Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri
Vol. 10 No. 1 Bulan Tahun, hal 16-30

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

Tersedia secara online di http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jatiunik/index

JATI UNIK

Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri



Penerapan IoT untuk Deteksi Dini Kebocoran CO_2 guna Mendukung Efisiensi di Seksi Welding

Setiawan[*1], Rina Noviana[2]
setiawan19434ut@gmail.com[1], rina_n@staff.gunadarma.ac.id[2]
[1,2]Program Studi Magister Sistem Informasi Manajemen, Universitas Gunadarma, Depok, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Received : 27 September 2026
Revised : 29 Oktober 2026
Accepted : 04 November 2026

Kata kunci : *DSRM; Deteksi dini; IoT; Kebocoran CO_2; welding*

Untuk melakukan sitasi pada penelitian ini dengan format :

Setiawan & Rina N. (2026). Penerapan IoT untuk Deteksi Dini Kebocoran CO_2 guna Mendukung Efisiensi di Seksi Welding. JATI UNIK: Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri,10(1), 16-30

Abstract

CO_2 leakage during Gas Metal Arc Welding (GMAW) can waste gas, disrupt welding stability, and increase operational safety risks. Monitoring in the Welding Section still relies on direct inspection, so rising CO_2 concentrations, particularly during off-shift periods, may not be identified early. This study develops an Internet of Things (IoT)-based system for continuous CO_2 monitoring and early warning using Design Science Research Methodology (DSRM). The system integrates an NDIR MH-Z19B sensor, ESP32, MQTT, a web dashboard, alarms, Telegram notifications, incident history, and repair logs. Historical records show 99 CO_2 supply incidents from February 2023 to November 2025, with Station Rear 2 recording the most incidents (32). In 2025, 35 weekend gas-reduction incidents represented an estimated material loss of 7,808,800 g, equivalent to IDR 39,044,000. Prototype tests showed a detection range of 40–180 cm, a detection rate of 100% (45/45), and mean data-processing latency of 0.668 s. User Acceptance Testing (UAT) with six respondents yielded overall acceptance of 90.48%. The system may support continuous monitoring and early warning of increased CO_2 concentrations in the Welding Section.

Abstrak

Kebocoran CO_2 pada proses Gas Metal Arc Welding (GMAW) dapat menyebabkan pemborosan gas, mengganggu kestabilan proses pengelasan, dan meningkatkan risiko keselamatan operasional. Pemantauan di Seksi Welding masih mengandalkan pemeriksaan langsung sehingga peningkatan konsentrasi CO_2, terutama selama periode off-shift, berpotensi terlambat diketahui. Penelitian ini mengembangkan sistem Internet of Things (IoT) untuk memantau konsentrasi CO_2 secara kontinu dan memberikan peringatan dini dengan metode Design Science Research Methodology (DSRM). Sistem mengintegrasikan sensor NDIR MH-Z19B, ESP32, MQTT, dashboard web, alarm, notifikasi Telegram, histori kejadian, dan repair log. Data historis mencatat 99 kejadian gangguan suplai CO_2 selama Februari 2023–November 2025, dengan Station Rear 2 sebagai lokasi tertinggi (32 kejadian). Pada 2025, tercatat 35 kejadian pengurangan gas pada akhir pekan dengan estimasi kehilangan material sebesar

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

7.808.800 g atau Rp39.044.000. Pengujian prototipe menunjukkan jangkauan deteksi 40–180 cm, detection rate 100% (45/45), dan rata-rata latensi pemrosesan data 0,668 detik. UAT terhadap enam responden menghasilkan penerimaan keseluruhan 90,48%. Sistem berpotensi mendukung pemantauan dan peringatan dini peningkatan konsentrasi CO_2 di Seksi Welding.

