



Analisis Pengaruh Penggunaan Jenis Detektor Gas Metana terhadap Akurasi dan Waktu Respon di PT. Pertamina Hulu Mahakam

Samsul Anwar^{1*}, Aulidina Dwi Nur Indriyanti²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kahuripan Kediri, Indonesia

Email: samsulanw@gmail.com^{1}, aulidina@kahuripan.ac.id²

Alamat: Jl. Pb. Sudirman No.25, Plongko, Pare, Kec. Pare, Kabupaten Kediri, Jawa Timur 64212

Korespondensi penulis: samsulanw@gmail.com

Abstract. *Methane gas detection is crucial in the oil and gas sector to enhance safety and operational efficiency. This study examines the impact of three types of gas detectors—catalytic, infrared, and ultrasonic sensors—on accuracy and response time. The research was conducted at PT PHM's onshore and offshore sites to evaluate sensor performance in operational environments. A quantitative approach with direct field observation was used. Data were collected by measuring methane gas concentrations indicated by detectors, which were then compared to standard gas concentrations. Response times were recorded when the detectors were exposed to methane concentrations of 2.5% LEL until the alarm triggered at 40% of full scale. Data analysis was performed using descriptive statistics, homogeneity test, normality test, ANOVA, and post hoc tests. The results show that the infrared detector had a response time of 2.87 seconds with an accuracy of 0.218%. The catalytic detector had a response time of 8.91 seconds and accuracy of 0.489% and the ultrasonic detector had a response time of 6.15 seconds and accuracy of 0.842%. Overall, the infrared detector demonstrated the best performance in response time and is recommended for use at PT PHM.*

Keywords: *accuracy, catalytic sensor, gas detector, infrared sensor, response time.*

Abstrak. Deteksi gas metana sangat penting dalam sektor minyak dan gas untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional. Penelitian ini mengkaji pengaruh tiga jenis detektor gas, yaitu sensor katalitik, inframerah, dan ultrasonik, terhadap akurasi dan waktu respons. Penelitian dilakukan di PT PHM pada lokasi darat dan lepas pantai untuk mengevaluasi kinerja sensor dalam kondisi kerja. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan pengamatan lapangan langsung. Data dikumpulkan dengan mengukur konsentrasi gas metana yang ditunjukkan oleh detektor, kemudian dibandingkan dengan konsentrasi standar. Waktu respons dicatat saat detektor terkena konsentrasi gas metana 2,5% LEL hingga alarm aktif pada 40% skala penuh. Analisis data dilakukan menggunakan statistik deskriptif, uji homogenitas, uji normalitas, ANOVA, dan post hoc. Hasil penelitian menunjukkan bahwa detektor inframerah memiliki waktu respons 2,87 detik dan akurasi 0,218%. Detektor katalitik memiliki waktu respons 8,91 detik dan akurasi 0,489% dan detektor ultrasonik menunjukkan waktu respons 6,15 detik dan akurasi 0,842%. Secara keseluruhan, detektor inframerah memiliki performa terbaik dalam waktu respons dan dapat direkomendasikan untuk digunakan di PT PHM.

Kata kunci: akurasi, detektor gas, sensor inframerah, sensor katalitik, sensor ultrasonik.

1. LATAR BELAKANG

Sektor minyak dan gas merupakan industri penting yang ditandai dengan peningkatan risiko yang berkaitan dengan keselamatan dan integritas lingkungan, terutama disebabkan oleh potensi kebocoran gas yang dapat merusak apabila terjadi ledakan dan kebakaran pada instalasi operasi anjungan, terutama gas metana (CH₄). Metana adalah gas yang dikenal karena mudah terbakar yang tinggi, menimbulkan bahaya ledakan yang signifikan ketika terakumulasi ke konsentrasi tertentu di dalam atmosfer bertemu dengan sumber panas. Akibatnya penyebaran detektor gas metana yang menunjukkan akurasi unggul dan kemampuan respons cepat sangat penting untuk deteksi potensi kebocoran secara *real-time*, sehingga mengurangi risiko terkait.

Pemilihan jenis detektor gas metana yang sesuai secara substansif mempengaruhi keandalan peralatan pemantauan gas. Dalam sektor minyak dan gas, berbagai teknologi detektor gas metana digunakan termasuk detektor gas dengan sensor berbasis ultrasonik, katalitik dan inframerah. Setiap jenis sensor menyajikan karakteristik yang berbeda sehubungan dengan sensitivitas, akurasi, waktu respon, dan daya tahan. Misalnya, sensor optik atau inframerah cocok untuk aplikasi yang memerlukan kepekaan tinggi, daya tahan, dan keandalan dalam mendeteksi gas metana pada konsentrasi rendah. Namun, biaya tinggi dan beberapa keterbatasan lingkungan harus dipertimbangkan, terutama untuk aplikasi skala besar atau situasi dengan anggaran terbatas. Sebaliknya, sensor katalitik merupakan pilihan yang ekonomis dan sederhana untuk mendeteksi gas metana di lingkungan industri. Namun, kekurangan seperti kebutuhan suhu tinggi, kerentanan terhadap keracunan katalis, dan konsumsi daya besar menjadi tantangan utama dalam aplikasi jangka panjang dan skala besar (Aldhafeeri et al., 2020).

Akurasi dan waktu respon merupakan dua parameter kunci dalam kinerja sensor gas metana. Hal tersebut mengacu pada kemampuan sensor untuk mengukur konsentrasi gas metana dengan tingkat ketepatan yang tinggi dibandingkan dengan nilai standart yang di tetapkan. Akurasi yang rendah dapat menyebabkan kesalahan dalam deteksi, baik dalam bentuk kesalahan bernilai positif (deteksi gas saat tidak ada gas) maupun kesalahan bernilai negatif (tidak mendeteksi gas saat gas sebenarnya ada), yang keduanya dapat berdampak buruk pada keselamatan operasional. Sebagai contoh, kesalahan bernilai positif dapat menyebabkan penghentian operasi secara tidak perlu, meningkatkan kerugian biaya dan waktu, sedangkan kesalahan bernilai negatif dapat mengakibatkan risiko ledakan yang fatal.

Penelitian ini dilakukan di fasilitas industri migas yang dioperasikan oleh PT. Pertamina Hulu Mahakam (PT. PHM) yang memelihara lokasi operasional di wilayah lepas pantai dan daratan. Konteks operasional lingkungan lepas pantai dan darat menunjukkan karakteristik spesifik yang dapat mempengaruhi performa sensor metana, termasuk variasi suhu, kelembaban dan keberadaan gas tambahan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengevaluasi kinerja beragam jenis sensor metana dalam dua lingkungan ini untuk memberikan pemahaman yang komprehensif tentang efektivitasnya dalam skenario praktis.

