

Rancang Bangun Alat Surveyor Gua Berbasis Arduino Nano

Ahmad Akmal Abrori^{*1}, Misbah², Rini Puji Astutik³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammdiyah Gresik

^{*1}e-mail: Ahmadakmalabrori@gmail.com

ABSTRAK

Gua merupakan fenomena alam bawah tanah yang memiliki nilai ilmiah, estetika, serta potensi wisata dan penelitian. Dalam eksplorasi gua, surveyor menghadapi risiko paparan gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂) dan kekurangan oksigen (O₂). Deteksi konvensional menggunakan lilin atau korek api dinilai kurang akurat dan tidak memberikan data kuantitatif. Penelitian ini mengembangkan alat pemantau keselamatan berbasis mikrokontroler *Arduino Nano* untuk mendeteksi kadar CO₂ dengan sensor MQ-135 dan kadar O₂ dengan sensor KE-25. Selain itu, alat dilengkapi dengan sensor DHT-22 untuk memantau suhu dan kelembapan, serta modul RTC DS3231 dan *SD card* untuk pencatatan data *real-time*. Pengujian dilakukan di Gua Giri Gajah (Gresik) dan Gua Abar (Lamongan). Hasil menunjukkan alat mampu memberikan informasi akurat terkait kadar gas dan lingkungan gua, serta memberikan peringatan dini melalui *buzzer* bila ditemukan kondisi berbahaya. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan keselamatan penelusuran gua dan mendukung penelitian biospeleologi. Beberapa keterbatasan alat seperti akurasi sensor CO₂ dan kebutuhan casing tahan air menjadi perhatian untuk pengembangan lebih lanjut.

Kata kunci : *Arduino; gas karbon dioksida; gua; oksigen; sensor*

ABSTRACT

Caves are underground natural phenomena with scientific, aesthetic, tourism, and research value. During cave exploration, surveyors face hazards such as carbon dioxide (CO₂) exposure and oxygen (O₂) deficiency. Traditional detection using candles or matches is inaccurate and lacks quantitative output. This study developed a safety monitoring device using an *Arduino Nano* microcontroller to detect CO₂ levels with an MQ-135 sensor and O₂ levels with a KE-25 sensor. The device also includes a DHT-22 sensor to monitor temperature and humidity, as well as an RTC DS3231 module and *SD card* for real-time data logging. Field testing was conducted in Giri Gajah Cave (Gresik) and Abar Cave (Lamongan). Results indicate that the tool successfully provides accurate information on gas concentrations and cave environments, and issues early warnings through a *buzzer* in hazardous conditions. This research is expected to improve the safety of cave exploration and support biospeleological research. However, the accuracy of the CO₂ sensor and the need for a waterproof casing are key concerns for future development.

Keywords : *Arduino; carbon dioxide gas; cave; oxygen; sensor*

PENDAHULUAN

Gua merupakan salah satu fenomena alam bawah tanah yang memiliki nilai ilmiah, estetika, serta potensi wisata dan penelitian. *International Union of Speleology (IUS)* mengemukakan bahwa gua adalah lubang alami di bawah tanah yang dapat dimasuki oleh manusia. Pandangan ini didukung oleh berbagai kelompok lainnya yang turut memberikan definisi terhadap gua. Dr. R. Ko, salah satu tokoh yang mempopulerkan *speleology* di Indonesia, menyatakan bahwa gua adalah setiap lubang di bawah tanah, baik terang maupun gelap, luas maupun sempit, yang terbentuk melalui sistem percelahan, rekahan, atau aliran sungai yang kadang membentuk lintasan aliran sungai bawah tanah (Laksmiana, 2016).

Dalam proses eksplorasi dan penelitian gua, surveyor gua memainkan peran penting. Mereka melakukan berbagai kegiatan seperti pemetaan lorong gua, penelitian *biospeleology* terhadap makhluk hidup yang berada di dalamnya, serta pengembangan potensi wisata gua. Namun, di balik keindahan dan nilai ilmiah yang dimiliki, terdapat potensi bahaya yang mengintai, salah satunya adalah bahaya paparan gas karbon dioksida (CO₂). Gas ini dapat terakumulasi di dalam gua akibat proses difusi dari tetesan air di dinding dan atap gua, pembusukan akar, ranting, atau daun yang terbawa aliran sungai bawah tanah, serta akibat aktivitas kelelawar

yang memproduksi *guano*. *Guano* yang mengalami fermentasi menghasilkan gas CO_2 dalam jumlah besar. Kelelawar juga membutuhkan banyak oksigen (O_2), sehingga memicu perebutan O_2 antara manusia dan hewan di dalam gua (Mapala Mitapasa, 2022).

Untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya, metode konvensional yang digunakan di lapangan adalah dengan menyalakan lilin atau korek api. Jika keduanya tidak menyala, hal ini mengindikasikan kadar CO_2 tinggi dan kadar O_2 rendah, yang berpotensi menyebabkan keracunan. Namun, pendekatan ini dinilai kurang akurat dan tidak dapat memberikan informasi kuantitatif yang dibutuhkan oleh peneliti maupun penelusur gua.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikembangkan sebuah alat yang dirancang menggunakan *mikrokontroler Arduino Nano* dengan tujuan untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi dalam penelusuran gua. Alat ini mampu mengidentifikasi keberadaan gas CO_2 menggunakan sensor MQ-135, mendeteksi minimnya kadar oksigen dengan sensor KE-25, serta memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya bagi surveyor gua. Tidak hanya itu, alat ini juga dilengkapi dengan sensor DHT-22 untuk memonitor suhu dan kelembapan gua sebagai data tambahan yang berguna dalam pemetaan maupun penelitian *biospeleology*. Selain itu, penambahan modul RTC 3231 dan penyimpanan data pada *SD card* memungkinkan pencatatan waktu, tanggal, dan data lingkungan secara *real-time* dan sistematis.

Penelitian ini memiliki beberapa batasan. Alat yang dirancang diimplementasikan secara langsung di Gua Giri Gajah, Gresik, dan Gua Abar, Lamongan. Fokus utama penelitian adalah memastikan bahwa tidak terjadi kelebihan maupun kekurangan oksigen dan karbon dioksida di dalam gua, serta mengukur dan merekam konsentrasi keduanya, termasuk suhu lingkungan, selama proses penelusuran dan penelitian berlangsung.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mampu mengimplementasikan sistem indikator *safety procedure* dalam kegiatan penelusuran gua guna meningkatkan keamanan dalam kegiatan alam bebas, khususnya eksplorasi gua. Selain itu, alat ini diharapkan dapat menambah data pemetaan maupun penelitian terkait kondisi lingkungan gua yang lebih akurat dan lengkap.

Manfaat dari penelitian ini adalah memperkecil potensi bahaya yang dapat dialami oleh penelusur selama berada di dalam gua, memberikan informasi yang *real-time* terkait perubahan suhu, kelembapan, kadar oksigen, serta kadar karbon dioksida di dalam lorong gua, serta mendorong penerapan teknologi yang lebih canggih dalam kegiatan alam bebas, khususnya eksplorasi dan penelitian gua.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat keras dan lunak untuk menghasilkan alat indikator *safety procedure* dalam penelusuran gua. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, identifikasi masalah, analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem dan perangkat lunak, hingga implementasi dan pengujian alat secara langsung di lapangan.

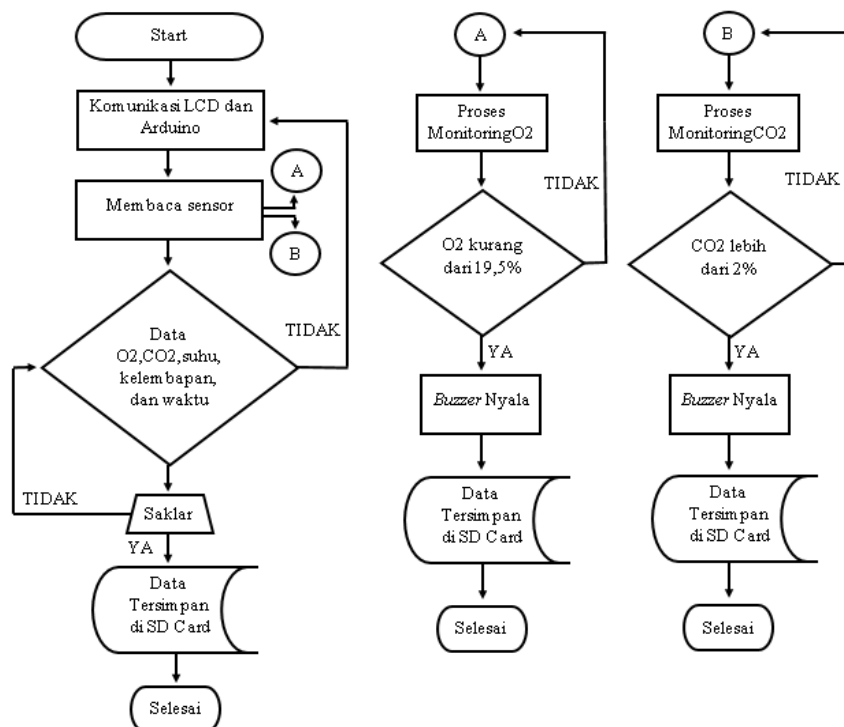
Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep dasar dan teknologi yang relevan, dengan merujuk pada jurnal ilmiah, e-book, dokumentasi teknis, serta artikel daring. Definisi gua yang digunakan mengacu pada pendapat Dr. R. Ko (dalam Laksmana, 2016) dan International Union of Speleology (dalam Mapala Mitapasa, 2022) mengenai gua sebagai lubang alami di bawah permukaan tanah. Literatur terkait teknologi sensor gas, mikrokontroler *Arduino*, serta sistem penyimpanan data digital juga menjadi dasar dalam perancangan alat ini.

Identifikasi masalah dilakukan berdasarkan pengamatan di lapangan, yaitu tingginya risiko bahaya gas karbon dioksida (CO_2) dan rendahnya kadar oksigen (O_2) di dalam gua, serta keterbatasan metode deteksi tradisional. Dari masalah tersebut, dirumuskan kebutuhan untuk membuat sistem monitoring gas yang akurat dan *real-time*.