1. Pendahuluan

Proses welding merupakan tahapan penting dalam manufaktur sepeda motor untuk menyambungkan komponen rangka. Salah satu metode yang digunakan adalah Gas Metal Arc Welding (GMAW) dengan CO_2 sebagai shielding gas, sehingga kontinuitas suplai, efisiensi material, dan keselamatan operasi perlu dikendalikan [1], [2], [22], [23]. Pada Seksi Welding, belum tersedia sistem peringatan dini yang secara khusus mendeteksi indikasi kebocoran CO_2 akibat gangguan (trouble) pada sistem suplai gas. Selama ini, gangguan suplai shielding gas umumnya diketahui setelah ditemukan cacat pengelasan berupa keropos (porosity) pada produk saat proses produksi berlangsung. Temuan tersebut mendorong teknisi untuk memeriksa instalasi suplai gas guna mengidentifikasi penyebab gangguan. Apabila ditemukan kebocoran, kondisi tersebut baru diketahui setelah pemeriksaan instalasi dilakukan. Mekanisme ini memiliki keterbatasan karena ketika produksi berhenti, tidak terdapat produk yang dapat menunjukkan indikasi gangguan melalui cacat pengelasan. Akibatnya, kebocoran CO_2 berpotensi tidak terdeteksi sejak awal apabila tidak dilakukan pemeriksaan secara langsung. Penelitian ini menggunakan dua kelompok data. Pertama, data historis Februari 2023 - November 2025 mencatat 99 kejadian gangguan suplai CO_2 selama produksi, didominasi selang gas putus (43 kejadian; 43,43%), bocor (33 kejadian; 33,33%), serta pecah atau sobek (10 kejadian; 10,10%). Kedua, data hari off selama 2025 mencatat 35 kejadian pengurangan gas ketika produksi tidak berlangsung. Data ini diperoleh dari rekapitulasi selisih pembacaan meteran gas pada awal dan akhir setiap shift yang dicatat setiap hari, dengan total pengurangan sebesar 7.808.800 gram CO_2. Pengurangan tersebut menjadi indikasi potensi kehilangan gas yang ditelusuri melalui pemeriksaan instalasi. Kedua kelompok data dianalisis secara terpisah untuk mengidentifikasi karakteristik gangguan selama produksi dan mengestimasi potensi kehilangan material saat produksi berhenti. Berdasarkan harga satuan internal perusahaan sebesar Rp5 per gram, estimasi nilai material dari kehilangan CO_2 tersebut mencapai Rp39.044.000. Harga satuan ini mengacu pada data biaya internal perusahaan dalam sistem System Applications and Products in Data Processing (SAP), yang digunakan sebagai dasar perhitungan manufacturing cost. Nilai tersebut merupakan estimasi biaya material berdasarkan jumlah kehilangan gas yang

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

tercatat, bukan pengukuran langsung massa CO_2 yang keluar dari titik kebocoran. Perbedaan kondisi antara periode produksi dan hari off menunjukkan keterbatasan mekanisme identifikasi gangguan yang bergantung pada temuan cacat produk. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan CO_2 secara kontinu yang mampu memberikan indikasi peningkatan konsentrasi gas dan peringatan dini, termasuk ketika produksi berhenti. Informasi tersebut diharapkan dapat membantu teknisi mengidentifikasi kondisi abnormal lebih awal, melakukan pemeriksaan instalasi, dan menindaklanjuti potensi sumber kebocoran [22]–[25]. Perkembangan Industry 4.0 mendorong pemanfaatan Internet of Things (IoT) untuk mengintegrasikan sensor, komunikasi, dan sistem informasi secara real-time [1]. Pada GMAW, real-time sensing telah digunakan untuk mendeteksi perubahan kondisi proses [2].

Penelitian terdahulu telah menerapkan NDIR, ESP32, MQTT, web dashboard, dan threshold untuk monitoring CO_2 dan kualitas udara [3]–[10], [14], [16]–[18], serta arsitektur IoT-cloud dan MQTT untuk pemantauan karbon dan lingkungan [8], [9], [11]–[13]. Namun, penelitian tersebut umumnya berfokus pada kualitas udara, emisi, atau lingkungan, belum secara khusus mengintegrasikan deteksi kebocoran CO_2 sebagai shielding gas GMAW dengan peringatan dini, notifikasi, histori kejadian, repair log, dan tindak lanjut operasional [15], [18], [22], [24], [25]. Penelitian ini merancang dan mengevaluasi sistem IoT untuk memantau konsentrasi CO_2 pada proses Gas Metal Arc Welding (GMAW) di Seksi Welding PT X, yang menggunakan CO_2 sebagai shielding gas. Sistem mengintegrasikan sensor MH-Z19B, ESP32, MQTT, basis data, web dashboard, threshold, alarm, notifikasi Telegram, histori kejadian, dan repair log untuk memantau konsentrasi CO_2 serta mendukung tindak lanjut gangguan suplai gas, termasuk selama periode off-shift [8], [11], [12]. Penerapannya diarahkan untuk mendukung efisiensi sumber daya dan prinsip Environmental, Social, and Governance (ESG) [1], [3], [4], [6], [12], [13], [16], [17]. Sistem dirancang dan dievaluasi menggunakan Design Science Research Methodology (DSRM) [19]–[21], [10], [14]. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan dan peringatan dini peningkatan konsentrasi CO_2 di area welding, dengan evaluasi yang mencakup jangkauan dan konsistensi deteksi serta latensi pembentukan alarm.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan Design Science Research Methodology (DSRM) untuk merancang solusi teknologi terhadap permasalahan operasional pada proses welding. DSRM

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

mengarahkan tahapan penelitian mulai dari identifikasi masalah, penetapan tujuan, perancangan dan pengembangan solusi teknologi, demonstrasi, evaluasi, hingga komunikasi hasil [19]–[21]. solusi teknologi dikembangkan berdasarkan permasalahan nyata dan dievaluasi melalui pengujian untuk menilai kemampuannya dalam menyelesaikan permasalahan tersebut [20], [21]. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan prototipe sistem untuk mendeteksi indikasi kebocoran CO_2 guna mendukung keselamatan kerja, menjaga kualitas hasil pengelasan, serta mencegah pemborosan penggunaan shielding gas sebagai bagian dari upaya mendukung program Environmental, Social, and Governance (ESG) perusahaan. Teknologi Internet of Things (IoT) dimanfaatkan untuk memantau konsentrasi CO_2 secara kontinu dan memberikan peringatan dini ketika konsentrasi mencapai ambang batas yang ditetapkan. Informasi tersebut diharapkan dapat membantu teknisi melakukan pemeriksaan dan tindak lanjut lebih cepat sehingga kebocoran dapat segera dideteksi dan ditangani [15], [22], [25].

