



**Journal of Mechanical Engineering Education**

Available online at <https://ejournal.upi.edu/index.php/jmee>



## STUDENT MANUAL : TESTING A HYDROCARBON REFRIGERANT LEAK DETECTOR WITH ARDUINO NANO AND MQ-2 SENSOR

**Ibnu Nur Akhsan<sup>1\*</sup>, Basuki Wibawa<sup>2</sup>**

Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Ilmu Pendidikan

Alamat Afiliasi; Jl. R.Mangun Muka Raya No.11, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13220

[Ibnu.nur.akhsan@mhs.unj.ac.id](mailto:Ibnu.nur.akhsan@mhs.unj.ac.id) \*; [bwibawa@unj.ac.id](mailto:bwibawa@unj.ac.id)

### ABSTRACT/ABSTRAK

This research aims to address public concerns regarding the use of hydrocarbon refrigerants, which are prone to leakage and have the potential to cause explosions and fires. Therefore, a hydrocarbon refrigerant gas leak detector was developed using the MQ-2 sensor for accurate detection. This device utilizes an Arduino Nano microcontroller to detect the gas. The manufacturing method includes both hardware and software development. The results show that this device is effective in detecting leaks by measuring the PPM (parts per million) values from five sensors, producing 70 buzzer sounds in 20 minutes when 105 grams of hydrocarbon refrigerant is released, and the device temperature reaches 30°C. The visual indicator provides "safe" and "leak" statuses at a pressure of 130 Psi, and the light indicator remains on during testing. In conclusion, this device improves the maintenance procedures of hydrocarbon refrigerants in refrigeration systems, giving users peace of mind because leaks can be detected with sound and visual indicators every 17 seconds.

Penelitian ini bertujuan mengatasi kekhawatiran masyarakat terhadap penggunaan refrigeran hidrokarbon yang rentan terjadi kebocoran dan berpotensi menyebabkan ledakan serta kebakaran. Untuk itu, dikembangkan alat pendeteksi kebocoran gas refrigeran hidrokarbon dengan sensor MQ-2 untuk deteksi yang akurat. Alat ini menggunakan mikrokontroler Arduino Nano untuk mendeteksi gas tersebut. Metode pembuatannya mencakup pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak. Hasilnya menunjukkan alat ini efektif mendeteksi kebocoran dengan mengukur nilai PPM (*parts per million*) dari lima sensor, menghasilkan 70 bunyi buzzer dalam 20 menit saat 105 gram refrigeran hidrokarbon terbuang, dan suhu perangkat mencapai 30°C. Indikator visual memberikan status "aman" dan "bocor" dengan tekanan 130 Psi, dan indikator cahaya menyala selama pengujian. Kesimpulannya, alat ini meningkatkan prosedur pemeliharaan refrigeran hidrokarbon pada sistem refrigerasi, memberikan rasa aman kepada pengguna karena kebocoran dapat terdeteksi dengan jeda indikator bunyi dan visualisasi setiap 17 detik.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

*Submitted/Received*  
02 July 2024

*First Revised*  
08 July 2024

*Accepted*  
15 July 2024

*Online Date*  
18 July 2024

*Publication Date*  
18 July 2024

#### Keywords:

*Deteksi Kebocoran; Refrigerant Hidrokarbon; Panduan Siswa; Arduino; IoT*

#### Kata kunci:

*Kata kunci: Leak Detecto; Refrigerant ; Hydrocarbon; student manual; Arduino; IoT*