Analisis kebutuhan sistem meliputi pemilihan sensor yang diperlukan, yaitu sensor oksigen (KE-25), sensor karbon dioksida (MQ-135), serta sensor suhu dan kelembapan (DHT22). Sistem ini juga dilengkapi dengan *Arduino Nano* sebagai pusat kendali, modul waktu nyata (RTC DS3231), penyimpanan data menggunakan *SD card*, serta output berupa LCD 4x20 karakter dan *buzzer* sebagai alarm bahaya.

Desain sistem mencakup penyusunan konsep blok sistem dan diagram integrasi antar-komponen. Pada sisi perangkat keras, sensor oksigen dilengkapi dengan rangkaian buffer berbasis Op-Amp *Non-Inverting*, dengan penguatan sebesar 48,5 kali untuk meningkatkan sensitivitas pembacaan sinyal oleh *Arduino*.

Penempatan komponen dilakukan dengan mempertimbangkan kestabilan pembacaan sensor dan efisiensi penggunaan di lingkungan gua. Di sisi perangkat lunak, *flowchart* sistem dirancang untuk mengatur pembacaan data sensor, pemantauan kadar gas, peringatan bahaya melalui *buzzer*, dan penyimpanan data ke *SD card* sesuai titik pengukuran.



Gambar 1. Flowchart Perancangan Software

Langkah kerja sistem diawali dengan pembacaan kadar CO₂, O₂, suhu, dan kelembapan. Apabila kadar CO₂ melebihi 2% (2000 ppm) atau kadar O₂ turun di bawah 19,5%, *buzzer* akan berbunyi untuk memberikan peringatan kepada pengguna. Data dari seluruh sensor akan tersimpan secara otomatis di dalam *SD card*, baik melalui aktivasi manual menggunakan saklar pada titik-titik pengukuran, maupun secara otomatis ketika terdeteksi kondisi bahaya.

Pengujian sistem dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian laboratorium untuk menguji akurasi sensor terhadap alat ukur standar, dan pengujian lapangan di Gua Giri Gajah (Gresik) serta Gua Abar (Lamongan) untuk mengevaluasi kinerja alat dalam kondisi sesungguhnya.

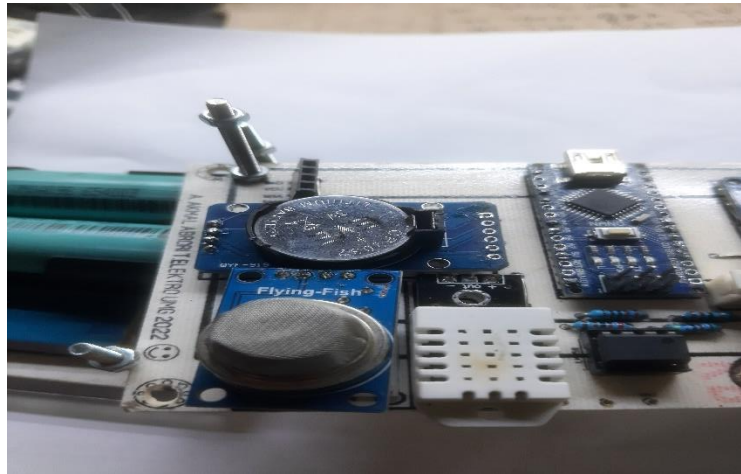
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rancangan Sistem

Rancangan sistem merupakan hasil dari desain elektrik berbagai sensor yang diaplikasikan pada papan PCB dan berfungsi untuk menjalankan perintah-perintah yang telah ditentukan sebelumnya.

1. Hasil Rancangan Sensor Karbon dioksida dan Suhu

Sensor karbon dioksida menggunakan sensor MQ-135 yang secara khusus digunakan untuk pembacaan gas karbon dioksida dengan suplai sensor sebesar 5 VDC dan keluaran sensor berupa sinyal analog. Untuk sensor suhu, digunakan sensor DHT-22 yang memiliki karakteristik suplai sebesar 5 VDC dengan keluaran berupa Digital Output. Hasil rancangan kedua sensor ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor Karbon dioksida dan Suhu

