

Bab IV

Hasil dan Pembahasan

Alat pendeteksi gas ini perlu dilakukan pengujian untuk menilai dan memastikan seluruh komponen yang digunakan dan sistem dapat berfungsi dengan baik. Komponen – komponen yang diuji meliputi Sensor MQ-2, Catu daya, dan Respon sistem terhadap sensor. Pengujian dimulai dari mengukur besaran tegangan, pada komponen yang digunakan dan efektifitas pada masing masing rangkaian.

4.1 Peralatan Yang di Gunakan

Dalam pelaksanaan pengujian dan pengukuran, penyusun menggunakan berbagai alat seperti pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Alat yang digunakan

Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah	Keterangan
Multimeter Digital	Sanwa	1	Untuk mengukur Tegangan
Laptop	Asus	1	Untuk mengakses <i>Software</i>
Stopwatch	Casio	1	Untuk mencatat waktu <i>response</i>
Gas Butane 230gr	Hi-Cook	1	Untuk pembacaan Sensor
Tabung Silinder	25-75cm	3	Untuk media ruang pengujian
Sound Level Meter	Benetech	1	Untuk pembacaan suara Buzzer
Pressure Gauge	Tekiro	1	Untuk pembacaan tekanan Gas dalam pengujian
Solenoid Valve	Airtac	1	Untuk supply gas dalam pengujian

4.2 Prosedur Pengukuran

Prosedur atau langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran dan pengujian adalah sebagai berikut.

1. Memastikan alat yang digunakan dalam kondisi baik.
2. Memahami rangkaian untuk mengurangi resiko Short Circuit.

3. Menyiapkan Software.
4. Melakukan pengukuran berdasarkan spesifikasi komponen saat keadaan stand by dan on current.
5. Mencatat tegangan yang diperoleh.
6. Membandingkan hasil yang didapat dengan spesifikasi dari datasheet.
7. Menganalisa hasil yang didapat.

4.3 Pengukuran Rangkaian

Pengukuran pada setiap komponen dan rangkaian dalam sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh bagian bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Selain itu, pengukuran ini bertujuan untuk mengantisipasi serta meminimalisir resiko kesalahan atau kerusakan yang mungkin terjadi selama sistem beroperasi. Pada beberapa bagian, proses pengukuran dilakukan secara berulang guna memperoleh hasil yang lebih akurat dan konsisten.

4.3.1 Pengukuran Rangkaian Catu Daya

Sistem pendeteksi kebocoran gas yang dirancang memerlukan sumber tegangan sebesar 5 Volt DC untuk mengoperasikan seluruh komponen, termasuk sensor MQ-2 dan mikrokontroler. Oleh karena itu, digunakan rangkaian catu daya yang berfungsi untuk mengonversi tegangan listrik dari jaringan PLN sebesar 220 VAC menjadi 5 VDC.

Pengukuran pada rangkaian catu daya dilakukan untuk memastikan bahwa tegangan keluaran berada dalam batas aman dan stabil, sehingga tidak terjadi overvoltage yang dapat menyebabkan kerusakan pada komponen serta menurunkan umur pakai perangkat. Proses pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital, dengan hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Pengukuran Catu Daya 12VDC

No	Pengukuran	Tampilan Multimeter	Keterangan
1	Output		Sumber catu daya dari Adapter 5.3volt

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, diperoleh nilai tegangan keluaran sebesar 5,29 VDC. Nilai tersebut sedikit lebih tinggi dari tegangan nominal yang direncanakan, yaitu 5 VDC, namun masih berada dalam batas toleransi yang aman untuk pengoperasian komponen elektronik seperti mikrokontroler dan sensor MQ-2. Secara umum, sebagian besar perangkat berbasis mikrokontroler masih dapat beroperasi dengan baik pada rentang tegangan sekitar $\pm 5\%$ hingga $\pm 10\%$ dari nilai nominal.

Kenaikan tegangan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti karakteristik regulator tegangan yang digunakan, fluktuasi tegangan input dari sumber listrik, serta kondisi beban yang belum sepenuhnya terpasang saat pengukuran dilakukan. Meskipun demikian, hasil pengukuran menunjukkan bahwa rangkaian catu daya telah mampu menyediakan tegangan yang relatif stabil dan sesuai untuk kebutuhan sistem.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rangkaian catu daya yang dirancang telah memenuhi kebutuhan tegangan untuk sistem pendeteksi kebocoran gas dan dapat digunakan secara aman dalam pengoperasian perangkat secara keseluruhan. Namun, untuk meningkatkan keandalan sistem, disarankan penggunaan regulator dengan tingkat stabilitas yang lebih baik atau penambahan kapasitor filter guna meminimalkan fluktuasi tegangan.