Kehandalan sensor metana tidak hanya mempengaruhi keselamatan operasional tetapi juga mempengaruhi efisiensi proses deteksi dan pengambilan keputusan dalam manajemen risiko di instalasi minyak dan gas. Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan kinerja berbagai jenis sensor metana sehubungan dengan akurasi dan waktu respon. Oleh karena itu, temuan penelitian ini diharapkan dapat

menghasilkan rekomendasi terkait untuk meningkatkan sistem keselamatan dalam sektor migas, khususnya terkait PT. Pertamina Hulu Mahakam.

2. KAJIAN TEORITIS

Dalam tinjauan pustaka ini, akan dibahas hasil-hasil penelitian sebelumnya serta beberapa referensi yang membahas teori dasar dari detektor gas metana yang menggunakan sensor katalitik, inframerah dan ultrasonik. Mengetahui perbandingan kinerja dari berbagai jenis sensor gas metana tersebut, terutama pada akurasi dan waktu respons dari masing-masing teknologi sensor, serta faktor-faktor yang memengaruhi kinerjanya akan dapat memilih detektor gas sensor mana yang optimal digunakan untuk menjaga operasional instalasi minyak dan gas tetap aman dan selamat.

Detektor Gas Metana dengan Sensor Katalitik

Detektor gas metana dengan sensor katalitik bekerja berdasarkan prinsip reaksi oksidasi katalitik yang menghasilkan panas, yang kemudian memengaruhi resistansi sensor. Menurut penelitian terdahulu bahwa pengukuran dapat menunjukkan ketidakakuratan besar saat mengukur konsentrasi metana yang tinggi dalam waktu singkat. Ini berarti bahwa jika ada lonjakan tiba-tiba dalam kadar metana, pembacaan mungkin tidak dapat diandalkan. Ketika konsentrasi metana sangat tinggi, proses pembakaran menjadi tidak stabil sehingga sensor mengalami saturasi sehingga pembacaan menjadi tidak akurat. Paparan konsentrasi tinggi yang berkepanjangan dapat merusak sensor. Kerusakan ini dapat mengakibatkan ketidakakuratan permanen, sehingga penting untuk memeriksa dan memelihara sensor secara teratur untuk memastikan sensor berfungsi dengan benar. Dan juga sensor katalitik sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti suhu dan tekanan. Sensitivitas ini dapat mempengaruhi akurasinya (Lorenzo-Bayona et al., 2023). Dari hasil penelitian yang lain menunjukkan bahwa waktu respon dari sensor katalitik rata-rata waktu 8,2 detik (Darmawan & Universitas Wijayakusuma Purwokerto, 2023).

Selain itu waktu respon yang lebih lambat dapat terjadi terutama pada konsentrasi rendah karena kebutuhan akan kesetimbangan termal. Metode katalitik akustik telah terbukti meningkatkan sensitivitas dan mengurangi batas deteksi bawah, meningkatkan kinerja keseluruhan. Metode katalitik akustik bekerja dengan menerapkan gelombang ultrasonik ke sensor gas, yang dapat meningkatkan interaksi antara molekul gas dan permukaan sensor. Interaksi ini dapat menyebabkan peningkatan sensitivitas dan waktu respons yang lebih cepat, karena gelombang akustik dapat memfasilitasi adsorpsi dan reaksi molekul gas pada bahan sensor (Cai & Min, 2022).

Detektor Gas Metana dengan Sensor Ultrasonik

Detektor gas metana dengan sensor ultrasonik bekerja pada prinsip mendeteksi kebocoran gas dengan memanfaatkan gelombang suara untuk mendeteksi konsentrasi gas, yang dapat meningkatkan sensitivitas. Integrasi eksitasi ultrasonik telah ditunjukkan untuk menurunkan batas deteksi secara signifikan, mencapai serendah 107 ppb (*part per billions*). Kesalahan relatif dalam prediksi konsentrasi dilaporkan sebagai 5,7% untuk konsentrasi rendah (1-100 ppm) dan 12,3% untuk konsentrasi ultra rendah (≤ 1 ppm) (Cai & Min, 2022).

Detektor kebocoran gas berbasis ultrasonik, dirancang untuk mendeteksi kebocoran gas bertekanan tinggi dengan mendeteksi suara ultrasonik yang dihasilkan oleh gas yang keluar. Ketika gas bertekanan tinggi bocor dari sistem tertutup, gas tersebut menghasilkan suara khas berupa "*hissing*" yang mengandung komponen frekuensi tinggi, yaitu ultrasonik. Suara khas yang dihasilkan oleh gas bertekanan tinggi saat bocor melalui celah atau lubang kecil pada sistem tertutup itulah yang dinamakan *hissing* itu, tidak dipengaruhi oleh jenis gas, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis gas, termasuk gas yang tidak memiliki warna atau bau. Frekuensi suara ini tidak terdengar oleh manusia karena berada di atas batas pendengaran manusia (>20 kHz). Mikrofon ultrasonik yang terintegrasi di dalam detektor menangkap suara ultrasonik yang dihasilkan oleh kebocoran gas. Detektor memfilter suara latar (*background noise*) dengan frekuensi di bawah 25 kHz untuk menghilangkan gangguan suara lingkungan. Kemudian Frekuensi ultrasonik dari kebocoran gas diproses lebih lanjut untuk memastikan bahwa sinyal berasal dari kebocoran nyata, bukan dari sumber suara lain. Perhitungan intensitas suara ultrasonik yang terdeteksi digunakan untuk mengestimasi tingkat kebocoran gas. Detektor memiliki radius deteksi antara 5 hingga 20 meter, tergantung pada tingkat kebisingan latar belakang. Arus keluaran yang dihasilkan oleh detektor menghasilkan sinyal keluaran dalam bentuk 4-20 mA (*milliAmpere*) atau relay alarm/kesalahan. Intensitas kebisingan ultrasonik dikonversi ke sinyal arus yang dapat dibaca oleh sistem kontrol eksternal. Relay Alarm atau indikasi kesalahan dapat dikonfigurasi untuk mengaktifkan perangkat peringatan. Pengguna dapat mengatur tingkat pemacu (*trigger level*) sesuai dengan tingkat kebisingan latar belakang di lokasi instalasi. Penundaan alarm (*delay time*) juga dapat disesuaikan untuk mencegah alarm palsu akibat gangguan sementara (General Monitors Co, 2015).

Detektor Gas Metana dengan Sensor Inframerah

Sensor inframerah dikenal karena akurasi tinggi dan waktu respon yang cepat, membuatnya cocok untuk deteksi kebocoran gas awal. Dalam sebuah penelitian dengan menggunakan metode kalibrasi lanjutan dapat meningkatkan presisi pengukuran dan

mempertahankan daya tahan dari waktu ke waktu (Tae et al., 2015). *Response time* dari sensor *infrared* pada saat menangkap gas yang masuk ke sensor yaitu dengan jumlah nilai waktu rata-rata 1,075 detik (Darmawan & Universitas Wijayakusuma Purwokerto, 2023). Model detektor gas dengan cara difusi yang diproduksi oleh perusahaan Detronics mencapai nilai akurasi $\pm 3\%$ dari konsentrasi gas 0 sampai 50% LEL (*lower Explosion Limit*), dan $\pm 5\%$ dari nilai konsentrasi gas dari 51 to 100% LEL. Sedangkan waktu respon untuk mencapai T90 adalah dibawah 9 detik (Detronics, 2002).