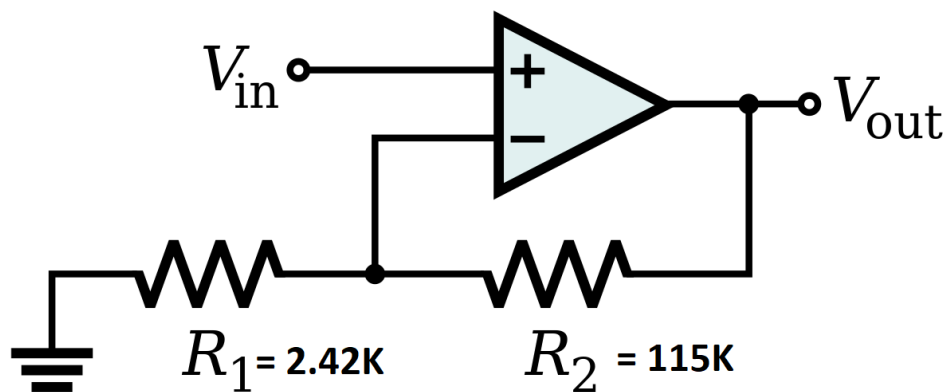
2. Hasil Rancangan Sensor Oksigen

Sensor oksigen yang digunakan dalam sistem monitoring ini adalah sensor KE25 yang memiliki tegangan keluaran maksimal 60mV. Karena tegangan tersebut tergolong kecil, maka dilakukan penguatan sinyal menggunakan Op-amp Non-Inverting dengan penguatan sebesar 48,5 kali menggunakan Op-amp LM358, dengan nilai tahanan $R_g = 2,4 \text{ k}\Omega$ dan $R_f = 115 \text{ k}\Omega$. Rangkaian sensor oksigen dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Sensor Oksigen

Rangkaian penguat menggunakan Op-Amp Non-Inverting yang digunakan dalam sistem ini ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Rangkaian Op-Am Non Inverting

3. Hasil Rancangan Data Logger

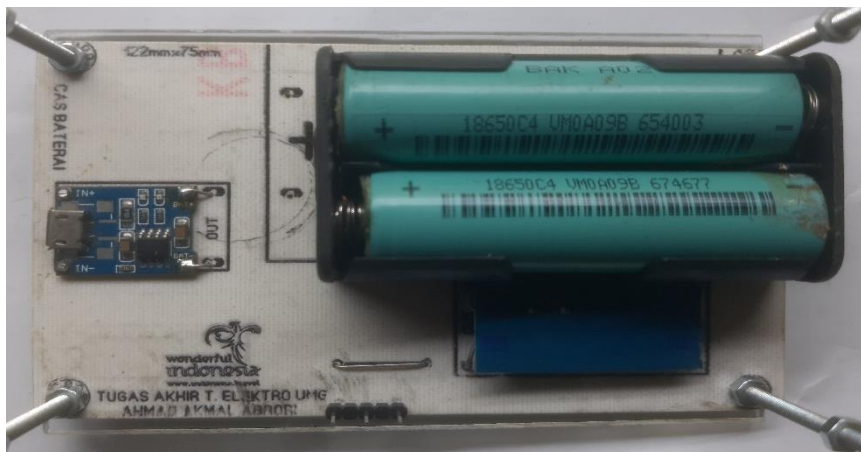
Penyimpanan data pada sistem dilakukan menggunakan modul *SD card*, yang dirangkai seperti terlihat pada Gambar 5. Modul ini dihubungkan ke *Arduino* pada pin VCC, GND, Pin 10 (CS), Pin 11 (MOSI), Pin 12 (MISO), dan Pin 13 (SCK). Modul ini berfungsi untuk membaca dan menulis data pada kartu memori tipe micro SD melalui komunikasi SPI. Data Logger digunakan untuk menyimpan seluruh hasil pengukuran sensor, dengan penyimpanan yang dapat diaktifkan manual melalui saklar, maupun secara otomatis ketika terjadi perubahan signifikan pada nilai karbon dioksida atau oksigen.



Gambar 5. Rangkaian Data Logger

4. Hasil Rancangan Power supply

Power supply merupakan komponen penting yang berfungsi memberikan tegangan input kepada rangkaian alat ini. Sistem ini menggunakan dua buah baterai *rechargeable* 18650 dengan tegangan 4,2 V, dan menggunakan modul Step-Up MT-3608 yang diatur pada output sebesar 5,2V. Selain itu, modul TP4056 digunakan sebagai charger baterai. Rangkaian *power supply* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Power supply

5. Hasil Rancangan Keseluruhan

Desain keseluruhan dari alat ini dapat dilihat pada Gambar 7. Rancangan dibuat sesederhana mungkin untuk mendukung fleksibilitas penggunaan di dalam gua, mengingat banyaknya lorong-lorong sempit. Papan PCB bagian atas digunakan untuk meletakkan sensor-sensor, sedangkan papan PCB bagian bawah digunakan untuk rangkaian *power supply*.



Gambar 7. Hasil Rancangan Keseluruhan

Pengujian Sensor

Pengujian sensor bertujuan untuk memastikan seluruh instruksi dari masing-masing sensor dapat berjalan sesuai dengan perintah yang diinginkan. Data hasil pengujian ini dijadikan acuan dalam penentuan nilai setting proses selanjutnya. Tahap pengujian meliputi pengujian Sensor Suhu DHT22, Sensor Gas MQ-135, Sensor Oksigen KE-25, dan Sensor RTC DS3231.

1. Pengujian Pembacaan Sensor Suhu dan Kelembapan

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor suhu dan kelembapan menggunakan alat ukur berupa termometer digital untuk memastikan akurasi pembacaan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 8.