2.2 Populasi dan Sampel

Objek penelitian dipilih secara purposive pada Station Rear 2 karena memiliki frekuensi gangguan CO_2 tertinggi, yaitu 32 kejadian berdasarkan data historis. Evaluasi prototipe dilakukan melalui

pengujian variasi jarak deteksi dan konsistensi pembacaan sensor (detection rate) untuk menilai kemampuan sistem dalam mendeteksi peningkatan konsentrasi CO_2 serta menentukan posisi sensor yang efektif. Hasil pengujian menjadi dasar evaluasi awal potensi pengembangan sistem untuk diterapkan pada seluruh station di Seksi Welding.

2.3 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian meliputi data historis gangguan CO_2, rekap trouble terkait suplai gas, rekapitulasi pembacaan meteran, harga internal CO_2, serta prototipe pemantauan yang menggunakan sensor NDIR MH-Z19B dan ESP32. Instrumen tersebut digunakan untuk mengidentifikasi masalah, menentukan lokasi demonstrasi, mengolah estimasi pengurangan gas, dan mengevaluasi kemampuan deteksi serta waktu pembentukan alarm. [14].

2.4 Prosedur Penelitian

Tahap problem identification and motivation menganalisis dua kelompok data. Pertama, 99 kejadian gangguan suplai CO_2 selama produksi pada Februari 2023–November 2025 untuk mengidentifikasi karakteristik gangguan dan menentukan lokasi prioritas pengujian. Kedua, data pengurangan gas CO_2 pada hari Sabtu dan Minggu selama 2025 untuk mengestimasi potensi kehilangan material ketika pengawasan langsung terbatas. Kedua

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

kelompok data dianalisis secara terpisah berdasarkan status kejadian, periode, dan catatan sumber. Selama produksi, gangguan umumnya diketahui setelah ditemukan cacat pengelasan berupa porosity. Sementara itu, saat produksi berhenti, indikator tersebut tidak tersedia sehingga kebocoran berpotensi terlambat teridentifikasi. Kondisi ini mendorong pengembangan sistem pemantauan CO_2 secara kontinu dengan peringatan berdasarkan ambang batas untuk mempercepat pemeriksaan dan tindak lanjut oleh teknisi. Tahap kedua, definition of objectives for a solution, menetapkan kebutuhan pemantauan konsentrasi CO_2 secara kontinu dan peringatan dini agar kondisi abnormal dapat diketahui lebih cepat. Tahap ketiga, design and development, dilakukan dengan mengembangkan prototipe berbasis sensor NDIR MH-Z19B dan ESP32, menggunakan klasifikasi NORMAL (<1.000 ppm), WARNING (1.000–2.999 ppm), dan DANGER (≥3.000 ppm) [10], [14]. Tahap keempat, demonstration, dilakukan di Station Rear 2 yang memiliki jumlah gangguan historis tertinggi, yaitu 32 kejadian. Pengujian dilakukan melalui pelepasan CO_2 selama dua menit pada laju 20 L/menit dengan variasi jarak sumber gas terhadap sensor 40– 300 cm. Jarak yang menunjukkan peningkatan konsentrasi diuji sebanyak lima kali untuk menilai konsistensi deteksi. Tahap kelima evaluation, mengevaluasi prototipe berdasarkan empat aspek, yaitu jangkauan deteksi, konsistensi deteksi melalui detection rate, latensi pembentukan alarm, dan penerimaan pengguna melalui UAT pada aspek perangkat lunak. Evaluasi dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam mendeteksi peningkatan konsentrasi CO_2, menghasilkan peringatan, serta kemudahan penggunaan aplikasi. Tahap keenam, communication menyajikan permasalahan, artefak sistem IoT yang dikembangkan, serta hasil evaluasi kemampuan prototipe dalam mendeteksi peningkatan

konsentrasi CO_2 di area welding industri sepeda motor. Hasil penelitian, keterbatasan, dan implikasi penerapan sistem dilaporkan untuk menunjukkan kontribusinya dalam mendukung deteksi dini indikasi kebocoran shielding gas dan tindak lanjut teknisi [1], [12].