## 1. PENDAHULUAN

Refrigeran hidrokarbon seperti R290, R600a, dan R1270 semakin diminati sebagai alternatif ramah lingkungan untuk HFC (*Hydro Fluoro Carbons*) seperti R134a. Zat ini dipilih karena memiliki ODP (*Ozone Depletion Potential*) nol, GWP (*Global Warming Potential*) sangat rendah, dan sifat termodinamika yang baik, membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi pendinginan (Ghanbarpour et al., 2021). HFC berdampak negatif terhadap lingkungan, meskipun memiliki ODP nol, zat ini memiliki GWP tinggi yang berkontribusi pada pemanasan global (Kruzel et al., 2022). Penelitian eksperimental menunjukkan bahwa sistem refrigerasi dengan hidrokarbon dapat menggantikan R134a secara efektif (Gugulothu, 2021). Analisis energi dan eksergi juga mendukung penggunaan refrigeran hidrokarbon dalam sistem kompresi uap. Meski mudah terbakar, refrigeran hidrokarbon lebih ramah lingkungan dibandingkan HFC, sehingga lebih direkomendasikan untuk masa depan (Dwinanto et al., 2021). Namun kenyataannya refrigeran sintetis seperti R134a dan R22 sering digunakan dalam sistem pendingin rumah tangga, seperti AC dan lemari es, namun memiliki dampak lingkungan yang signifikan. R22, misalnya, memiliki ODP tinggi yang merusak lapisan ozon (Nugroho et al., 2022), sedangkan R134a memiliki GWP tinggi yang berkontribusi pada perubahan iklim (Dilshad et al., 2020). Refrigeran sintetis seperti R134a dan R22 memiliki dampak signifikan yang buruk terhadap lingkungan karena dapat merusak lapisan ozon dan menyebabkan pemanasan global (Nugroho et al., 2022). Meskipun efektif meningkatkan kinerja pendinginan, refrigeran sintetis berdampak negatif terhadap lingkungan, termasuk peningkatan suhu global dan kerusakan ozon (Son et al., 2021). Oleh karena itu, ada upaya untuk menggantinya dengan alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti refrigeran hidrokarbon (Nugroho et al., 2022).

Risiko kebakaran dan ledakan adalah kendala utama dalam penggunaan luas refrigeran hidrokarbon (Ghanbarpour et al., 2021). Padahal, Syarat terbakarnya suatu zat bergantung pada jumlah muatan dan kondisi lingkungan seperti kelembaban dan suhu udara. Beberapa solusi yang diusulkan untuk mengatasi masalah ini meliputi alarm kebocoran gas, detektor, sensor ultrasonik, dan perangkat ventilasi, meskipun implementasinya bisa mahal dan rumit (Adelekan et al., 2023). Oleh karena itu, meskipun lebih ramah lingkungan, tantangan keamanan masih menjadi hambatan utama untuk penggunaan luas hidrokarbon.

Perguruan tinggi yang memiliki pengetahuan dalam bidang sains dan teknologi berpotensi memberikan solusi melalui perantara mahasiswa dan pengajar. Penting bagi

mahasiswa untuk mampu membuat dan menguji alat pendeteksi refrigeran hidrokarbon dengan Arduino Nano dan sensor MQ-2, karena alat ini dapat mendeteksi kebocoran gas secara real-time dan memberikan edukasi kepada masyarakat tentang solusi penggunaan refrigeran hidrokarbon. Alat ini dapat memberikan peringatan dini melalui notifikasi SMS atau email, sehingga risiko kebakaran dan ledakan dapat diminimalisir (Praveen Sharma et al., 2023). Penggunaan arduino nano dan sensor MQ-2, mahasiswa dapat merancang sistem yang tidak hanya mendeteksi kebocoran gas tetapi juga mengirimkan data ke *platform cloud* untuk visualisasi dan manajemen yang lebih baik. Teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya keamanan dalam penggunaan refrigeran hidrokarbon dan memberikan solusi praktis untuk mengatasi risiko yang terkait (Haglan & Jasim Ali, 2021).