Tabel 1. Pengujian Pembacaan Sensor Suhu dan Kelembapan

No	Suhu DHT	Suhu Digital	%Error	Kelembapan DHT	Kelembapan Digital	%Error
1	28,0	28,0	0 %	96%	97%	1,03 %
2	27,7	27,8	0,35 %	98%	99%	1,01 %
3	28.8	28,2	2,12 %	99%	99%	0 %
4	28,2	28,2	3,23 %	98%	97%	1,02 %
5	27,5	27,5	0 %	97%	99%	2,02 %

Tabel 1 menunjukkan bahwa %error tertinggi terjadi pada nilai kelembapan sebesar 2,02%, sedangkan nilai error terendah terdapat pada pembacaan suhu dengan error 0,35%.

2. Pengujian Pembacaan Sensor Gas

Pengujian pembacaan sensor gas dilakukan dengan membandingkan nilai gas dan tegangan output sensor, sekaligus mengamati kondisi *buzzer* berdasarkan parameter nilai PPM yang telah ditentukan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Pembacaan Sensor Karbon dioksida

No	Waktu	Tegangan Sensor	Konsentrasi karbon dioksida PPM	Kondisi Buzzer	
				Nyala	Tidak
1	20.15 WIB	607,6 mV	402,41 PPM		✓
2	20.20 WIB	552,4 mV	401,72 PPM		✓
3	20.30 WIB	507,8 mV	401,38 PPM		✓
4	20.35 WIB	515,6 mV	401,48 PPM		✓
5	20.45 WIB	488,8 mV	401,32 PPM		✓

3. Pengujian Pembacaan Sensor Oksigen

Pengujian sensor oksigen dilakukan dengan membandingkan nilai oksigen dan tegangan output sensor serta output Op-Amp. Pengujian ini juga mencakup pemeriksaan kondisi *buzzer* terhadap batas kadar oksigen. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Pembacaan Sensor Oksigen

No	Tegangan Sensor	Tegangan Op-Am	Konsentrasi Oksigen	Kondisi Buzzer	
				Nyala	Tidak
1	13,08 mV	627,88 mV	21,80 %		✓
2	12,98 mV	623,02 mV	21,63 %		✓
3	10,75 mV	515,93 mV	17,91 %	✓	
4	13,08 mV	627,88 mV	21,80 %		✓
5	12,68 mV	608,41 mV	21,13 %		✓

4. Pengujian Pembacaan Sensor RTC

Pengujian sensor RTC dilakukan dengan membandingkan waktu pada RTC dengan waktu aktual, sehingga diketahui tingkat error sensor RTC. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Pembacaan Sensor RTC

No	Waktu	Waktu RTC	Waktu Real	Error
1	0	14.05	14.08	0
2	30 menit	14.35	14.38	0
3	1 jam	15.05	15.07	1 menit
4	2 jam	16.05	16.07	1 menit

Pengujian Keseluruhan dan Analisa

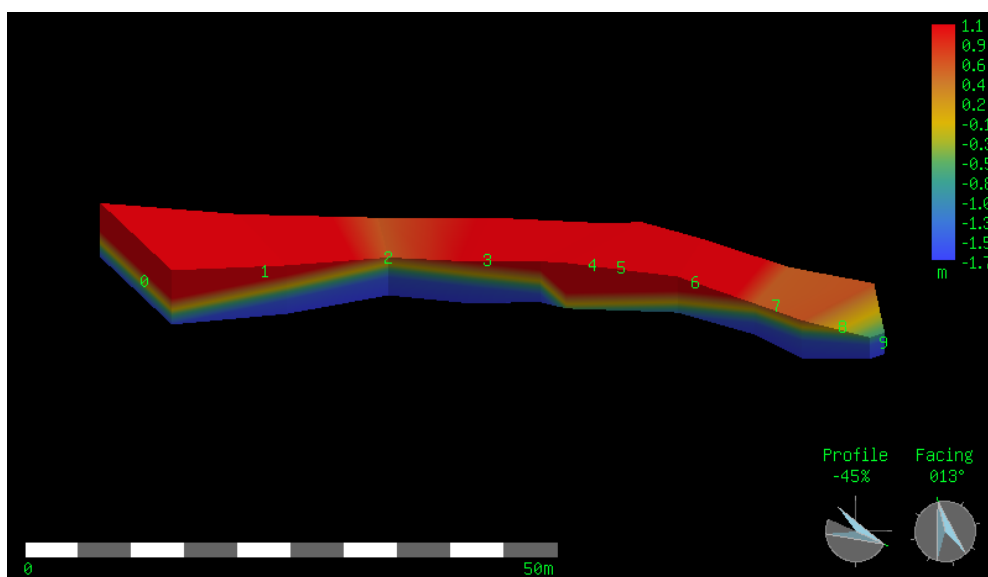
1. Pengujian Gua Giri Gajah

Pengujian keseluruhan pertama dilakukan di Gua Giri Gajah, Kecamatan Kebomas, Kabupaten Gresik, yang berlokasi sekitar 200 meter dari arah timur makam Sunan Giri. Hasil pengukuran dari pengujian pertama dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Gua Giri Gajah