4.3.2 Pengukuran Konsumsi Daya Alat



Pengukuran konsumsi daya bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan dan arus yang digunakan oleh sistem saat beroperasi dalam berbagai kondisi. Hal ini penting untuk memastikan bahwa kebutuhan daya alat sesuai dengan spesifikasi serta tidak melebihi batas kerja komponen yang digunakan.

Pada sistem ini, sumber tegangan utama sebesar 5 VDC digunakan untuk mensuplai mikrokontroler, sensor MQ-2, serta komponen pendukung lainnya. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital dengan mengamati parameter tegangan dan arus, kemudian daya dihitung menggunakan persamaan:

$$p = V \times I$$

Pengukuran dilakukan pada dua kondisi, yaitu saat sistem dalam keadaan standby dan saat sistem terpicu (*triggered*) akibat adanya deteksi gas. Hasil pengukuran konsumsi daya ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Pengukuran Daya

No	Waktu (menit)	Voltase (v)	Arus (I)	Daya (Watt)	Kondisi	Dokumentasi
1	2	5	209,5mA	1,1	Stand By	
2	4	5	225,8mA	1,12	Triggered	
3	6	5	214,2mA	1,07	Stand By	
4	8	5	247,8mA	1,23	Triggered	

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa konsumsi daya sistem mengalami perbedaan antara kondisi standby dan kondisi triggered. Pada kondisi standby, daya yang digunakan berkisar antara 1,07 Watt hingga 1,10 Watt, sedangkan pada kondisi triggered meningkat menjadi sekitar 1,12 Watt hingga 1,23 Watt. Peningkatan konsumsi daya ini disebabkan oleh aktifnya komponen tambahan seperti buzzer dan indikator LED yang bekerja sebagai sistem peringatan saat terdeteksi adanya gas.

Selain itu, nilai arus yang terukur juga menunjukkan kecenderungan meningkat saat sistem berada pada kondisi triggered, yaitu dari kisaran sekitar 209,5 mA – 214,2 mA menjadi 225,8 mA – 247,8 mA. Hal ini sejalan dengan prinsip dasar hubungan daya listrik, dimana peningkatan arus pada tegangan yang relatif konstan akan menyebabkan kenaikan daya yang dikonsumsi oleh sistem.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem memiliki konsumsi daya yang relatif stabil dan masih berada dalam batas yang aman untuk sumber tegangan 5 VDC. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rancangan sistem pendeteksi kebocoran gas telah memenuhi aspek efisiensi daya dan layak untuk dioperasikan secara kontinu tanpa menimbulkan beban berlebih pada sumber catu daya yang digunakan.

4.3.3 Pengukuran Rangkaian Buzzer

Pengukuran pada rangkaian buzzer bertujuan untuk mengetahui karakteristik kerja buzzer saat diberikan variasi beban, serta untuk memastikan bahwa buzzer dapat berfungsi dengan baik sebagai indikator peringatan saat terjadi kebocoran gas.

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi nilai tahanan pada rangkaian dan mengamati perubahan besaran suara yang dihasilkan. Selain itu, pengukuran tegangan juga dilakukan untuk memastikan bahwa buzzer bekerja pada kondisi tegangan yang sesuai.

Hasil pengukuran rangkaian buzzer ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Pengukuran Buzzer

No	Voltase (V)	Tahanan (ohm)	Range Besaran Suara (dB)
1	3,3	0	87-89
2	3,3	100	76-79
3	3,3	220	63-67
4	3,3	330	52-54

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 4.4, dapat diketahui bahwa nilai tahanan yang diberikan pada rangkaian buzzer berpengaruh signifikan terhadap besaran suara yang dihasilkan. Pada kondisi tanpa tahanan (0Ω), buzzer menghasilkan intensitas suara tertinggi dengan rentang 87–89 dB. Seiring dengan penambahan nilai tahanan, terjadi penurunan intensitas suara secara bertahap, dimana pada tahanan 100Ω diperoleh rentang 76–79 dB, pada 220Ω sebesar 63–67 dB, dan pada 330Ω menurun hingga 52–54 dB. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai tahanan, arus listrik yang mengalir ke buzzer semakin kecil, sehingga daya yang diterima buzzer berkurang dan berdampak pada penurunan tingkat tekanan suara yang dihasilkan.