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dipaparkan, maka pertanyaan penelitian meliputi bagaimana mahasiswa merancang sistem *hardware* dan *software* untuk alat deteksi kebocoran refrigerant hidrokarbon menggunakan arduino nano dan sensor MQ-2? Bagaimana flowchart sistem pendeteksi kebocoran disusun? Bagaimana rangkaian kelistrikan yang diperlukan? Bagaimana kondisi sensor dan komponen selama pengujian? Bagaimana metode pengujian indikator *buzzer* dalam rentang waktu tertentu? Bagaimana analisis nilai PPM kebocoran refrigeran pada lima sensor yang digunakan?

Penelitian "Student Manual: Testing a Hydrocarbon Refrigerant Leak Detector with Arduino Nano and MQ-2 Sensor" menawarkan berbagai manfaat penting. Pertama, penelitian ini meningkatkan kesadaran akan pentingnya deteksi dini kebocoran gas untuk mencegah risiko kebakaran dan ledakan. Kedua, penggunaan Arduino Nano dan sensor MQ-2 memungkinkan pembuatan alat yang efisien dan berbiaya rendah, sehingga terjangkau oleh berbagai kalangan (Praveen Sharma et al., 2023). Ketiga, sistem ini bisa mengirim notifikasi melalui SMS atau email, memungkinkan respons cepat terhadap kebocoran gas. Keempat, penelitian ini berfungsi sebagai materi edukasi bagi mahasiswa dalam memahami teknologi IoT dan aplikasinya (Hussien et al., 2020). Kelima, alat ini dapat terintegrasi dengan *platform cloud* untuk visualisasi dan manajemen data yang lebih baik, memudahkan pemantauan secara real-time. Keenam, penelitian ini membantu pengembangan sistem keamanan yang lebih canggih untuk lingkungan rumah tangga, komersial, dan industri. Ketujuh, hasil penelitian ini menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut di bidang deteksi gas dan keamanan lingkungan (Baballe et al., 2021).

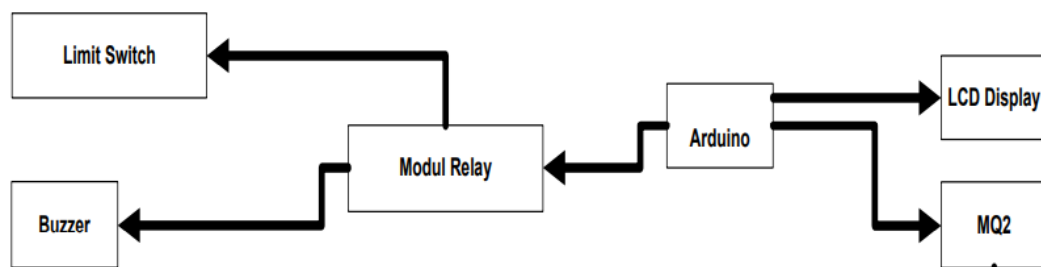
## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam edukasi pembuatan dan pengujian kelayakan alat pendeteksi refrigeran hidrokarbon dengan arduino nano dan sensor MQ-2 kepada mahasiswa mencakup beberapa tahapan penting. Tahapan ini meliputi perancangan sistem *hardware* dan *software*, pembuatan *flowchart* sistem deteksi kebocoran, perancangan rangkaian kelistrikan, serta pengujian kondisi sensor dan komponen. Sistem *hardware* menggunakan arduino nano sebagai mikrokontroler utama dan sensor MQ-2 untuk mendeteksi kebocoran gas (Anuradha et al., 2020). Sistem *software* dikembangkan untuk mengolah data sensor dan mengirimkan notifikasi (Baballe et al., 2021), seperti *buzzer* sebagai indikator suara, LED sebagai indikator cahaya, dan LCD untuk tampilan visual. *Flowchart* dibuat untuk memetakan alur kerja dari deteksi kebocoran hingga pengiriman notifikasi. Rangkaian kelistrikan dirancang agar semua komponen terhubung dengan benar dan mendapatkan suplai daya yang stabil. Kondisi sensor dan komponen dipantau selama pengujian untuk memastikan keandalan dan akurasi alat. Pengujian *buzzer* dilakukan dalam rentang waktu tertentu untuk memastikan respon cepat terhadap kebocoran. Analisis nilai PPM kebocoran refrigeran dilakukan pada lima sensor untuk mendapatkan data yang akurat dan konsisten.