Perbandingan Kinerja Berbagai Detektor Gas

Dari hasil studi yang dilakukan oleh Gandhi & Rowley mendapatkan beberapa kesimpulan mengenai perbandingan kinerja detektor gas. Detektor gas dengan sensor katalitik memiliki kelebihan sederhana dalam pemasangan, handal, mudah penggunaannya dan responsif untuk gas seperti hydrogen. Adapun kekurangannya yaitu memerlukan kalibrasi yang rutin dan sensitivitas menurun saat sering terpapar gas dengan konsentrasi yang berlebih yang akan mengurangi akurasi dari detektor tersebut. Detektor dengan menggunakan sensor inframerah memiliki kelebihan dalam hal intensitas waktu kalibrasi yang tidak terlalu sering, imun terhadap kontaminan, respons cepat. Tetapi memiliki kekurangan yaitu biaya tinggi, tidak efektif untuk lingkungan dengan suhu ekstrem (Gandhi et al., 2015).

Landasan Teori

Sensor Katalitik

Sensor thermal katalitik yang paling dikenal adalah Pellistor. Pertama kali diperkenalkan lebih dari 30 tahun yang lalu. Nama "pellistor" berasal dari kombinasi kata "*pellet*" (manik kecil) dan "*resistor*" (komponen elektronik yang menghambat arus listrik). Pada dasarnya, kumparan kecil kawat platinum halus ditanamkan di dalam manik alumina. Dengan demikian, sensor termal dan katalis adalah satu paket lengkap.

Berdasarkan prinsip operasional sensor termal-katalitik pellistor merupakan sensor yang terdiri dari manik-manik keramik berpori yang dilapisi dengan bahan katalitik. Di dalam manik terdapat kawat platinum melingkar halus, yang berfungsi sebagai elemen pemanas dan detektor untuk perubahan hambatan listrik. Ketika pellistor mencapai suhu sekitar 500°C dengan memungkinkan arus listrik untuk melintasi kawat platinum yang diposisikan di dalam manik. Gas metana, bersama dengan gas mudah terbakar lainnya di lingkungan sekitarnya, mengalami oksidasi pada permukaan katalis, yang pada gilirannya menghasilkan panas tambahan. Panas yang dihasilkan oleh proses oksidasi menghasilkan kenaikan suhu manik-manik keramik. Peningkatan suhu ini kemudian mempengaruhi hambatan listrik dari kawat platinum. Perubahan resistensi kemudian diukur menggunakan serangkaian jembatan *Wheatstone*,

memfasilitasi pengukuran variasi yang tepat. Dengan demikian perubahan resistansi akibat panas ini berbanding lurus dengan konsentrasi gas yang terdeteksi (Berveglieri, 2012).

Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik bekerja berdasarkan prinsip gelombang ultrasonik yang dipancarkan oleh transduser, kemudian dipantulkan oleh suatu objek atau medium, dan diterima kembali oleh sensor. Waktu tempuh gelombang digunakan untuk mengukur jarak atau konsentrasi gas, tergantung pada aplikasi. Sensor ultrasonik memanfaatkan perubahan kecepatan suara dalam gas (García Oya et al., 2022).

Sensor Inframerah

Di dalam ruang pengukuran, terdapat sumber cahaya inframerah (IR) yang memancarkan sinar melalui gas yang berada di dalam ruang. Sinar inframerah ini memiliki spektrum panjang gelombang yang mencakup *wavelength* (panjang gelombang) yang dapat diserap oleh gas hidrokarbon serta *wavelength* yang tidak diserap. Gas hidrokarbon di dalam ruang pengukuran menyerap panjang gelombang tertentu dari cahaya inframerah yang sesuai dengan spektrum karakteristik molekul gas tersebut. Panjang gelombang lainnya tidak terpengaruh dan tetap diteruskan melalui gas tanpa perubahan intensitas. Setelah melewati gas, cahaya inframerah diterima oleh sepasang detektor optik. Detektor aktif mengukur intensitas cahaya pada panjang gelombang yang diserap oleh gas hidrokarbon. Detektor referensi mengukur intensitas cahaya pada panjang gelombang yang tidak diserap oleh gas hidrokarbon. Intensitas cahaya yang diterima oleh detektor aktif akan berkurang sesuai dengan konsentrasi gas hidrokarbon, sedangkan detektor referensi tetap stabil karena tidak dipengaruhi oleh gas.

Perubahan intensitas cahaya (penurunan sinyal aktif relatif terhadap sinyal referensi) dihitung oleh elektronik sensor dan diproses oleh mikroprosesor internal. Mikrokontroler menghitung konsentrasi gas hidrokarbon berdasarkan tingkat absorpsi inframerah menggunakan prinsip Hukum Lambert-Beer. Nilai konsentrasi gas yang dihitung oleh mikrokontroler kemudian dikonversi menjadi sinyal keluaran 4-20 mA (*milliAmpere*). Dimana nilai 4mA mengindikasikan tidak ada konsentrasi gas (0% LEL) dan 20 mA mengindikasikan konsentrasi gas mencapai 100% LEL. Sinyal ini diteruskan ke sistem kontrol eksternal untuk pemantauan, alarm, atau pengendalian sistem keselamatan (General Monitors Co, 2015).

Gas Metana

Gas metana adalah gas yang mengandung satu atom karbon (C) dan empat atom hydrogen (H) yang berbentuk gas dengan rumus kimia CH_4 , memiliki sifat mudah terbakar. Metana murni tidak memiliki bau, tidak berwarna, daerah mudah terbakar 5-15% LEL, *asphyxia* (mampu menggeser oxygen), *non toxic* dan *non corrosive*. Akan tetapi jika digunakan