2.5 Kriteria Evaluasi

Evaluasi prototipe dilakukan berdasarkan empat aspek. Pertama, cakupan deteksi dievaluasi berdasarkan jarak maksimum antara titik sumber kebocoran CO_2 dan posisi sensor yang masih memungkinkan sistem mendeteksi peningkatan konsentrasi gas. Pengujian dilakukan pada variasi jarak 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, dan 300 cm. Kedua, kemampuan deteksi dievaluasi menggunakan detection rate melalui pengujian berulang sebanyak lima kali pada setiap jarak yang menunjukkan peningkatan konsentrasi CO_2. Ketiga, kecepatan respons dievaluasi dengan mengukur selang waktu

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

antara pencatatan pembacaan sensor pada perangkat (device timestamp) dan terbentuknya alarm pada sistem. Pengukuran ini digunakan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan sistem dalam memproses data sensor hingga menghasilkan peringatan. Keempat, penerimaan pengguna dievaluasi melalui User Acceptance Testing (UAT) yang difokuskan pada aspek perangkat lunak, meliputi kesesuaian fungsi aplikasi, kemudahan penggunaan, kejelasan informasi, tampilan dashboard, serta kegunaan fitur pemantauan dan pelaporan. Penilaian dilakukan berdasarkan persentase skor aktual terhadap skor maksimum.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Eksisting dan Karakteristik Kebocoran CO_2

Data historis Februari 2023–November 2025 mencatat 99 kejadian trouble gas CO_2 selama jam kerja. Sebanyak 50 kejadian terjadi pada 2023, 36 kejadian pada 2024, dan 13 kejadian pada 2025. Berdasarkan lokasi, Station Rear 2 memiliki frekuensi tertinggi, yaitu 32 kejadian (32,32%), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Rekap Trouble Gas CO_2 pada Jam Kerja

Tahun	Jumlah Kejadian
2023	50
2024	36
2025	13
Total	99

Sumber: Data internal PT X

Tabel 2. Distribusi Trouble CO_2 Berdasarkan Station

Station	Jumlah Kejadian
Rear 2	32
Permanent Robot	18
General Assy	15
Rear 3	13
Rear 4	12
Front 2	4
Front 3	3
Front 1	1
Gate 1	1
Total	99

Sumber: Data internal PT X

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

Berdasarkan jenis masalah pada Tabel 3, gangguan didominasi selang gas putus (43 kejadian), bocor (33 kejadian), dan pecah/sobek (10 kejadian). Secara keseluruhan, 86 kejadian (86,87%) berkaitan dengan selang, menunjukkan bahwa komponen penyalur gas dan sambungannya merupakan sumber gangguan dominan.

Tabel 3. Distribusi Trouble CO_2 Berdasarkan Jenis Masalah

Jenis Masalah	Jumlah	Proporsi
Selang gas putus	43	43,43%
Selang gas bocor	33	33,33%
Selang gas pecah/sobek	10	10,10%
Hose nipple pecah	7	7,07%
Selang gas lepas	4	4,04%
Fitting gas aus	1	1,01%
Regulator gas bocor	1	1,01%
Total	99	100%

Sumber: Data internal PT X

meteran meskipun produksi berhenti. Pembacaan meteran digunakan untuk mencatat konsumsi gas berdasarkan perubahan nilai awal dan akhir selama periode pengamatan. Ketika produksi akan dimulai kembali, penelusuran instalasi dilakukan dan ditemukan kebocoran. Tercatat 35 kejadian dengan total pengurangan gas sebesar 7.808.800 gram, berdasarkan selisih pembacaan meteran sesuai prosedur perusahaan. Dengan harga internal CO_2 sebesar Rp5/gram berdasarkan data biaya dalam sistem SAP, estimasi nilai material mencapai Rp39.044.000. Nilai ini merupakan estimasi biaya berdasarkan pengurangan gas yang tercatat, bukan pengukuran langsung massa CO_2 yang keluar dari titik kebocoran. Oleh karena itu, hasil perhitungan diinterpretasikan dengan mempertimbangkan kondisi operasional dan hasil pemeriksaan instalasi.

Tabel 4. Pemborosan CO_2 dan Estimasi Biaya Tahun 2025

Bulan	Frekuensi	CO_2 terbuang (gram)	Biaya
Januari	4	581.400	Rp2.907.000
Februari	6	1.033.400	Rp5.167.000
Maret	6	1.677.200	Rp8.386.000
April	5	1.161.000	Rp5.805.000
Mei	6	1.419.400	Rp7.097.000
Juli	1	129.200	Rp646.000

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

September	3	903.200	Rp4.516.000
Oktober	2	452.000	Rp2.260.000
November	1	323.000	Rp1.615.000
Desember	1	129.000	Rp645.000
Total	35	7.808.800	Rp39.044.000

Sumber: Data internal PT X

Bulan Maret memiliki biaya kebocoran tertinggi sebesar Rp8.386.000 atau 21,48% dari total biaya tahunan, diikuti Mei sebesar Rp7.097.000 (18,18%) dan April sebesar Rp5.805.000 (14,87%). Lima kejadian dengan pemborosan terbesar berada pada kisaran 386.800–387.400 gram per kejadian dengan biaya Rp1.934.000–Rp1.937.000. Besarnya pemborosan menunjukkan bahwa kebocoran pada periode pengawasan terbatas merupakan masalah efisiensi penggunaan sumber daya.