Nama Gua: Giri Gajah					Tanggal: 13 Desember 2022			
Lokasi: Kebomas, Gresik					Surveyor: Mahapala "Biru"			
No	Station	Kompas	Klino	Jarak	Kiri	Kanan	Atas	Bawah
0	- 0	-	-	-	9 m	7,7 m	4 m	1,4m
1	0 – 1	80°	- 6	12,4 m	5,3 m	7,2 m	3,4 m	1,4m
2	1 – 2	85°	- 2	12,2 m	3,6 m	5,5 m	2,3 m	1,4m
3	2 – 3	110°	1	9,4 m	3,5 m	6,7 m	2,7 m	1,4m
4	3 – 4	120°	5	10,2 m	4 m	6,9 m	2,6 m	1,4m
5	4 – 5	163°	18	5,7 m	4,1 m	7,6 m	3,1 m	1,4m
6	5 – 6	118°	-5	7,2 m	4,9 m	4 m	2,1 m	1,4m
7	6 – 7	120°	-11	8 m	5,3 m	3,6 m	1,6 m	1,4m
8	7 – 8	130°	-5	7,2 m	5,5 m	5,3 m	2,3 m	1,4m
9	8 – 9	155°	4	6 m	0,9 m	0,9 m	0,6 m	1,4m

Dari data pengukuran pada Tabel 5 diperoleh 10 station atau titik pengukuran. Selanjutnya dilakukan penggambaran peta gua atau sketsa lorong-lorong dalam gua sebagaimana terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Sketsa Gua Giri Gajah

Selain itu, hasil pengukuran alat pada penelitian ini berupa file notepad yang mencakup data tanggal, hari, jam, suhu, kelembapan, kadar karbon dioksida, dan oksigen, yang dapat dilihat pada Gambar 9.

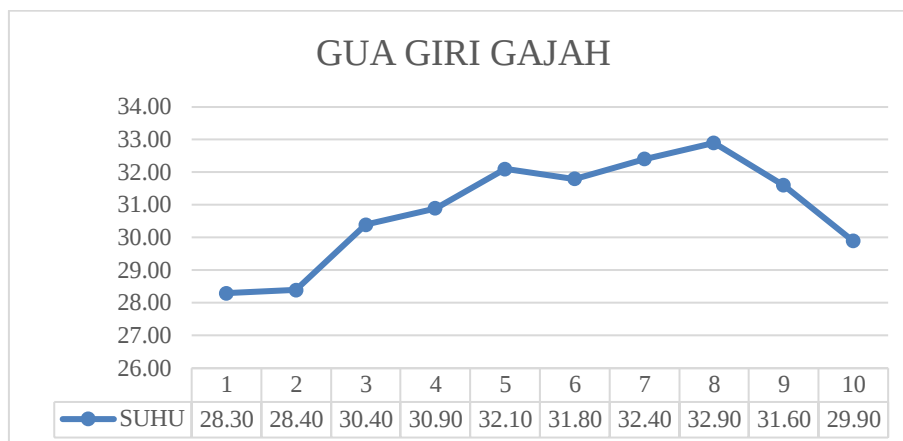
No	Tanggal	Hari	Jam	Suhu	Kelembapan	Karbon dioksida	Oksigen
1	13.12.2022	Tuesday	15:14:42	28.30	91	402.94	20.84
2	13.12.2022	Tuesday	15:15:56	28.40	92	402.14	20.67
3	13.12.2022	Tuesday	15:20:24	30.40	86	401.46	20.51
4	13.12.2022	Tuesday	15:24:23	30.90	87	401.30	20.51
5	13.12.2022	Tuesday	15:30:39	32.10	80	401.11	20.34
6	13.12.2022	Tuesday	15:32:49	31.80	86	401.25	20.34
7	13.12.2022	Tuesday	15:34:29	32.40	88	401.30	20.34
8	13.12.2022	Tuesday	15:37:24	32.90	84	401.18	20.34
9	13.12.2022	Tuesday	15:39:40	31.60	81	401.11	20.34
10	13.12.2022	Tuesday	15:47:37	29.90	88	401.07	20.51

Gambar 9. hasil pengukuran alat gua giri gajah

Tabel 6. Hasil Pengukuran Alat Gua Giri Gajah

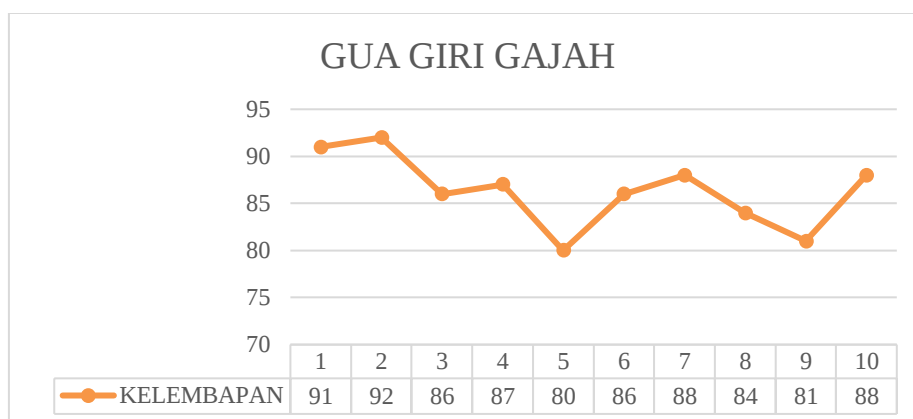
No	Suhu	Kelembapan	Karbon dioksida	Oksigen
1	28.30	91 %	402.94 PPM	20.84 %
2	28.40	92 %	402.14 PPM	20.67 %
3	30.40	86 %	401.46 PPM	20.51 %
4	30.90	87 %	401.30 PPM	20.51 %
5	32.10	80 %	401.11 PPM	20.34 %
6	31.80	86 %	401.25 PPM	20.34 %
7	32.40	88 %	401.30 PPM	20.34 %
8	32.90	84 %	401.18 PPM	20.34 %
9	31.60	81 %	401.11 PPM	20.34 %
10	29.90	88 %	401.07 PPM	20.51 %

