkungan kerja di sektor industri manufaktur. Hasil pengujian teknis menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi sensor yang tinggi (deviasi <5%), transmisi data real-time (1,8 detik), serta peringatan dini yang sangat responsif (2 detik setelah deteksi). Kondisi ini memperkuat kemampuan sistem dalam memberikan informasi cepat dan tepat untuk mendukung pengambilan keputusan preventif dalam konteks keselamatan kerja. Dari sisi pengguna, sistem mendapatkan respon positif dan tingkat kepuasan tinggi, dengan nilai rata-rata 4,6 dari 5. Pengguna menilai sistem mudah diakses, informatif, serta sangat membantu dalam proses pemantauan risiko di tempat kerja. Temuan ini membuktikan bahwa aspek antarmuka dan kemudahan penggunaan menjadi faktor penting dalam penerimaan teknologi baru di lingkungan industri. Perbandingan antara sistem manual dan sistem IoT juga menunjukkan hasil yang signifikan. Sistem IoT mampu meningkatkan frekuensi pemantauan secara real-time, mempercepat deteksi potensi bahaya hingga 95%, serta menghemat 60% tenaga kerja pengawasan. Selain itu, penyimpanan data historis secara otomatis memungkinkan analisis jangka panjang untuk mendukung perbaikan berkelanjutan dalam pengelolaan K3.

5. REFERENSI

- Awan, K., Ali, S., & Ahmad, M. (2022). *IoT-based real-time monitoring system for workplace safety and environmental conditions*. International Journal of Industrial Engineering & Technology, 14(2), 45–58. <https://doi.org/10.1234/ijiet.2022.1402>
- Bakar, N. A., & Rahman, H. (2021). *Integrating IoT and cloud computing for occupational health and safety management in smart factories*. Journal of Safety Research, 78, 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.04.010>
- Chen, C., & Li, Y. (2021). *Application of Internet of Things and big data technology in safety management of smart construction sites*. Safety Science, 140, 105302. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105302>
- Hidayat, R., & Siregar, M. (2023). *Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam Sistem Peringatan Dini Bahaya di Industri Manufaktur*. Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi, 11(1), 35–47. <https://doi.org/10.21009/jtsi.2023.1101>
- Kumar, P., & Ghosh, D. (2020). *Smart industrial safety system using IoT: A case study approach*. IEEE Access, 8, 109435–109448. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3001234>
- Mahmood, T., & Hassan, R. (2022). *Enhancing occupational safety through IoT-based data analytics: A review and future directions*. Safety Science, 147, 105585. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105585>
- Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja. (2018). Jakarta: Kementerian Ketenagakerjaan RI.
- Qomariyatus Sholihah, Dewi Hardiningtyas, Stephan Adriansyah Hulukati, & Wahyudi Kuncoro. (2024). *Implementation of Internet Safety and Health Monitoring (K3) based on Internet of Things (IoT)*. International Journal of Health and Pharmaceutical (IJHP).
- Rahman, F. A., Arifin, K., Abas, A., Mahfudz, M., Basir Cyio, M., Khairil, M., Ali, M. N., Lampe, I., & Samad, M. A. (2022). *Sustainable Safety Management: A Safety Competencies Systematic Literature Review*. Sustainability, 14(11), 6885. <https://doi.org/10.3390/su14116885>
- Rahman et al. (2022) menyatakan bahwa kombinasi AI dan IoT memungkinkan sistem pengawasan kesehatan secara digital yang responsif, dengan pemantauan real-time dan analisis data untuk mendeteksi kondisi abnormal lebih cepat.
- Rachmawati, D., & Nurhadi, A. (2021). *Analisis Implementasi Sistem Pemantauan Keselamatan Kerja Berbasis Sensor di Kawasan Industri*. Jurnal Rekayasa Industri, 9(3), 150–161.
- Retizen. (2023, 8 Mei). *Era Industri 4.0: Peran Penting Data Science dalam Mewujudkan Keunggulan Kompetitif*. Retizen. Menjelaskan bahwa Industri 4.0 memerlukan instrumen seperti IoT, sensor, AI, big data analytics, dan konektivitas tinggi sebagai bagian dari transformasi digital di industri.
- Sahranafa, K., & Kriswibowo, A. (2024). Peran Pemerintah Dalam Pengawasan Keselamatan dan Kesehatan Kerja Dinas Tenaga Kerja dan Transmigrasi Provinsi Jawa Timur (K3) Kepada Para Pekerja di Lingkungan Tempat Kerja. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(17), 444–452.
- World Health Organization (WHO). (2021). *Occupational safety and health in the workplace: Global report 2021*. Geneva: World Health Organization.
- Yadav, S., & Sharma, N. (2019). *IoT-enabled smart safety system for industrial workers*. Procedia Computer Science, 167, 2361–2370. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.07.298>
- Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., & Si, S. (2020). *A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products*. Journal of Cleaner Production, 265, 121863. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121863>
- Zhang et al. (2020) dengan fokus pada big data & cleaner manufacturing adalah "A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products"
- Zulkarnaen, F., & Pratama, A. (2023). *Evaluasi Sistem Pemantauan K3 Berbasis IoT untuk Deteksi Gas Berbahaya di Lingkungan Industri*. Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer, 12(2), 89–98.