Secara umum, hubungan antara nilai tahanan dan intensitas suara pada pengujian ini menunjukkan kecenderungan berbanding terbalik. Kondisi ini sesuai dengan prinsip dasar hukum Ohm, dimana peningkatan resistensi akan menurunkan arus pada tegangan yang konstan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan tahanan yang terlalu besar akan mengurangi efektivitas buzzer sebagai indikator peringatan. Oleh karena itu, dalam implementasi sistem deteksi kebocoran gas, diperlukan pemilihan nilai tahanan yang optimal agar buzzer tetap menghasilkan suara dengan intensitas yang cukup untuk memberikan peringatan secara jelas kepada pengguna.

4.4 Pengujian Alat

Pengujian keseluruhan alat dilakukan untuk memastikan bahwa sistem pendeteksi kebocoran gas dapat bekerja secara optimal sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Pengujian ini mencakup integrasi antara sensor MQ-2, mikrokontroler, buzzer sebagai indikator lokal, serta sistem notifikasi real-time melalui aplikasi Telegram.

Proses pengujian dilakukan dengan menjalankan program pada mikrokontroler dan mengamati respon sistem terhadap kondisi lingkungan, baik saat tidak terdapat gas (kondisi normal) maupun saat diberikan paparan gas (kondisi terpicu). Parameter yang diamati meliputi nilai keluaran sensor, waktu respon sistem, serta waktu pengiriman notifikasi ke pengguna.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kinerja sistem dalam mendeteksi keberadaan gas serta memastikan bahwa notifikasi dapat dikirim secara tepat waktu sebagai bentuk peringatan dini kepada pengguna. Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk memastikan bahwa buzzer dapat berfungsi dengan baik sebagai alarm lokal ketika terjadi kebocoran gas.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian

No	Jarak Sensor - Sumber Gas (cm)	Tekanan Gas yang diberikan (Bar)	Output Sensor (V)	Level Sensor (0-4095)	Waktu Respon Sensor (s)	Waktu Pengiriman Notifikasi Telegram (s)
1	25	2	2.10	2602	8	0.4
2	25	2	1.34	1662	8	0.4
3	25	2	3.27	4055	10	0.5
4	50	2	1.43	1779	19	0.4
5	50	2	0.70	863	21	0.4
6	50	2	3.30	4095	21	0.3
7	75	2	0.81	1003	29	0.4
8	75	2	2.26	2805	42	0.4
9	75	2	2.55	3169	50	0.4

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.5, sistem berhasil mendeteksi keberadaan gas pada seluruh skenario pengujian dengan variasi jarak 25 cm, 50 cm, dan 75 cm pada tekanan gas konstan sebesar 2 bar. Nilai keluaran sensor MQ-2 berada pada rentang 863–4095 (skala ADC 12-bit ESP32-S3), menunjukkan bahwa intensitas paparan gas yang mencapai sensor berbeda pada setiap percobaan.

Untuk mempresentasikan hasil deteksi dalam satuan ukur yang terstandarisasi secara metrologi, nilai keluaran tegangan sensor (V) pada Tabel 4.5 dikonversi menjadi nilai konsentrasi *Parts Per Million* (PPM). Konversi ini dieksekusi menggunakan pendekatan regresi daya (*Power Regression*) berdasarkan kurva karakteristik sensor MQ-2 untuk target gas spesifik. Tahapan konversi dilakukan dengan mencari nilai resistansi sensor (R_s) terlebih dahulu menggunakan prinsip pembagi tegangan:

$$R_s = R_L \times \left(\frac{V_c - V_{out}}{V_{out}} \right)$$

Setelah nilai R_s diketahui, nilai PPM dihitung menggunakan persamaan regresi dari *datasheet* MQ-2:

$$PPM = A \times \left(\frac{R_s}{R_0} \right)^B$$

Keterangan:

R_s = Resistansi sensor saat mendeteksi gas ($k\Omega$)

R_L = Resistansi beban modul sensor ($10k\Omega$)

V_0 = Tegangan sumber sensor (5.0V)

V_{out} = Tegangan keluaran analog sensor (Volt)

R_0 = Resistansi udara bersih ($10k\Omega$)

A = Konstanta pengali regresi (574.25)

B = Konstanta pangkat regresi (-2.222)

Hasil perhitungan konsentrasi gas secara kuantitatif berdasarkan persamaan diatas ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Konversi Konsentrasi Gas