3.3 Pengembangan dan Pengujian Sistem Monitoring

Berdasarkan lokasi prioritas dan karakteristik masalah, solusi teknologi monitoring diuji coba pada Station Rear 2. Sistem monitoring dikembangkan menggunakan sensor NDIR MH-Z19B dan ESP32 untuk mendeteksi peningkatan konsentrasi CO_2 serta memberikan peringatan berdasarkan tiga kondisi operasional. Pengujian dilakukan melalui pelepasan CO_2 selama dua menit dengan laju 20 L/menit dan variasi jarak antara sumber CO_2 dan sensor sebesar 40–300 cm. [3], [5], [6], [9].

Tabel 5. Klasifikasi Kondisi Operasional dan Tindakan Peringatan

Status	Rentang CO_2	Tindakan
NORMAL	<1.000 ppm	Monitoring
WARNING	1.000–2.999 ppm	Peringatan teknisi
DANGER	≥3.000 ppm	Peringatan teknisi dan supervisor

Sumber: Data penelitian

600 ppm. Oleh karena itu, ambang batas WARNING ditetapkan sebesar 1.000 ppm untuk memberikan margin terhadap kondisi normal dan mengurangi risiko false alarm. Peningkatan konsentrasi di atas ambang batas menjadi indikator untuk pemeriksaan lebih lanjut [15], [18].

3.4 Pengujian Jangkauan dan Konsistensi Deteksi CO_2

Uji eksplorasi dilakukan pada kondisi produksi normal dengan sistem exhaust aktif untuk mengevaluasi cakupan deteksi prototipe berdasarkan jarak antara titik sumber kebocoran CO_2 dan posisi sensor. Pengujian dilakukan pada 12 variasi jarak, mulai dari 40 cm hingga

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

300 cm, dengan durasi pelepasan CO_2 selama dua menit dan laju aliran 20 L/menit. Parameter yang diamati meliputi konsentrasi CO_2 awal, waktu dan nilai perubahan konsentrasi, konsentrasi maksimum, status deteksi, pembentukan alarm, serta pengiriman notifikasi Telegram [10], [14].

180 cm. Pada jarak 200, 250, dan 300 cm, konsentrasi CO_2 tetap pada nilai awal. Dengan demikian, jarak maksimum deteksi pada kondisi pengujian adalah 180 cm. Selanjutnya, untuk mengevaluasi konsistensi kemampuan deteksi, dilakukan pengujian ulang sebanyak lima kali pada masing-masing sembilan variasi jarak yang berhasil terdeteksi.

Tabel 7. Hasil Pengujian Konsistensi Deteksi CO_2

No.	Jarak (cm)	Frekuensi Pengujian	Deteksi Berhasil	Detection Rate
1	40	5	5	100%
2	50	5	5	100%
3	60	5	5	100%
4	80	5	5	100%
5	100	5	5	100%
6	120	5	5	100%
7	140	5	5	100%
8	160	5	5	100%
9	180	5	5	100%

Sumber: Data hasil penelitian

Berdasarkan Tabel 7, seluruh 45 percobaan berhasil mendeteksi peningkatan konsentrasi CO_2. Dengan demikian, detection rate mencapai 100%, yang menunjukkan konsistensi deteksi prototipe pada sembilan variasi jarak pengujian. Selanjutnya, pengujian latensi pembentukan alarm dilakukan menggunakan 11 data pembacaan sensor dengan status WARNING dan DANGER. Pengukuran time to alarm dihitung dari waktu ketika ESP32 mencatat hasil pembacaan sensor yang telah memenuhi kondisi WARNING atau DANGER (device timestamp) hingga data diterima dan tersimpan pada database server (saved at). Selisih waktu tersebut menunjukkan latensi pemrosesan data dari perangkat hingga data tersimpan pada sistem dan alarm terbentuk. Hasil pengujian disajikan pada

Tabel 8. Hasil Pengujian Waktu Pembentukan Alarm

No.	CO_2 (ppm)	Status	Device Timestamp	Saved At	Time to Alarm (s)

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

1	2.976	WARNING	06:30:00.000	06:30:00.685	0,685
2	3.785	DANGER	06:30:10.000	06:30:10.599	0,599
3	3.398	DANGER	06:30:20.000	06:30:20.630	0,630
4	2.695	WARNING	06:30:30.000	06:30:30.614	0,614
5	2.042	WARNING	06:30:40.000	06:30:40.734	0,734
6	1.737	WARNING	06:30:50.000	06:30:50.688	0,688
7	1.532	WARNING	06:31:00.000	06:31:00.646	0,646
8	1.284	WARNING	06:31:10.000	06:31:10.637	0,637
9	1.207	WARNING	06:31:20.000	06:31:20.687	0,687
10	1.224	WARNING	06:31:30.000	06:31:30.778	0,778
11	1.168	WARNING	06:31:40.000	06:31:40.654	0,654

Sumber: Data penelitian

0,668 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu memproses pembacaan sensor dan membentuk alarm dengan waktu rata-rata kurang dari satu detik.