## 3. HASIL PENELITIAN

### 3.1 Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan ini meliputi peancangan *hardware*, pada perancangan perangkat keras ini dijelaskan bagaimana penyusunan perangkat keras yang digunakan pada alat pendeteksi kebocoran ini melalui diagram blok secara keseluruhan. Keterkaitan komponen ditunjukkan oleh Gambar 1 berikut.

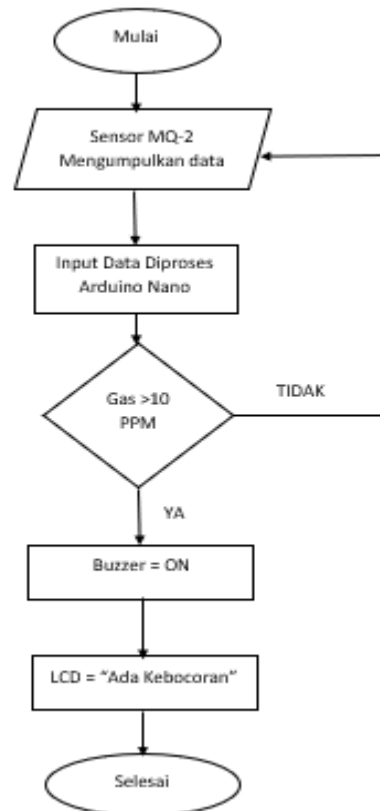


Gambar 1 Diagram Blok Perangkat Alat Pendeteksi Kebocoran Gas Refrigerant Hidrokarbon

### 3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Pada perancangan perangkat lunak menggunakan program arduino yang digunakan dalam membuat Listing Program dan menyimpannya dalam ekstensi IDE, serta *Boot loader* yang digunakan sebagai media pengupload program yang telah dibuat ke mikro kontroler arduino nano, sehingga mikro kontroler dapat bekerja sesuai program yang dirancang sebelumnya.

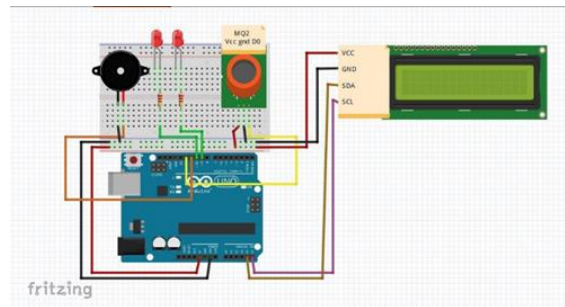
### 3.3 Flowchart Sistem



Gambar 2 Flowchart & Mekanisme cara kerja alat

### 3.4 Rangkaian Kelistrikan

Sebelum membuat program dengan bahasa C untuk sistem. Dibuat terlebih dahulu kelistrikan sistem, tujuannya agar desain ini menjadi acuan pembuatan program. Sensor MQ-2 akan mengirimkan data yang terkumpul dan diproses di mikro kotroler apakah PPM gas yang terukur >10 atau tidak jika “ya” maka *buzzer* akan berbunyi dan cahaya lampu LED merah akan menyala. Jika “tidak” maka LED tidak akan menyala dan *buzzer* tidak akan berbunyi dan MQ-2 akan terus mengumpulkan data diulang seperti Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3 Rangkaian Kelistrikan Perangkat Alat Pendeteksi Gas Refrigerant Hidrokarbon

### 3.5 Kondisi Sensor & Komponen Alat

Setelah proses pengujian didapatkan hasil kondisi dari sensor MQ-2 pada Tabel 1 berikut. Sensor tetap berfungsi dengan baik setelah proses pengujian dengan ditandai pada uji percobaan deteksi sensor dengan gas tabung Hi-cook.