No	Output Sensor (V)	Kalkulasi R_s ($k\Omega$)	Konsentrasi Gas (PPM)
1	2.10	13.81	280
2	1.34	27.31	60
3	3.27	5.29	2356
4	1.43	24.96	74
5	0.70	61.43	10
6	3.30	5.15	2500
7	0.81	51.73	14
8	2.26	12.12	374
9	2.55	9.61	628

Secara umum, pengujian pada jarak yang lebih dekat menghasilkan kecenderungan nilai ADC dan PPM yang lebih tinggi dan waktu respons yang lebih cepat. Pada jarak 25 cm, sistem mulai memberikan respons dalam 8–10 detik, sedangkan pada jarak 75 cm waktu respons meningkat menjadi 29–50 detik. Peningkatan waktu respons ini dapat dijelaskan oleh proses difusi gas di udara, yaitu semakin jauh sumber gas dari sensor maka semakin lama konsentrasi gas mencapai area sensitif sensor MQ-2. Selain faktor difusi, karakteristik pemanasan dan stabilisasi internal sensor MQ-2 juga turut memengaruhi waktu yang dibutuhkan hingga pembacaan melewati ambang deteksi.

Waktu pengiriman notifikasi Telegram berada pada rentang 0,3–0,5 detik setelah kondisi bahaya terdeteksi. Nilai ini jauh lebih kecil dibanding waktu respons sensor, sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor pembatas utama sistem berada pada proses deteksi gas oleh sensor, bukan pada komunikasi jaringan. Dengan kata lain, setelah sensor memutuskan kondisi bahaya, informasi dapat diteruskan ke pengguna melalui Telegram hampir secara seketika.

Perlu diperhatikan bahwa ambang deteksi sistem pada level *firmware* ditetapkan pada nilai ADC 850, ekuivalen dengan konsentrasi gas sekitar 10 PPM. Pada pengujian nomor 5, nilai sensor sebesar 863 sudah berada sedikit di atas ambang batas sehingga sistem tetap memasuki kondisi DANGER. Namun karena nilainya sangat dekat dengan ambang, diperlukan waktu lebih lama hingga rata-rata pembacaan sensor stabil melewati batas deteksi, sehingga waktu respons tercatat 21 detik. Kondisi ini konsisten dengan penerapan pemfilteran rata-rata 10 sampel dan algoritma histeresis pada perangkat lunak untuk mengurangi alarm palsu akibat fluktuasi pembacaan di sekitar ambang batas.

Pengujian ini juga menunjukkan bahwa LED dan buzzer sebagai alarm lokal aktif segera setelah sistem memasuki state DANGER, sedangkan notifikasi Telegram dikirim secara asinkron menggunakan task FreeRTOS sehingga tidak mengganggu proses pembacaan sensor. Dengan demikian, sistem telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu mampu mendeteksi kebocoran gas dan memberikan peringatan secara cepat baik melalui indikator lokal maupun notifikasi jarak jauh.

Meskipun sistem berhasil mendeteksi kebocoran gas pada seluruh skenario pengujian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena seluruh pengujian dilakukan pada tekanan gas konstan sebesar 2 bar dan setiap kondisi hanya diuji satu kali. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian berulang pada berbagai variasi tekanan gas agar diperoleh analisis statistik yang lebih komprehensif.

4.5 Dokumentasi Pengujian Alat

Untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai proses validasi sistem, bagian ini mendokumentasikan tahapan pengujian fisik dan pengujian fungsional perangkat lunak. Pengujian dirancang untuk mereplikasi skenario lingkungan produksi (*real-world scenario*) seakurat mungkin.