3.5 Pengujian Penerimaan Pengguna

Evaluasi perangkat lunak dilakukan melalui User Acceptance Test (UAT) terhadap enam responden, terdiri atas satu foreman, satu supervisor, dan empat teknisi, menggunakan skala Likert lima tingkat. Penilaian mencakup kesesuaian fungsi, kemudahan penggunaan, kegunaan informasi, alarm, laporan, dan dukungan pengambilan keputusan. Persentase diperoleh dari perbandingan skor aktual terhadap skor maksimum. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil User Acceptance Test (UAT)

Aspek Evaluasi	Hasil
Kesesuaian fungsi sistem	90,00%
Kemudahan penggunaan	100,00%
Kegunaan informasi	90,00%
Kegunaan alarm	86,67%
Kegunaan laporan	86,67%
Dukungan pengambilan keputusan	90,00%
Penerimaan keseluruhan	90,48%

Sumber: Data penelitian

kemudahan penggunaan (100,00%). Sementara itu, kegunaan alarm dan laporan memperoleh nilai 86,67%. Hasil ini menunjukkan perangkat lunak dapat diterima sebagai sarana pemantauan dan penyampaian informasi operasional. Masukan responden meliputi

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

penyederhanaan dashboard, optimalisasi tampilan seluler, dan penambahan notifikasi WhatsApp.

3.6 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mendeteksi peningkatan konsentrasi CO_2 pada jarak 40–180 cm dengan keberhasilan 45 dari 45 pengujian (100%). Pada jarak 200, 250, dan 300 cm, peningkatan tidak terdeteksi. Temuan ini menunjukkan bahwa kemampuan deteksi dipengaruhi jarak sensor dan kondisi lingkungan pengujian sehingga penempatan sensor perlu mempertimbangkan potensi sumber kebocoran. Hasil ini sejalan dengan Cheng et al. [2] terkait real-time sensing pada GMAW, Marquez-Zepeda et al. [3] dan Mota et al. [4] terkait monitoring CO_2 dan kualitas udara berbasis IoT, serta Daerobi et al. [6] terkait welding habitat. Hasil tersebut belum dapat digeneralisasi untuk seluruh kondisi produksi. Dari aspek respons, pengujian terhadap 11 data pembacaan sensor berstatus WARNING dan DANGER menghasilkan rata-rata latensi

pembentukan alarm sebesar 0,668 detik (rentang 0,599–0,778 detik), dihitung sejak pencatatan pembacaan sensor (device timestamp) hingga data tersimpan pada server (saved at). Hasil ini merepresentasikan latensi pemrosesan sistem. Penggunaan MQTT sejalan dengan Ko dan Lee [8] mengenai komunikasi berbasis MQTT. Sistem monitoring dan peringatan dini berbasis IoT juga relevan dengan penelitian Budianto dan Sumanto [9], Prayitno et al. [13], Setiawan et al. [16], Tejaleksono et al. [17], dan Muhid et al. [18]. Kontribusi penelitian terletak pada integrasi pembacaan sensor, pemrosesan data, klasifikasi konsentrasi, dan penyampaian peringatan dalam satu sistem informasi. Namun, latensi yang singkat belum membuktikan percepatan penemuan dan perbaikan sumber kebocoran karena hal tersebut memerlukan pengujian operasional tersendiri. Evaluasi UAT terhadap enam responden menghasilkan penerimaan keseluruhan sebesar 90,48%. Kemudahan penggunaan memperoleh nilai tertinggi (100%), kesesuaian fungsi, kegunaan informasi, dan dukungan pengambilan keputusan masing-masing 90%, sedangkan kegunaan alarm dan laporan masing-masing 86,67%. Hasil ini menunjukkan penerimaan positif, terutama pada aspek kemudahan penggunaan. Masukan responden mencakup penyederhanaan dashboard, optimalisasi tampilan seluler, dan penambahan notifikasi WhatsApp. Namun, hasil tersebut hanya merepresentasikan persepsi enam responden dan belum mewakili seluruh pengguna industri. Secara keseluruhan, sistem berpotensi menjadi alat bantu monitoring dan peringatan dini di Seksi Welding. Sistem menyediakan informasi awal untuk mendukung pemeriksaan ketika kondisi pemicu alarm terpenuhi. Namun, hasil pengujian belum