**Tabel 1 Kondisi Sensor MQ-2**

No	Sensor MQ-2	Out put	
		Buzzer	Notifikasi
1.	Tidak mendeteksi gas refrigerant hidrokarbon	Tidak Berbunyi	aman
2.	Mendeteksi gas refrigerant hidrokarbon	Berbunyi	Bocor

Setelah dilakukan proses pengujian didapati kondisi komponen alat deteksi kebocoran gas refrigerant hidrokarbon. Semua Komponen berfungsi dengan baik pasca proses pengujian dengan ditunjukkan pada Tabel 2

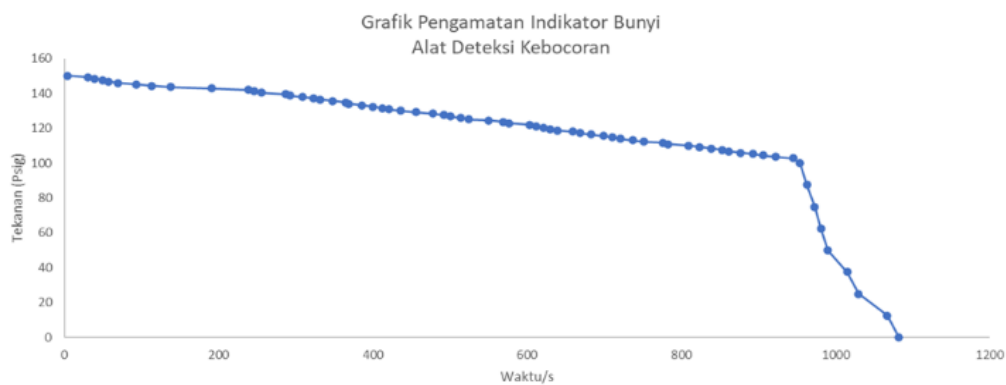
**Tabel 2 Kondisi Komponen Pasca Pengujian**

No	Komponen	Hasil	
		Berfungsi	Tidak Berfungsi
1.	Arduino	√	-
2.	Modul Relay	√	-
3.	MQ-2	√	-
4.	Buzzer	√	-
5.	Switch	√	-
6.	LED	√	-
7.	LCD	√	-
8.	Adaptor	√	-

## 4 PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Indikator *Buzzer*

Pada eksperimen ini, terlihat pada gambar 4 sebelum kebocoran terjadi, mini kondenser menunjukkan status "aman" di LCD dengan nilai PPM di bawah 10 pada lima sensor, tanpa bunyi *buzzer*. Selama pengujian 20 menit, saat refrigeran hidrokarbon mulai bocor perlahan dan tekanan turun dari 150 Psig ke 100 Psig, *buzzer* berbunyi 62 kali dalam 18 menit. Ketika tekanan turun lebih lanjut dari 90 Psig ke 0 Psig, kebocoran meningkat dan *buzzer* berbunyi 8 kali dalam 2 menit. Total 70 bunyi *buzzer* tercatat dalam 20 menit hingga refrigeran habis, menunjukkan alat ini berfungsi dengan baik. Hasil ini konsisten dengan penelitian Ahmad Baballe tentang pentingnya penyimpanan data konsentrasi gas untuk penilaian risiko (Baballe et al., 2021), dan penelitian Budiyanto yang menemukan *buzzer* berbunyi jika konsentrasi LPG lebih dari 30% (Budiyanto et al., 2020).