1. Simulasi Kebocoran Menggunakan Gas Portabel

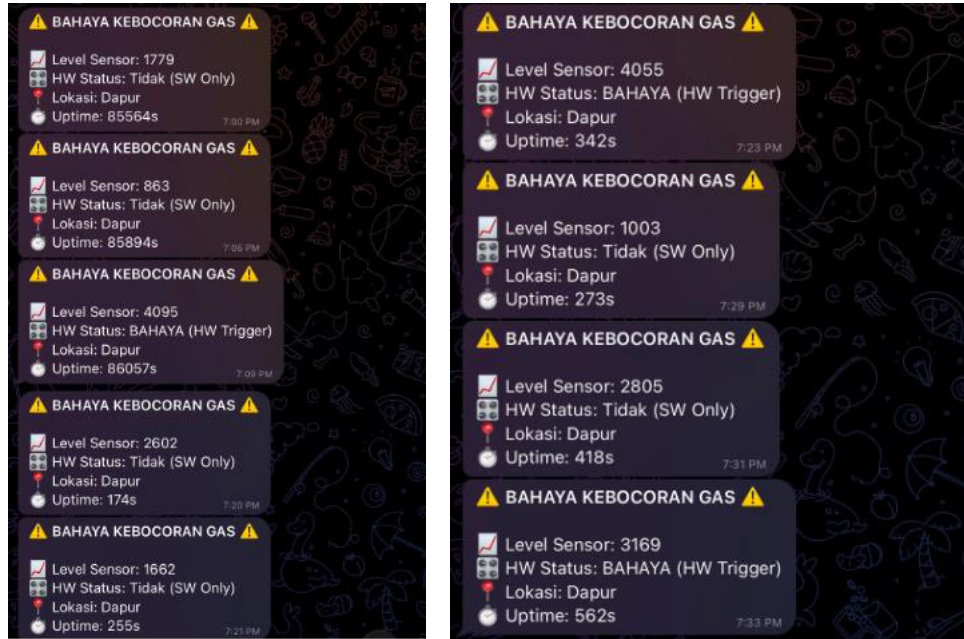


Gambar 4. 1 Dokumentasi Simulasi Gas Bocor

Pada dokumentasi *setup* perangkat keras, simulasi kebocoran dilakukan dalam lingkungan yang terkendali menggunakan instrumen pneumatik berupa tabung gas portabel, katup kontrol (*solenoid valve*), dan pengukur tekanan (*pressure gauge*). Penggunaan gas portabel sebagai subjek uji merupakan pendekatan yang secara teknis valid. Hal ini dikarenakan gas portabel (termasuk gas pada korek api) memiliki komposisi senyawa hidrokarbon utama seperti butana dan propana, yang identik dengan karakteristik Liquefied Petroleum Gas (LPG) atau gas rumah tangga yang menjadi target utama sistem deteksi ini.

Melalui *setup* ini, gas diinjeksikan secara presisi ke dalam struktur tabung (*chamber*) tempat sensor MQ-2 ditempatkan. Metode ini memungkinkan pengujian yang terukur terhadap sensitivitas pembacaan nilai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) sensor dan waktu respon sistem tanpa harus menciptakan kebocoran gas rumah tangga skala besar yang berbahaya.

2. Sistem Peringatan Dini dan Telemetry via Telegram



Gambar 4. 2 Dokumentasi Notifikasi Telegram

Fase pengujian krusial berikutnya adalah validasi sistem komunikasi asinkron antara mikrokontroler (*edge device*) dengan pengguna melalui *cloud messaging* Telegram. Dokumentasi tangkapan layar membuktikan bahwa sistem *alerting* beroperasi secara optimal dan stabil. Ketika konsentrasi gas melampaui ambang batas (*threshold*) keamanan, mikrokontroler dengan tingkat latensi rendah langsung mengirimkan *payload* peringatan "BAHAYA KEBOCORAN GAS".

Pesan notifikasi yang dirancang telah mengadopsi standar *monitoring* sistem yang informatif dan terstruktur, memuat parameter penting berikut:

- **Level Sensor (0-4095):** Menampilkan nilai *raw* pembacaan sensor secara *real-time* untuk menganalisis tingkat keparahan (*severity*) paparan gas.
- **HW Status:** Mengindikasikan respon dari *hardware* lokal (misalnya status "BAHAYA (HW Trigger)" menandakan aktuator lokal seperti *buzzer* peringatan ikut menyala secara otomatis).

- **Lokasi:** Mengidentifikasi zona terjadinya kebocoran (contoh: "Dapur"), yang sangat krusial untuk memudahkan lokalisasi masalah apabila sistem ini dikembangkan menjadi jaringan sensor multi-titik (*multi-node*).
 - **Uptime:** Menampilkan durasi aktif mikrokontroler sejak *boot* terakhir, yang berguna untuk pemantauan stabilitas daya dan operasional perangkat.
- Secara keseluruhan, dokumentasi pengujian ini membuktikan bahwa alur arsitektur sistem, mulai dari pembacaan data lingkungan oleh sensor analog, pemrosesan logika di mikrokontroler, hingga distribusi notifikasi telemetri berhasil berjalan secara terintegrasi dan responsif sesuai dengan spesifikasi rancangan.