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

membuktikan penurunan frekuensi kebocoran maupun penghematan CO_2. Evaluasi lanjutan diperlukan melalui penggunaan operasional berkelanjutan dan perbandingan kondisi sebelum serta sesudah implementasi.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring CO_2 berbasis IoT mampu mendeteksi peningkatan konsentrasi CO_2 pada jarak 40–180 cm dengan tingkat keberhasilan 100% (45 dari 45 pengujian) pada skenario yang diuji, dengan rata-rata waktu pembentukan alarm sebesar 0,668 detik. Pada jarak 200–300 cm, peningkatan konsentrasi tidak terdeteksi dalam kondisi pengujian tersebut. Evaluasi User Acceptance Test (UAT) terhadap enam responden menghasilkan tingkat penerimaan keseluruhan sebesar 90,48%, dengan aspek kemudahan penggunaan mencapai 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem berpotensi mendukung monitoring dan peringatan dini terhadap peningkatan konsentrasi CO_2 serta memperoleh penerimaan positif dari pengguna yang dievaluasi. Namun, hasil pengujian belum membuktikan penurunan jumlah kebocoran atau penghematan CO_2 setelah implementasi. Penelitian selanjutnya perlu menguji sistem pada variasi debit kebocoran, kondisi lingkungan, dan penggunaan operasional jangka panjang serta mengevaluasi perubahan kinerja sebelum dan sesudah implementasi.

Daftar Pustaka

[1] M. Soori, B. Arezoo, and R. Dastres, “Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review,” Internet of Things and Cyber-Physical Systems, vol. 3, pp. 192–204, 2023, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.04.006.

[2] Y. Cheng, R. Yu, Q. Zhou, H. Chen, W. Yuan, and Y. Zhang, “Real-time sensing of gas metal arc welding process – A literature review and analysis,” Journal of Manufacturing Processes, vol. 70, pp. 452–469, 2021, doi: 10.1016/j.jmapro.2021.08.058.

[3] M. J. Marquez-Zepeda, I. Santos-Ruiz, E.-J. Pérez-Pérez, A. Navarro-Díaz, and J.-A. Delgado- Aguiñaga, “Internet-of-Things-Based CO_2 Monitoring and Forecasting System for Indoor Air Quality Management,” Mathematical and Computational Applications, vol. 30, no. 2, p. 36, 2025, doi: 10.3390/mca30020036.

[4] Mota, C. Serôdio, A. Briga-Sá, and A. Valente, “Implementation of an Internet of Things Architecture to Monitor Indoor Air Quality: A Case Study During Sleep Periods,” Sensors, vol. 25, no. 6, p. 1683, 2025, doi: 10.3390/s25061683.

[5] K. Cahyari, D. T. Ashilah, M. D. Cahyani, and R. A. Ula, “Evaluating the Internet of Things Platform for CO_2 Monitoring in Sugar Refineries,” IPTEK The Journal of Engineering, vol. 10, no. 3, p. 260, 2024, doi: 10.12962/j23378557.v10i3.a21584.

[6] Daerobi, A. Multi, and M. R. T. Siregar, “Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Pengendali Kualitas Udara Pada Aplikasi Welding Habitat Proses Welding Pipeline Sistem Dengan Data Logger,” Sainstech: Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi, vol. 33, no. 3, pp. 61–83, 2023, doi: 10.37277/stch.v33i3.1738.

[7] N. A. Z. Putri, U. Ristian, and R. Hidayati, “Sistem Deteksi Dan Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis IoT,” JUPITER: Jurnal Penelitian Ilmu dan

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

Teknologi Komputer, vol. 16, no. 2, pp. 457–468, 2024, doi: 10.5281/zenodo.12592552.

[8] K. I. Ko and M. H. Lee, "MQTT-Based Architecture for Real-Time Data Collection and Anomaly Detection in Smart Livestock Housing," Sensors, vol. 25, no. 23, p. 7186, 2025, doi: 10.3390/s25237186.

[9] H. Budianto and B. Sumanto, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis Internet of Things," Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan, vol. 5, no. 1, p. 9, 2024, doi: 10.22146/juliet.v5i1.87423.

[10] R. Curcoll, J.-A. Morguí, A. Kamnang, L. Cañas, A. Vargas, and C. Grossi, "Metrology for low-cost CO_2 sensors applications: The case of a steady-state through-flow chamber for CO_2 fluxes observations," Atmospheric Measurement Techniques, vol. 15, pp. 2807–2818, 2022, doi: 10.5194/amt-15-2807-2022.

[11] Abdullah, M. Iwan, M. Maryogi, and R. Faizal, "System Testing and Performance Evaluation of an MQTT-Based IoT Monitoring System for Crop Cultivation," ELKHA: Jurnal Teknik Elektro, vol. 18, no. 1, pp. 10–17, 2026, doi: 10.26418/elkha.98306.