Gambar 4 Indikator Bunyi Buzzer dalam rentang waktu 20 menit/105 gram gas Refrigerant

Penelitian Fajar mendukung bahwa tekanan dan temperatur gas mempengaruhi kinerja sistem (Fajar et al., 2021), sementara Madyira dan Moham Ed Abdur menekankan pentingnya pengukuran suhu dan tekanan yang akurat serta dampak negatif pengotor (Razzaq & Ahamed, 2020; MaDyira & BaBarinDe, 2024). Kesimpulannya, sistem deteksi kebocoran ini sederhana namun andal, seperti yang ditunjukkan dalam penelitian Ahmad Baballe dengan alarm yang berbunyi untuk mendeteksi kebocoran.

### 4.2 Analisis Nilai PPM

Pada penelitian ini, ketidaksesuaian angka PPM yang ditampilkan Tabel 3 dengan indikator tulisan pada LCD terjadi karena sistem alat menggunakan lima sensor dengan jeda 1 detik antar sensor, meningkatkan kemungkinan bug pada nilai PPM yang ditampilkan. Namun, indikator LED dan tulisan tetap berfungsi baik, menunjukkan



kebocoran gas hidrokarbon dari awal hingga akhir pengujian, meskipun indikator tulisan memiliki jeda 15-17 detik. Hal ini sejalan dengan penelitian Daruwati yang menyebutkan bahwa kondisi ruang mempengaruhi sensitivitas sensor MQ-2 dan pengotor dapat mengganggu akurasi pengukuran (Daruwati et al., 2021). Penelitian Anuradha juga mendukung, dengan sistem yang mendeteksi gas cair pada konsentrasi 200-10.000 PPM menggunakan *buzzer* dan LCD sebagai peringatan (Anuradha et al., 2020). Kesimpulannya, meskipun sederhana, sistem ini andal dalam mendeteksi kebocoran.

**Tabel 3 Analisis Nilai PPM Kebocoran Refrigerant pada 5 Sensor**

Waktu/Detik	Suhu/C	Tekanan	Sensor 1/ppm	Sensor 2/ppm	Sensor 3/ppm	Sensor 4/ppm	Sensor 5/ppm	Indikator	Cahaya
2	25.02	130	1.06	2.36	1.21	2.36	0.14	Aman	1
4	25.8	130	1.50	1.84	1.28	2.43	0.14	Aman	1
6	26.5	130	1.50	1.84	1.28	7.46	0.14	Bocor	1
8	26.1	130	1.50	1.84	1.28	7.46	0.14	Bocor	1
10	25.7	130	1.50	1.84	1.28	7.46	0.14	Bocor	1
12	26.4	130	1.98	3.64	1.28	7.46	0.14	Bocor	1
14	26.1	130	1.98	3.64	1.06	0	1.18	Bocor	1
16	25.7	130	1.98	3.64	1.06	0	1.18	Aman	1
18	26.1	130	1.93	2	1.40	0	1.18	Aman	1
20	30	130	1.93	2	1.40	0	1.18	Aman	1
22	26.4	130	0.61	1.32	1.31	3.96	1.18	Aman	1
24	26.4	130	0.61	1.32	1.31	3.96	1.18	Aman	1
26	26.4	130	0.61	1.32	1.31	3.96	1.72	Aman	1
28	27	130	1.50	1.32	1.31	3.96	1.72	Aman	1
30	26.5	130	1.50	2	1.07	0.36	1.35	Aman	1
32	25.8	130	1.50	2	1.07	0.36	1.35	Aman	1
34	25.9	130	1.42	1.92	1.07	0.36	1.35	Aman	1
36	26.4	130	1.42	1.92	1.37	8.30	4.34	Aman	1
38	26.4	130	1.42	1.92	1.37	8.30	4.34	Bocor	1
40	26.4	130	1.42	1.92	1.37	8.30	4.43	Bocor	1
42	26.1	130	1.27	0.78	1.37	8.30	4.34	Bocor	1
44	26.1	130	1.27	0.78	1.37	8.30	4.34	Bocor	1
46	28.6	130	1.27	0.78	1.07	8.30	5.02	Bocor	1
48	30	130	1.66	0.78	1.07	8.30	5.02	Bocor	1
50	27	130	1.66	1.12	1.26	5.91	1.72	Aman	1
52	27	130	1.66	1.12	1.26	5.91	1.72	Aman	1
54	27.5	130	1.31	1.60	1.26	5.91	1.72	Aman	1
56	27.4	130	1.31	1.60	1.37	9.20	1.18	Aman	1
58	27	130	1.31	1.60	1.37	9.20	1.18	Aman	1
60	27	130	1.31	1.60	1.37	9.20	1.18	Aman	1