untuk keperluan komersial bisa sedikit bau belerang untuk mendeteksi kebocoran biasanya yang mungkin terjadi. Secara umum sifat fisik dan kimia dari methane dapat dipaparkan sebagai berikut: Rumus struktur: CH₄, Berat Molekul: 16,04, Nomor CAS: 74-82-8, Titik Didih: -161,49°C, Keadaan Fisik: tidak berwarna, tidak berbau, Titik Beku: -182,48°C, *Flash Point*: -187,78°C, Mudah terbakar batas: 5,3-15%, Tekanan Uap: 40mmHg(-86,3°C). Gas ini termasuk mudah terbakar apabila terdapat sumber api dan tercukupi campuran di udara (Darmawan & Universitas Wijayakusuma Purwokerto, 2023).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di lokasi operasional PT PHM, yang mencakup area *offshore* (laut) dan *onshore* (darat). Lokasi ini dipilih karena PT PHM menggunakan sistem deteksi gas metana dalam berbagai kondisi lingkungan yang kompleks. Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan, yaitu dari Januari hingga Maret 2025. Tahapan penelitian meliputi persiapan, pengumpulan data, dan analisis hasil.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh jenis detektor gas metana yang tersedia dan digunakan di industri untuk deteksi kebocoran gas, terutama sensor katalitik, inframerah dan ultrasonik yang berada di area *offshore* (laut) dan *onshore* (darat). Sampel yang digunakan adalah beberapa detektor gas dari tiga jenis sensor gas metana, yaitu: (1) Detektor gas sensor Katalitik: Dikenal dengan sensitivitas tinggi terhadap gas metana dalam lingkungan stabil yang terletak di area *onshore*. (2) Detektor gas sensor Inframerah: Dikenal dengan akurasi tinggi dan waktu respon yang cepat di lingkungan dengan kelembapan tinggi yang terletak di area *offshore*. (3) Detektor gas sensor Ultrasonik: Efektif mendeteksi gas dalam kondisi kebisingan rendah yang terletak di area *offshore*. Pemilihan sampel dilakukan secara *purposive sampling* berdasarkan ketersediaan alat di PT PHM dan relevansinya dengan kondisi operasional perusahaan.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan observasi langsung. Data diambil langsung dari lapangan untuk mengevaluasi performa masing-masing jenis detektor gas dalam kondisi nyata. Pendekatan ini bertujuan untuk mengukur akurasi dan waktu respons detektor gas terhadap gas metana di lingkungan *offshore* dan *onshore*.

Penelitian ini dirancang untuk membandingkan performa tiga jenis detektor gas metana dengan mengukur: (1) Akurasi: Perbedaan hasil pengukuran sensor dibandingkan alat referensi atau nilai gas standart yang telah ditentukan komposisinya (metana 2,5% LEL). (2) Waktu

Respons: Waktu yang dibutuhkan sensor untuk mendeteksi keberadaan gas metana sampai terjadi alarm.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: (1) Detektor gas dengan sensor katalitik, inframerah, dan ultrasonik: sebagai perangkat utama untuk mendeteksi gas metana. (2) Gas kalibrator: Sebagai gas referensi dalam proses pengecekan indikasi atau kalibrasi detektor gas. (3) Gassonic 1701 tool: Alat referensi untuk kalibrasi detektor gas dengan sensor ultrasonik (4) *Stop watch*: Untuk merekam hasil pengukuran waktu respon. (5) *Thermohygrometer*: Untuk mencatat suhu dan kelembapan lingkungan selama pengujian.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan dengan langkah-langkah berikut: (1) Pengukuran Akurasi: Membandingkan hasil deteksi dari detektor gas sensor dengan data dari gas kalibrator standar, membandingkan hasil dari detektor gas sensor ultrasonic dengan gassonic 1701 tool. (2) Pengukuran Waktu Respons: Mengukur waktu dari saat gas metana diinjeksikan hingga sensor memberikan output deteksi. (3) Dokumentasi Lingkungan: Mencatat parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan dan tekanan udara untuk analisis lebih lanjut.

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan inferensial: (1) Statistik Deskriptif: Untuk menghitung rata-rata, standar deviasi dan distribusi data akurasi serta waktu respons setiap sensor. (2) Uji Kolmogorov-Smirnov dan uji Shapiro-Wilk dengan menggunakan *software* SPSS untuk mengetahui data berdistribusi normal. (3) Analisis Varians (ANOVA) dengan menggunakan *software* SPSS: Untuk menguji signifikansi perbedaan performa antar sensor. (4) Uji *Post Hoc* Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*) dengan menggunakan *software* SPSS: Untuk mengetahui perbedaan secara spesifik antara beberapa kelompok dalam variabel dependen dari waktu respon dan akurasi. Hasil analisis akan digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai sensor yang paling sesuai untuk digunakan di PT PHM berdasarkan akurasi dan waktu responsnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini menghasilkan data pengukuran dari tiga jenis detektor gas yang diuji di area *offshore* dan *onshore* PT PHM. Berikut adalah rangkuman hasil pengukuran yang diperoleh:

Tabel 1. Hasil Pengukuran dari Gas Detektor Sensor Inframerah di Area *Offshore*

Jenis Detektor Gas	Lokasi	Area	Tag. No	Tanggal Pengetesan	Data Pengukuran	RH (%) Humidity	Suhu Sekitar (°C)	Waktu Respon (detik)	Penunjukan di transmitter / HMI (%LEL)	Gas Standart 2.5 %LEL Metana	Perhitungan Error
Inframerah	Offshore	Landing boat	GD 17501 A	7-Feb-25	ke-1	98	27.4	3.25	50.03	50.00	0.03
					ke-2	96	27.1	3.02	50.31	50.00	0.31
					ke-3	97	27.3	2.61	50.65	50.00	0.65
					ke-4	97	27.2	2.61	50.44	50.00	0.44
	Offshore	Landing boat	GD 17501 C	7-Feb-25	ke-1	99	27.4	2.9	50.02	50.00	0.02
					ke-2	97	27.3	3.5	49.77	50.00	-0.23
					ke-3	97	27.6	2.92	50.87	50.00	0.87
					ke-4	98	27.5	2.55	50.12	50.00	0.12
	Offshore	Above ESDV	GD 75103 C	7-Feb-25	ke-1	93	29.1	2.93	50.1	50.00	0.1
					ke-2	93	29.1	2.92	50.09	50.00	0.09
					ke-3	93	28.9	2.19	50.16	50.00	0.16
					ke-4	93	29.1	2.98	50.06	50.00	0.06
Nilai rata-rata					95.92	27.92	2.87	50.22	50.00	0.22	
Standart deviasi					2.27	0.85	0.34	0.30			

Tabel di atas menunjukkan hasil pengukuran dari 3 detektor gas jenis inframerah yang dilakukan di area *offshore*. Pada setiap satu detektor dilakukan pengetesan, pengambilan data waktu respon, suhu dan kelembaban pada saat pengetesan sebanyak 4 kali. Sedangkan untuk data akurasi dilakukan perhitungan yang di dapatkan dari selisih gas standart dengan nilai penunjukan di transmitter atau HMI (*Human-Machine Interface*).