[12] H. Zhang, J. Zhang, R. Wang, Y. Huang, M. Zhang, X. Shang, and C. Gao, "Smart Carbon Monitoring Platform under IoT-Cloud Architecture for Small Cities in B5G," Wireless Networks, vol. 30, no. 5, pp. 3837–3853, 2024, doi: 10.1007/s11276-021-02756- 2.

[13] E. Prayitno, N. Fahmi, M. U. H. Al Rasyid, and A. Sudarsono, "An Implementation of IoT for Environmental Monitoring and Its Analysis Using k-NN Algorithm," TELKOMNIKA (Telecommunication, Computing, Electronics and Control), vol. 19, no. 6, pp. 1811–1819, 2021, doi: 10.12928/telkomnika.v19i6.15724.

[14] L. T. Permana, N. Qomariyah, and R. Wirawan, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Penyerapan Gas Karbondioksida (CO_2) Oleh Tumbuhan Menggunakan Sensor MH-Z19," Indonesian Physical Review, vol. 4, no. 2, pp. 86–94, 2021, doi: 10.29303/ipr.v4i2.81.

[15] E. Maltezos, K. Petousakis, A. Dadoukis, L. Karagiannidis, E. Ouzounoglou, M. Krommyda, G. Hadjipavlis, and A. Amditis, "A Smart Building Fire and Gas Leakage Alert System with Edge Computing and NG112 Emergency Call Capabilities," Information, vol. 13, no. 4, p. 164, 2022, doi: 10.3390/info13040164.

[16] Setiawan, S. Sulistiyanto, C. A. Riyanto, and G. A. Wiguna, "Desain sistem pemantauan kualitas udara jangka panjang berbasis Internet of Things," Jurnal Teras Fisika, vol. 7, no. 1, pp. 24– 29, 2024, doi: 10.20884/1.jtf.2024.7.1.11859.

[17] G. Tejaleksono, D. Notosudjono, A. R. Machdi, F. Adzikri, and A. U. Rahayu, "Prototype of CO, CO_2, UV Light, Temperature, and Humidity Detection Device Based on IoT and Solar Cells," Journal of Energy and Electrical Engineering, vol. 5, no. 2, pp. 125– 133, 2024, doi: 10.37058/jeee.v5i2.10321.

[18] N. A. Muhid, O. Rahmanto, A. Noor, and Fathurrahmani, "Sistem Early Warning Deteksi Kualitas Udara Berbasis IoT," Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronik, vol. 7, no. 2, pp. 402– 412, 2024, doi: 10.36595/jire.v7i2.1277.

[19] Y. Alkhalifi, R. Ramadan, R. K. Atmaja, and Ispandi, "Mobile-based Application Development on Admission of New Students with Design Science Research Methodology," Paradigma - Jurnal Komputer dan Informatika, vol. 26, no. 2, pp. 65–72, 2024, doi: 10.31294/p.v26i2.4765.

[20] M. Linda and R. V. Imbar, "Perancangan Model Referral dengan Pendekatan Design Science Research Methodology," Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi, vol. 10, no. 3, pp. 430– 438, 2024, doi: 10.28932/jutisi.v10i3.9215.

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com

ISSN : 2597-6257 (Print)
2597-7946 (Online)

[21] T. Haryanti, N. A. Rakhmawati, and A. P. Subriadi, "Measuring the digital transformation maturity level independently with the design science research methodology," Systems Engineering, vol. 27, no. 1, pp. 159–176, 2024, doi: 10.1002/sys.21714.
[22] N. A. C. Mulia and R. Rochmoeljati, "Pengendalian Kualitas Pengelasan Menggunakan Metode Statistical Quality Control (SQC) dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) di PT. PAL Indonesia," JUMINTEN, vol. 2, no. 6, pp. 60–71, 2021, doi: 10.33005/juminten.v2i6.346.
[23] S. O. Baktiar, S. R. Widodo, and A. Y. Tripariyanto, "Penerapan Metode DMAIC untuk Mengurangi Cacat Hasil Pengelasan di PT. X," JATI UNIK, vol. 5, no. 1, pp. 16–27, 2021, doi: 10.30737/jatiunik.v5i1.1973.
[24] M. Z. Mubarok and T. Machfuroh, "Pengendalian Kualitas Pengelasan Baja SS400 untuk Ducting pada PT. XYZ dengan Metode SQC," G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan, vol. 8, no. 4, pp. 2178–2189, 2024, doi: 10.70609/gtech.v8i4.4776.
[25] B. Adiguna, M. A. Kartawidjaja, and R. Sukwadi, "Optimasi Kualitas Pengelasan Dinding Tangki: Pendekatan Six Sigma dan FMEA (Studi Kasus: Cleaning dan Over Haul Tangki PT. Pertamina RU III)," Integrasi: Jurnal Ilmiah Teknik Industri, vol. 9, no. 2, pp. 148–161, 2024, doi: 10.32502/integrasi.v9i2.206.

https://doi.org/10.30737/jatiunik.v10i1.8035
*Corresponding author : setiawan19434ut@gmail.com