#### 4.3 Pengujian Sensor

Pada eksperimen pemeriksaan pasca pengujian (Gambar 5), sensor MQ-2 dicek menggunakan gas refrigerant hidrokarbon MC-22, gas korek api, dan gas Hi-cook. Sensor tetap berfungsi normal dan efektif mendeteksi gas refrigerant hidrokarbon meskipun sebelumnya mendeteksi gas yang berbeda. Fakta ini sejalan dengan penelitian Daruwati yang menyatakan bahwa sensor MQ-2 memiliki sensitivitas yang baik dan dapat digunakan berulang kali. Meskipun kondisi ruang dan jarak sensor dengan sumber gas mempengaruhi sensitivitas, sensor tetap menunjukkan akurasi dan kemampuan repeatability (Daruwati et al., 2021). Penelitian Hussein juga mendukung temuan ini dengan menyatakan bahwa sistem bekerja andal baik secara independen maupun dengan intervensi manusia, meskipun adanya pengotor dapat mempengaruhi keakuratan



pengukuran (Hussien et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa sensor MQ-2 memiliki kemampuan untuk mendeteksi berbagai jenis gas dengan perubahan konduktivitas yang sesuai dengan konsentrasi gas yang terdeteksi.



Gambar 5 Pengujian Sensor Alat pada Mini Kondenser

## 5 KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah pembuatan dan praktik pengujian *buzzer* (indikator suara), pengujian PPM, dan pengujian sensor alat pendeteksi refrigeran hidrokarbon bagi mahasiswa dan masyarakat sangat penting dalam meningkatkan pemahaman dan kesadaran akan keselamatan serta efisiensi energi. Pengujian *buzzer* memberikan peringatan dini terhadap kebocoran gas, yang sangat penting untuk mencegah potensi bahaya kebakaran atau ledakan. Pengujian PPM memungkinkan deteksi konsentrasi gas yang akurat, sehingga dapat memastikan bahwa lingkungan tetap aman dan sesuai dengan standar kesehatan. Selain itu, pengujian sensor alat pendeteksi refrigerant hidrokarbon memberikan wawasan tentang efektivitas dan keandalan sensor dalam berbagai kondisi, yang penting untuk aplikasi praktis di industri dan rumah tangga. Praktik ini juga mendukung pengembangan teknologi ramah lingkungan dengan menggunakan refrigeran yang lebih aman dan efisien. Dengan demikian, mahasiswa dapat memperoleh keterampilan praktis yang relevan, sementara masyarakat mendapatkan manfaat dari peningkatan keselamatan dan efisiensi energi.

## 6 UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia melalui Program Magister Menuju Doktor Untuk Sarjana Unggul (PMDSU). Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan keuangan yang telah membuat penelitian

ini dapat terlaksana. Terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan membimbing selama penelitian ini berlangsung.