Dari Tabel 6 dihasilkan grafik mengenai kondisi dalam Gua Giri Gajah. Grafik suhu ruangan dalam gua ditunjukkan pada Gambar 10.



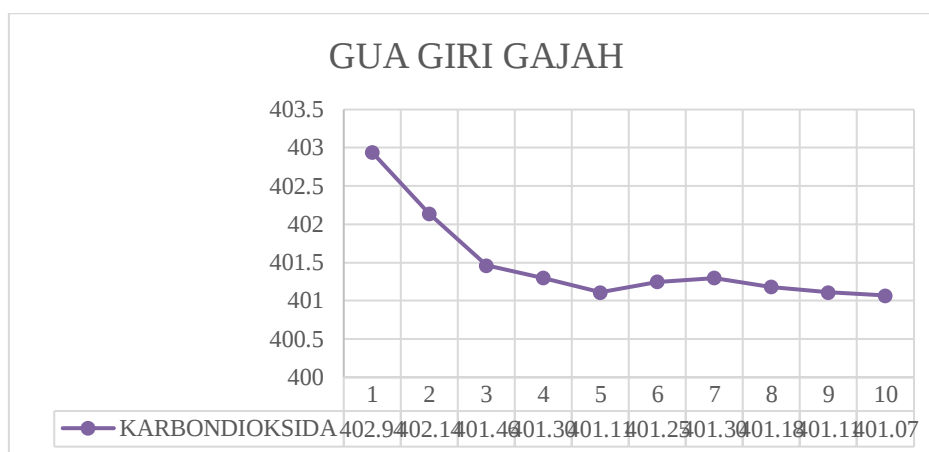
Gambar 10. Grafik suhu Gua Giri Gajah

Selanjutnya, grafik kelembapan gua ditampilkan dalam Gambar 11.



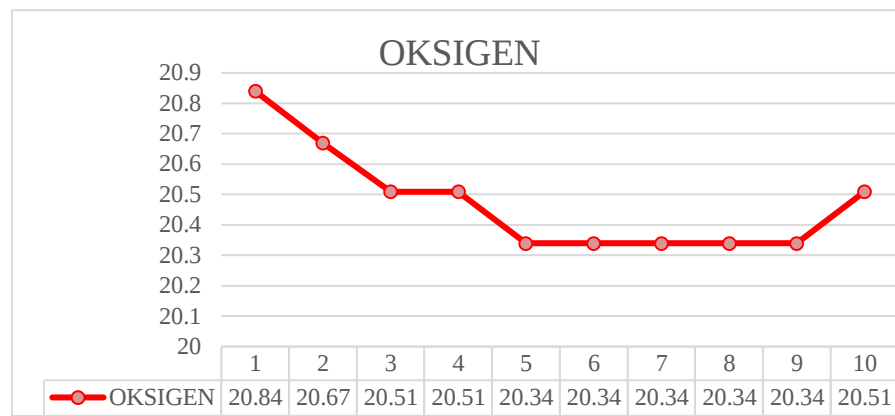
Gambar 11. Grafik Kelembapan Gua Giri Gajah

Grafik kadar karbon dioksida dalam gua disajikan dalam Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Karbon dioksida Gua Giri Gajah

Sedangkan grafik kadar oksigen dalam gua disajikan dalam Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Oksigen Gua Giri Gajah

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan grafik pengukuran Gua Giri Gajah, di mana konsentrasi gas karbon dioksida tertinggi tercatat sebesar 402.94 PPM, masih berada dalam ambang batas aman, dan konsentrasi oksigen rata-rata tercatat sebesar 21%.