Tabel 2. Hasil Pengukuran Dari Gas Detektor Sensor Ultrasonik di Area *Offshore*

Jenis Detektor Gas	Lokasi	Area	Tag. No	Tanggal Pengetesan	Data Pengukuran	RH (%) Humidity	Suhu Sekitar (°C)	Waktu Respon (detik)	Background Noise	Penunjukan di transmitter / HMI (db)	Penunjukan Kalibrator (db)	Perhitungan Error
Ultrasonik	Onshore	Above Wellhead	UGLD 16779	9-Feb-25	ke-1	99	25.7	6.08	58.1	100.38	99	1.38
					ke-2	99	25.5	5.66	58.1	99.75	99	0.75
					ke-3	99	25.4	6.73	58.1	99.6	99	0.6
					ke-4	99	25.4	6.04	58.1	99.86	99	0.86
	Onshore	Above Wellhead	UGLD 16778	9-Feb-25	ke-1	98	25.7	6.03	58.1	99.92	99	0.92
					ke-2	98	25.5	6.22	58.1	100.23	99	1.23
					ke-3	99	25.2	6.14	58.1	99.39	99	0.39
					ke-4	97	25.5	6.07	58.1	100.36	99	1.36
	Onshore	Above Wellhead	UGLD 16780	9-Feb-25	ke-1	99	25.5	5.76	58.1	99.85	99	0.85
					ke-2	98	25.5	6.14	58.1	99.77	99	0.77
					ke-3	97	25.4	6.56	58.1	99.6	99	0.6
					ke-4	97	25.6	6.4	58.1	99.4	99	0.4
					Nilai rata-rata	98.25	25.49	6.15	58.10	99.84	99.00	0.84
					Standart deviasi	0.87	0.14	0.30		0.34		

Tabel di atas menunjukkan hasil pengukuran dari 3 detektor gas jenis Ultrasonik di area *offshore*. Pada setiap satu detektor dilakukan pengetesan, pengambilan data waktu respon, suhu dan kelembaban pada saat pengetesan sebanyak 4 kali. Untuk data akurasi dilakukan perhitungan yang di dapatkan dari selisih nilai penunjukan pada kalibrator dengan nilai penunjukan di transmitter atau HMI.

Tabel 3. Hasil Pengukuran dari Gas Detektor Sensor Katalitik di Area *Onshore*

Jenis Detektor Gas	Lokasi	Area	Tag. No	Tanggal Pengetesan	Data Pengukuran	RH (%) Humidity	Suhu Sekitar (°C)	Waktu Respon (detik)	Penunjukan di transmitter / HMI (%LEL)	Gas Standart 2.5 %LEL Metana	Perhitungan Error
Katalitik	Onshore	HVAC ITR - TPA Area	GD 6884	9-Feb-25	ke-1	74	23.7	8.83	50.4	50	0.4
					ke-2	75	23.7	8.84	50.39	50	0.39
					ke-3	77	23.5	8.99	50.08	50	0.08
					ke-4	73	23.8	8.84	50.27	50	0.27
	Onshore	H-850 Below ceiling	GD 8501	9-Feb-25	ke-1	75	28.4	8.79	50.17	50	0.17
					ke-2	75	26.7	9.03	51.03	50	1.03
					ke-3	76	26.4	8.92	50.78	50	0.78
					ke-4	73	27	9.45	50.88	50	0.88
	Onshore	MK-6600 outdoor	GD 6602	9-Feb-25	ke-1	77	31.2	8.2	50.72	50	0.72
					ke-2	75	31.5	9.33	50.16	50	0.16
					ke-3	74	31.9	9.37	50.34	50	0.34
					ke-4	76	32.4	8.38	50.65	50	0.65
					Nilai rata-rata	75.00	24.82	8.91	50.49	50.00	0.49
					Standart deviasi	1.35	3.29	0.37	0.31		

Tabel di atas menunjukkan hasil pengukuran dari 3 detektor gas jenis Katalitik yang dilakukan di area *onshore*. Pada setiap satu detektor dilakukan pengetesan, pengambilan data waktu respon, suhu dan kelembaban pada saat pengetesan sebanyak 4 kali. Sedangkan untuk data akurasi dilakukan perhitungan yang di dapatkan dari selisih gas standart dengan nilai penunjukan di transmitter atau HMI.

Pembahasan

Analisis Deskriptif terhadap Performa Detektor Gas

Tiga jenis detektor gas jenis katalitik, inframerah, dan ultrasonik dievaluasi dalam penelitian ini. Waktu respons, perhitungan error (akurasi), kelembaban relatif (RH%) dan suhu lingkungan adalah beberapa parameter yang dianalisis. Dengan menggunakan analisis deskriptif, memberikan gambaran tentang karakteristik data yang dihasilkan oleh masing-masing detektor.

Tabel 4. Hasil Analisa Deskriptif dari 3 Jenis Detektor Gas

Descriptives								
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		
						Lower Bound	Upper Bound	
Waktu_respon	Ultrasonik	12	6.1525	.30182	.08713	5.9607	6.3443	5.66
	Inframerah	12	2.8650	.34180	.09867	2.6478	3.0822	2.19
	Katalitik	12	8.9142	.37123	.10716	8.6783	9.1500	8.20
	Total	36	5.9772	2.52932	.42155	5.1214	6.8330	2.19
Akurasi	Ultrasonik	12	.8425	.33646	.09713	.6287	1.0563	.39
	Inframerah	12	.2183	.30346	.08760	.0255	.4111	-.23
	Katalitik	12	.4892	.31257	.09023	.2906	.6878	.08
	Total	36	.5167	.40299	.06716	.3803	.6530	-.23

Dari tabel di atas menunjukkan informasi yang sangat berguna untuk memahami distribusi dan karakteristik dari data waktu respon dan akurasi untuk ketiga jenis detektor gas yang sedang diuji.

Waktu Respon (Waktu untuk Detektor Merespons Perubahan Gas)

Pada tabel setiap jenis detektor memiliki 12 pengukuran, sehingga total jumlah data adalah 36 data. Rata-rata waktu respon untuk detektor ultrasonik adalah 6.15 detik. Ini menunjukkan bahwa detektor Ultrasonik membutuhkan waktu yang cukup lama dibandingkan dengan detektor lainnya. Rata-rata waktu respon untuk detektor Inframerah adalah 2.87 detik. Ini menunjukkan bahwa detektor Inframerah merespons lebih cepat daripada Ultrasonik. Sedangkan rata-rata waktu respon untuk detektor katalitik adalah 8.91 detik, yang merupakan yang paling lama di antara ketiganya.

Mengenai standar deviasi (*Std. Deviation*) di atas dapat diartikan sebagai seberapa jauh sebaran data terhadap nilai rata-rata kelompoknya. Pada detektor gas jenis Ultrasonik memiliki standar deviasi 0.30 yang relatif kecil, menunjukkan bahwa waktu respon detektor Ultrasonik cukup konsisten dalam pengukuran. Sedangkan pada detektor gas jenis Inframerah memiliki standar deviasi 0.34, detektor Inframerah menunjukkan sedikit lebih banyak variasi dalam waktu respon, meskipun masih cukup konsisten. Dan detektor gas jenis Katalitik memiliki Standar deviasi 0.37 untuk detektor ini menunjukkan variasi yang sedikit lebih besar dalam waktu respon, yang mengindikasikan sedikit ketidakstabilan yang lebih tinggi dibandingkan dengan detektor Ultrasonik dan Inframerah.

Akurasi (Perhitungan Error)

Pada detektor gas jenis Ultrasonik didapatkan nilai rata-rata error detektornya adalah 0.842 yang menunjukkan bahwa detektor ini cenderung memiliki tingkat error yang lebih tinggi dibandingkan dengan detektor lainnya. Sedangkan jenis Inframerah memiliki rata-rata error adalah 0.218 yang menunjukkan akurasi yang lebih tinggi dan error yang lebih rendah dibandingkan dengan detektor Ultrasonik dan Katalitik. Pada jenis katalitik didapatkan rata-rata error yaitu 0.489 menunjukkan tingkat error yang lebih tinggi dibandingkan dengan inframerah, tetapi masih lebih rendah dari Ultrasonik.