## 7 REFERENSI

- Adelekan, D. S., Ohunakin, O. S., Oseahon, O. I., Nekabari, F. N., Nkiko, M. O., & Odunfa, M. K. (2023). Performance of hydrocarbon refrigerants in a refrigerator with liquid line magnet and CNT nano-lubricant. *Heliyon*, 9(10).
- Anuradha, P., Arabelli, R. R., Rajkumar, K., & Ravichander, J. (2020, December). Microcontroller based monitoring and controlling of LPG leaks using Internet of Things. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 981, No. 3, p. 032021). IOP Publishing.
- Baballe, M. A., Magashi, U. Y., Garko, B. I., Umar, A. A., Magaji, Y. R., & Surajo, M. (2021). Automatic gas leakage monitoring system using MQ-5 Sensor. *Review of Computer Engineering Research*, 8(2), 64–75.
- Budianto, A., Dipta, I. M. Y., & Iman, A. N. (2020, April). Development of Liquefied Petroleum Gas (LPG) leakage detection wheeled robot on horizontal pipes based on Arduino Uno. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1511, No. 1, p. 012087). IOP Publishing.
- Dilshad, S., Kalair, A. R., & Khan, N. (2020). Review of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) based heating and cooling technologies: Past, present, and future outlook. *International Journal of Energy Research*, 44(3), 1408-1463.
- Dwinanto, M. M., Limbong, I. S., & Adoe, D. G. H. (2021, September). Analysis of the performance of air blast freezer by using hydrofluorocarbon and hydrocarbon refrigerants. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2017, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- Daruwati, I., Hatika, R. G., & Mardiansyah, D. (2021, October). MQ-2 gas sensor using micro controller arduino uno for LPG leakage with short message service as a media information. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2049, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.
- Fajar, T. B., Suryo, M. T., & Winoto, S. H. (2021, February). Simulation of mixing synthetic with hydrocarbons refrigerant to reduce the value of global warming potential with refprop software. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1764, No. 1, p. 012158). IOP Publishing.
- Ghanbarpour, M., Mota-Babiloni, A., Badran, B. E., & Khodabandeh, R. (2021). Energy, exergy, and environmental (3E) analysis of hydrocarbons as low GWP alternatives to R134a in vapor compression refrigeration configurations. *Applied Sciences*, 11(13), 6226.
- Gugulothu, S. K. (2021). Enhancement of household refrigerator energy efficiency by studying the effect of refrigerant charge and capillary tube length. *Journal of Thermal Engineering*, 7(5), 1121–1129.

- Haglan, H. M., & Jasim Ali, H. (2021). An automatic system for detecting voltage leaks in houses to save people's lives. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 21(3), 1485–1492.
- Hussien, N. M., Mohialden, Y. M., Ahmed, N. T., Mohammed, M. A., & Sutikno, T. (2020). A smart gas leakage monitoring system for use in hospitals. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19(2), 1048–1054.
- Kruzal, M., Bohdal, T., Dutkowski, K., Kuczyński, W., & Chliszcz, K. (2022). Current research trends in the process of condensation of cooling zeotropic mixtures in compact condensers. *Energies*, 15(6), 2241.
- MaDyira, D. M., & BaBarinDe, T. O. (2024). Exergy analysis of titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) suspended with R290/R600 as a substitute for R134a. *Archives of Metallurgy and Materials*, 237-243.
- Nugroho, A., Nurkholis, A., Maulana, R. A., & Priangkoso, T. (2022, February). The effect of retrofitted refrigerant and environmental temperature on the performance of air conditioner: an experimental study. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 997, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Razzaq, M. E. A., & Ahamed, J. U. (2020). Thermodynamic analysis of an air conditioner using R22/HC blend with TiO<sub>2</sub>/Mineral oil nanolubricant to retrofit R22/POE oil. *Results in Engineering*, 8, 100166.
- Sharma, V. P., Raman, D., Padmavathi, V., & Gurram, G. V. R. (2023). IoT based gas leakage detection system using GPS. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 391, p. 01064). EDP Sciences.
- Son, Y. J., Suh, J. W., Yang, H., Lee, K. Y., Lee, S. W., Yoon, J., & Choi, Y. S. (2021). Similarity model for predicting the performance of an R718 compressor. *Advances in Mechanical Engineering*, 13(9), 16878140211050797.