Untuk nilai Standar Deviasi (*Std. Deviation*) pada detektor gas jenis ultrasonic memiliki standar deviasi 0.33 yang menunjukkan variasi error yang relatif rendah. Jenis Inframerah memiliki standar deviasi 0.30 yang mengindikasikan konsistensi yang baik dalam akurasi. Sedangkan jenis katalitik memiliki standar deviasi 0.31 sedikit lebih tinggi dari Inframerah, tetapi tetap relatif stabil dalam hal akurasi.

Dalam hasil pengukuran didapatkan nilai minimum dan maksimum error dari ultrasonik adalah 0.56 dan maksimum adalah 0.98 menunjukkan adanya beberapa pengukuran yang memiliki error besar. Untuk jenis Inframerah didapatkan error minimum adalah 0.15 dan maksimum adalah 0.26 yang menunjukkan bahwa detektor Inframerah memiliki error lebih

kecil dan lebih konsisten. Sedangkan pada jenis katalitik memiliki error minimum adalah 0.32 dan maksimum adalah 0.71 menunjukkan variasi error yang moderat.

Secara umum dapat diambil kesimpulan untuk waktu respon, detektor inframerah memiliki waktu respon tercepat (rata-rata 2.87 detik), diikuti oleh ultrasonik (6.15 detik) dan katalitik yang paling lambat (8.91 detik). Namun, detektor Inframerah juga memiliki sedikit variasi dalam waktu respon, meskipun masih lebih konsisten dibandingkan dengan detektor katalitik. Dalam hal akurasi, detektor Inframerah menunjukkan performa terbaik dengan rata-rata error yang rendah (0.218) dan konsistensi yang lebih baik. Sebaliknya, ultrasonik menunjukkan nilai error yang lebih besar dan rentang yang lebih luas, yang menandakan performa yang kurang stabil dalam hal akurasi. Sedangkan jenis katalitik memiliki performa di antara kedua detektor lainnya dalam hal akurasi. Secara keseluruhan, jika tujuan utama adalah waktu respon cepat dan akurasi tinggi, maka detektor Inframerah menjadi pilihan yang lebih baik, sementara Ultrasonik mungkin lebih cocok untuk aplikasi yang tidak memerlukan waktu respon cepat dan akurasi yang sangat tinggi.

Analisis Perbedaan Performa Detektor Gas dengan Uji ANOVA

Untuk menguji pengaruh jenis detektor gas terhadap dua parameter performa utama sistem, yaitu waktu respon dan akurasi, dilakukan analisis variasi satu arah (*One-Way ANOVA*). Uji ini digunakan untuk menguji hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antar kelompok jenis detektor terhadap masing-masing variabel dependen. Adapun hipotesis alternatif (H_1) menyatakan bahwa terdapat setidaknya satu kelompok yang memiliki nilai rata-rata yang berbeda signifikan (Thompson & Kim, 2024).

Pengujian ini digunakan untuk membandingkan rata-rata dari tiga kelompok atau lebih untuk melihat kemungkinan adanya perbedaan nyata di antara kelompok-kelompok itu. Didalam penelitian ini, peneliti ingin mencari perbedaan performa dari detektor gas jenis inframerah, ultrasonik dan katalitik dalam hal waktu respon (berapa detik alat bereaksi) dan tingkat error (seberapa akurat alat bekerja dalam mendeteksi keberadaan gas). Sebelum dilakukan pengujian anova, dilakukan terlebih dahulu uji normalitas data yang dipergunakan untuk memastikan data tersebut tergolong dalam rentang data yang berdistribusi normal. Dalam penelitian ini, dua jenis uji normalitas digunakan, yaitu uji Kolmogorov-Smirnov dan uji Shapiro-Wilk dengan menggunakan *software* SPSS (IBM Corporation, 2017). Kedua uji ini menguji hipotesis nol yang menyatakan bahwa data terdistribusi normal. Hipotesis alternatif (H_1) menyatakan bahwa data tidak terdistribusi normal.

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas Menggunakan SPSS

Tests of Normality							
	Jenis_GD	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Waktu_respon	Ultrasonik	.183	12	.200*	.950	12	.632
	Inframerah	.207	12	.163	.955	12	.707
	Katalitik	.202	12	.188	.931	12	.396
Akurasi	Ultrasonik	.159	12	.200*	.924	12	.317
	Inframerah	.243	12	.049	.900	12	.157
	Katalitik	.196	12	.200*	.936	12	.450

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Berdasarkan tabel di atas hasil uji Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk, dapat disimpulkan bahwa seluruh data untuk variabel waktu_respon (ultrasonik, inframerah, katalitik) dan akurasi (ultrasonik, katalitik) memiliki nilai signifikansi (Sig.) lebih besar dari 0.05, baik pada uji Kolmogorov-Smirnov maupun Shapiro-Wilk. Hal ini menunjukkan bahwa data pada variabel-variabel tersebut terdistribusi normal. Namun, untuk variabel akurasi pada inframerah, meskipun nilai Sig. pada uji Kolmogorov-Smirnov adalah 0.049 yang sedikit lebih rendah dari 0.05, nilai Sig. pada uji Shapiro-Wilk (0.157) lebih besar dari 0.05, yang menunjukkan tidak ada penyimpangan signifikan dari normalitas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data untuk variabel akurasi untuk inframerah juga terdistribusi normal.

Berikutnya dilakukan juga uji homogenitas varians data untuk menilai kesamaan varians antar dua atau lebih kelompok data. Varians menggambarkan seberapa jauh penyebaran nilai-nilai dalam suatu kelompok dari nilai rata-ratanya. Tujuan utama dari uji homogenitas adalah memastikan bahwa setiap kelompok yang dianalisis memiliki tingkat penyebaran data yang serupa atau homogen. Suatu data disebut homogen jika nilai-nilai varians antar kelompok tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik. Ini berarti tingkat keragaman atau penyebaran data dalam masing-masing kelompok hampir sama. Homogenitas ini penting karena beberapa uji statistik mengasumsikan bahwa semua kelompok memiliki distribusi yang serupa dalam hal penyebaran data. Jika asumsi ini terpenuhi, maka hasil analisis statistik lebih dapat diandalkan dan berlaku. Sedangkan data disebut tidak homogen jika terdapat perbedaan varians yang signifikan antar kelompok. Artinya, sebaran data dalam satu kelompok jauh lebih besar atau lebih kecil dibandingkan kelompok lain. Ketidakhomogenan ini bisa mengindikasikan adanya faktor-faktor khusus yang memengaruhi kelompok tertentu secara berbeda atau variasi kondisi yang tidak terkendali. Hipotesis nol dalam uji ini menyatakan bahwa varian data antar kelompok adalah homogen, sedangkan hipotesis alternatif menyatakan bahwa varian data antar kelompok tidak homogen. Uji Levene digunakan untuk menguji

homogenitas varian dengan membandingkan selisih nilai absolut dari setiap data terhadap rata-rata kelompoknya.

Tabel 6. Hasil Uji Homogenitas Variasi Data Menggunakan SPSS

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Waktu_respon	Based on Mean	.162	2	33	.851
	Based on Median	.167	2	33	.847
	Based on Median and with adjusted df	.167	2	32.337	.847
	Based on trimmed mean	.175	2	33	.840
Akurasi	Based on Mean	.133	2	33	.876
	Based on Median	.212	2	33	.810
	Based on Median and with adjusted df	.212	2	31.737	.810
	Based on trimmed mean	.152	2	33	.859

Berdasarkan data tabel di atas hasil uji Levene, untuk seluruh variabel yang diuji, nilai signifikansi (Sig.) lebih besar dari 0.05 mengindikasikan bahwa variasi data antar kelompok pada variabel waktu respon dan akurasi adalah homogen (sama). Dengan demikian, asumsi homogenitas variasi dapat diterima untuk kedua variabel tersebut.

Berdasarkan uji homogenitas diatas, data dalam penelitian ini memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas varians yang menjadi prasyarat untuk analisis statistik uji anova, untuk menguji perbedaan antara kelompok-kelompok dalam variabel-variabel yang diteliti.

Tabel 7. Hasil Uji Anova Menggunakan SPSS

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Waktu_respon	Between Groups	220.108	2	110.054	954.972	.000
	Within Groups	3.803	33	.115		
	Total	223.911	35			
Akurasi	Between Groups	2.351	2	1.176	11.640	.000
	Within Groups	3.333	33	.101		
	Total	5.684	35			

Pada variabel waktu respon, hasil uji anova menunjukkan nilai $F = 954.972$ dengan $\text{Sig.} = 0.000$. Berdasarkan hasil ini, nilai Sig. yang lebih kecil dari 0.05 mengindikasikan bahwa hipotesis nol ditolak, yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok detektor gas jenis ultrasonik, inframerah dan katalitik dalam hal waktu respon.

Rata-rata waktu respon antar kelompok menunjukkan variasi yang cukup besar, dengan *Sum of Squares Between Groups* sebesar 220.108, yang menunjukkan bahwa variasi antara kelompok jauh lebih besar dibandingkan dengan variasi dalam kelompok yang hanya sebesar 3.803. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan yang berbeda (ultrasonik, inframerah, katalitik) atau jenis detektor gas mempengaruhi waktu_respon dengan signifikan. Perbedaan karakteristik teknis dari masing-masing detektor, seperti sensitivitas dan prinsip kerja, kemungkinan besar menjadi faktor utama yang menyebabkan perbedaan ini.

Dalam sistem deteksi gas, waktu respon merupakan parameter sangat penting, terutama pada aplikasi yang menuntut reaksi cepat seperti sistem deteksi kebocoran gas, sistem

keamanan industri, atau aplikasi pemantauan lingkungan terkini. Detektor dengan waktu respon lebih cepat dapat memberikan peringatan lebih dini dan mempercepat sistem pengambilan keputusan.

Berdasarkan hasil analisis ini, maka pemilihan detektor harus mempertimbangkan performa waktu respon secara cermat, karena jenis detektor terbukti memberikan perbedaan yang signifikan dalam aspek ini. Secara teknis, hal ini dapat dikaitkan dengan prinsip kerja detektor, sensitivitas material aktif terhadap molekul gas, dan waktu difusi molekul ke permukaan sensor serta dampak proses akustik pada penerima dan pemancaran gelombang suara pada detektor ultrasonik.

Berikutnya pada hasil uji anova untuk variabel akurasi juga menunjukkan nilai F hitung sebesar 11.640 dengan nilai signifikansi 0.000 ($p < 0.05$). Hal ini menandakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam tingkat akurasi di antara jenis detektor gas yang diuji.

Meski perbedaan akurasi tidak sebesar perbedaan pada waktu respon (ditunjukkan oleh nilai F yang lebih kecil), hasil ini tetap menunjukkan bahwa jenis detektor juga memengaruhi tingkat akurasi sistem secara signifikan. Dari hasil analisis anova, dapat disimpulkan bahwa: (1) Jenis detektor gas berpengaruh signifikan terhadap waktu respon dan akurasi sistem deteksi gas. (2) Pengaruh terhadap waktu respon lebih dominan dibandingkan akurasi, yang ditunjukkan oleh nilai F yang jauh lebih tinggi. Temuan ini menjadi dasar yang kuat untuk mempertimbangkan pemilihan jenis detektor gas yang paling optimal dalam aplikasi tertentu, baik dari aspek kecepatan respons maupun tingkat akurasi pendeteksian.

Akurasi merupakan parameter yang menentukan seberapa dekat hasil deteksi terhadap nilai konsentrasi gas yang sesungguhnya. Detektor dengan akurasi tinggi memiliki kemampuan memberikan data yang dapat diutamakan untuk pengambilan keputusan, kalibrasi sistem kontrol, atau evaluasi risiko.

Perbedaan akurasi antar jenis detektor dapat disebabkan oleh beberapa faktor teknis, antara lain stabilitas sinyal keluaran, tingkat *noise* dari sensor, kemampuan detektor membedakan antara gas target dan interferen (*selectivity*), ketepatan kalibrasi awal dan sensitivitas sensor dalam mengukur konsentrasi gas. Dalam konteks ini, detektor dengan prinsip kerja yang memiliki toleransi lebih rendah terhadap gangguan lingkungan, atau yang memiliki resolusi pembacaan rendah, akan menghasilkan akurasi yang lebih buruk dibandingkan dengan detektor dengan performa kalibrasi yang lebih baik.

Analisis Perbedaan Performa Detektor Gas dengan Uji *Post Hoc* Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*)

Untuk mengetahui perbedaan antara beberapa kelompok dalam variabel dependen dari waktu_respon dan akurasi, maka perlu dilakukan analisis *Post-Hoc*. Analisis ini sangat penting setelah Anova, karena walaupun kita sudah tahu bahwa ada perbedaan signifikan antar kelompok, kita belum tahu kelompok mana yang berbeda secara spesifik (McHugh, 2011).

Tabel 8. Hasil Uji *Post Hoc* Test Menggunakan SPSS

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons						
Tukey HSD						
Dependent Variable	(I) Jenis_GD	(J) Jenis_GD	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound Upper Bound
Waktu_respon	Ultrasonik	Inframerah	3.28750*	.13859	.000	2.9474 3.6276
		Katalitik	-2.76167*	.13859	.000	-3.1017 -2.4216
	Inframerah	Ultrasonik	-3.28750*	.13859	.000	-3.6276 -2.9474
		Katalitik	-6.04917*	.13859	.000	-6.3892 -5.7091
	Katalitik	Ultrasonik	2.76167*	.13859	.000	2.4216 3.1017
		Inframerah	6.04917*	.13859	.000	5.7091 6.3892
Akurasi	Ultrasonik	Inframerah	.62417*	.12974	.000	.3058 .9425
		Katalitik	.35333*	.12974	.027	.0350 .6717
	Inframerah	Ultrasonik	-.62417*	.12974	.000	-.9425 -.3058
		Katalitik	-.27083	.12974	.108	-.5892 .0475
	Katalitik	Ultrasonik	-.35333*	.12974	.027	-.6717 -.0350
		Inframerah	.27083	.12974	.108	-.0475 .5892

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Berdasarkan hasil uji *Post Hoc* Tukey HSD pada tabel di atas, untuk variabel waktu respon, diperoleh bahwa:

- Semua pasangan detektor (ultrasonik vs inframerah, ultrasonik vs katalitik, dan inframerah vs katalitik) menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan nilai $p < 0.05$.
- Nilai perbedaan rata-rata antar pasangan cukup besar dan jarak antar kelompok juga terlihat jelas, yang sejalan dengan hasil anova sebelumnya ($F = 954.972$).

Hasil ini mengindikasikan bahwa setiap jenis detektor gas memberikan performa waktu respon yang berbeda secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik fisik dan prinsip kerja masing-masing detektor memiliki perbedaan mendasar dalam seberapa cepat mereka merespon kehadiran gas. Perbedaan yang signifikan ini sangat penting terutama pada sistem proteksi atau pemantauan berbasis waktu nyata, di mana keterlambatan deteksi sekecil apapun dapat berdampak pada keselamatan sistem atau manusia.

Pada hasil *Post-Hoc* Tukey untuk variabel akurasi diketahui bahwa:

- Sebagian besar pasangan detektor juga menunjukkan perbedaan yang signifikan, meskipun tidak sekuat pada variabel waktu respon.

- Beberapa pasangan mungkin memiliki nilai p yang mendekati atau sedikit di atas 0.05, artinya perbedaannya tidak selalu signifikan secara statistik, meskipun tetap terdapat selisih rata-rata.

Berbeda dengan waktu respon, akurasi merupakan parameter yang lebih stabil terhadap pengaruh eksternal dan lebih ditentukan oleh kualitas manufaktur, kalibrasi, dan linearitas respons sensor terhadap konsentrasi gas.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa jenis detektor gas berpengaruh signifikan terhadap performa deteksi gas metana di lingkungan operasional PT. PHM. Hasil analisis menunjukkan bahwa detektor inframerah memiliki performa terbaik dengan waktu respon tercepat (2.87 detik) dan akurasi tertinggi (error 0.218%), diikuti oleh detektor ultrasonik (waktu respon 6.15 detik, error 0.842%) dan katalitik (waktu respon 8.91 detik, error 0.489%). Temuan ini menjawab tujuan penelitian yang menyelidiki pengaruh jenis detektor terhadap akurasi dan waktu respon, di mana hasil uji ANOVA mengkonfirmasi adanya perbedaan signifikan antar ketiga jenis detektor ($p < 0.05$). Berdasarkan hasil tersebut, detektor inframerah direkomendasikan sebagai pilihan optimal untuk implementasi di instalasi migas PT. PHM karena kombinasi superior antara kecepatan respons dan presisi pengukuran yang dapat meningkatkan keselamatan operasional.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Pertama, pengujian hanya dilakukan pada tiga jenis detektor dengan jumlah sampel terbatas (12 pengukuran per jenis), sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan dengan hati-hati. Kedua, kondisi pengujian terbatas pada dua lokasi (offshore dan onshore) dengan rentang suhu dan kelembaban tertentu, yang mungkin tidak merepresentasikan seluruh kondisi operasional yang mungkin terjadi. Ketiga, penelitian ini hanya fokus pada aspek teknis performa tanpa mempertimbangkan faktor ekonomis seperti biaya investasi awal, pemeliharaan, dan umur pakai detektor yang juga penting dalam pengambilan keputusan implementasi.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan pengujian dengan sampel yang lebih besar dan variasi kondisi lingkungan yang lebih ekstrem untuk memvalidasi temuan ini. Kajian komprehensif yang mengintegrasikan aspek teknis dan ekonomis akan memberikan panduan yang lebih holistik untuk pemilihan detektor. Investigasi mendalam terhadap mekanisme fisik yang menyebabkan perbedaan performa antar detektor dapat memberikan wawasan untuk pengembangan teknologi deteksi gas yang lebih baik. Evaluasi jangka panjang

terhadap stabilitas dan keandalan detektor dalam kondisi operasional kontinyu juga diperlukan untuk memastikan konsistensi performa dalam aplikasi industri yang sesungguhnya.

DAFTAR REFERENSI

- Aldhafeeri, T., Tran, M. K., Vrolyk, R., Pope, M., & Fowler, M. (2020). A review of methane gas detection sensors: Recent developments and future perspectives. *Inventions*, 5(3), 28. <https://doi.org/10.3390/inventions5030028>
- Berveglieri, G. S. (2012). *Gas sensors: Principles, operation and developments*. Springer.
- Cai, J. H., & Min, J. H. (2022). A design of acoustic catalytic sensing system for trace gas detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 350, 130825.
- Darmawan, I. N., & Universitas Wijayakusuma Purwokerto. (2023). Analisis methane gas detector dengan sensor catalytic dan sensor infrared di Maintenance Area II PT Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap. *J-Proteksion*, 8(1), 53–63.
- Detronics. (2002). *Infrared hydrocarbon gas detector Detronics instruction manual*. Detronics Corporation.
- Gandhi, M., Rowley, J., Nelson, D., & Campbell, C. (2015). Gas detection in process industry – The practical approach. *Process Safety Progress*, 34(3), 255–262.
- García Oya, J. R., Sainz Rojas, A., Narbona Miguel, D., González Carvajal, R., & Muñoz Chavero, F. (2022). Low-power transit time-based gas flow sensor with accuracy optimization. *Sensors*, 22(24), 9912. <https://doi.org/10.3390/s22249912>
- General Monitors Co. (2015). *Installation and user guide for Gassonic Surveyor*. General Monitors Corporation.
- IBM Corporation. (2017). *IBM SPSS Statistics 25 brief guide product information*. IBM Corporation.
- Lorenzo-Bayona, J. L., León, D., Amez, I., Castells, B., & Medic, L. (2023). Experimental comparison of functionality between the main types of methane measurement sensors in mines. *Energies*, 16(5), 2207. <https://doi.org/10.3390/en16052207>
- McHugh, M. L. (2011). Multiple comparison analysis testing in ANOVA. *Biochemia Medica*, 21(3), 203–209. <https://doi.org/10.11613/BM.2011.029>
- Tae, G., Jun, L. G., Do, J. Y., Guk, A. S., & Park, K. Y. G. (2015). Gas detector using infrared sensors and method for gas detection (U.S. Patent No. 9,116,043 B2).
- Thompson, G., & Kim, V. (2024). Investigating differences between groups. In *Researching English Medium Instruction* (pp. 27–39). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009425407.006>