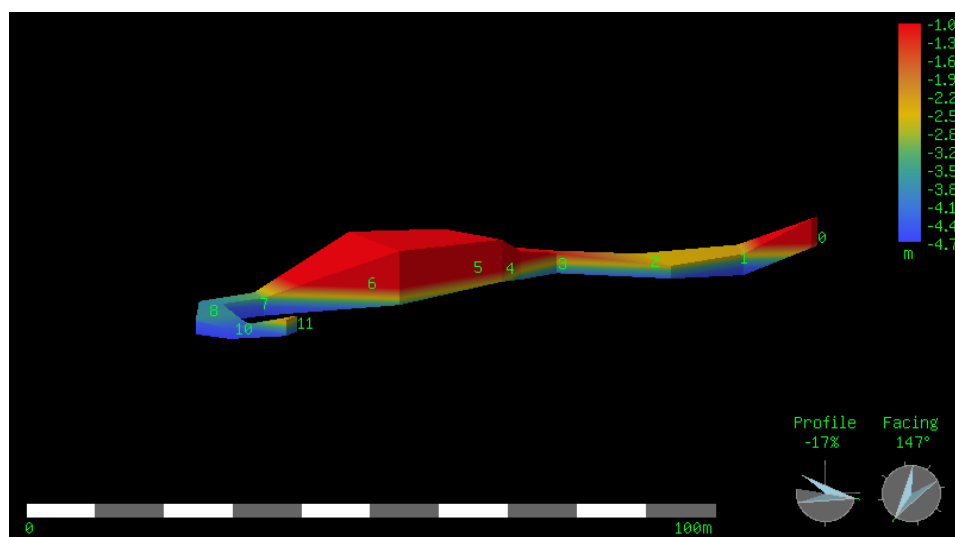
2. Pengujian Gua Abar

Pengujian keseluruhan kedua dilakukan di Gua Abar yang berlokasi di Desa Banjarwati, Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan. Gua ini terletak di area pertambangan batu kapur. Hasil pengukuran dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Gua Abar

Nama Gua: Abar					Tanggal: 16 Desember 2022			
Lokasi: Paciran, Lamongan					Surveyor: Mahapala "Biru"			
No	Station	Kompas	Klino	Jarak	Kiri	Kanan	Atas	Bawah
0	- 0	-	-	-	1,3 m	0,70 m	2,8 m	1,4m
1	0 – 1	80°	- 18	12,8 m	7,2 m	0,7 m	1,6 m	1,4m
2	1 – 2	20°	4	16,2 m	7,5 m	4,1 m	0,3 m	1,4m
3	2 – 3	45°	1	13,9 m	0,6 m	2,1 m	1,4 m	1,4m
4	3 – 4	21°	2	9,4 m	3,5 m	6,7 m	2,7 m	1,4m
5	4 – 5	0°	9	8,3 m	6,2 m	6,3 m	4,8 m	1,4m
6	5 – 6	30°	-3	17,6 m	12,5 m	5,8 m	6,6 m	1,4m
7	6 – 7	37°	-8	16,6 m	2,2 m	2,5 m	1,1 m	1,4m
8	7 – 8	40°	-4	7,8 m	2,6 m	1,5 m	1 m	1,4m
9	8 – 9	323°	1	13,2 m	3,3 m	2,8 m	0,9 m	1,4m
10	9 – 10	297°	1	5,6 m	3,3 m	0,9 m	0,1 m	1,4m
11	10 - 11	259°	9	9,7 m	0,7 m	3,2 m	0,8 m	1,4m

Dari pengukuran pada Tabel 6 diperoleh 11 station atau titik pengukuran, lalu dilakukan penggambaran peta lorong-lorong gua sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Sketsa Gua Abar

Selanjutnya, data pengukuran alat pada Gua Abar dapat dilihat pada Gambar 15.

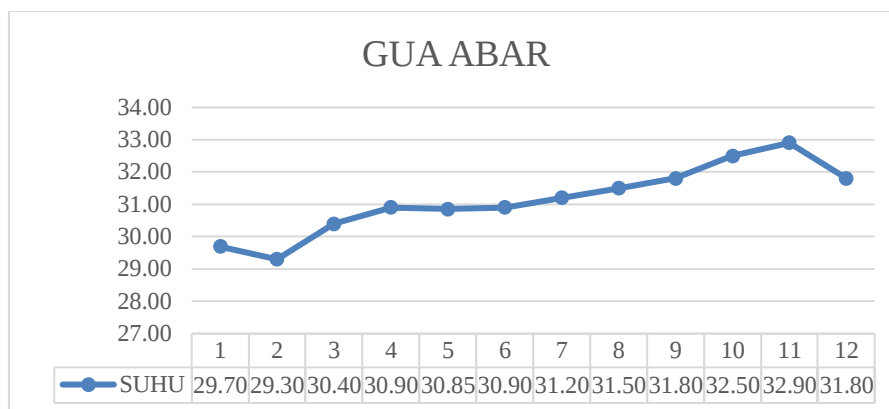
No	Suhu	Kelembapan	Karbon dioksida	Oksigen
1	29.70	89 %	400.89 PPM	20.42 %
2	29.30	90 %	401.14 PPM	20.67 %
3	30.40	86 %	401.46 PPM	20.51 %
4	30.90	86 %	401.30 PPM	20.41 %
5	30.85	83 %	401.53 PPM	20.42 %
6	30.90	87 %	402.10 PPM	20.43 %
7	31.20	84 %	402.20 PPM	20.39 %
8	31.50	82 %	402.18 PPM	20.36 %
9	31.80	84 %	402.11 PPM	20.34 %
10	32.50	86 %	401.47 PPM	20.40 %
11	32.90	89 %	401.39 PPM	20.44 %
12	31.80	88 %	401.32 PPM	20.48 %

Gambar 15. Data Pengukuran Alat Gua Abar

Tabel 6 Hasil Pengukuran Alat Gua Abar

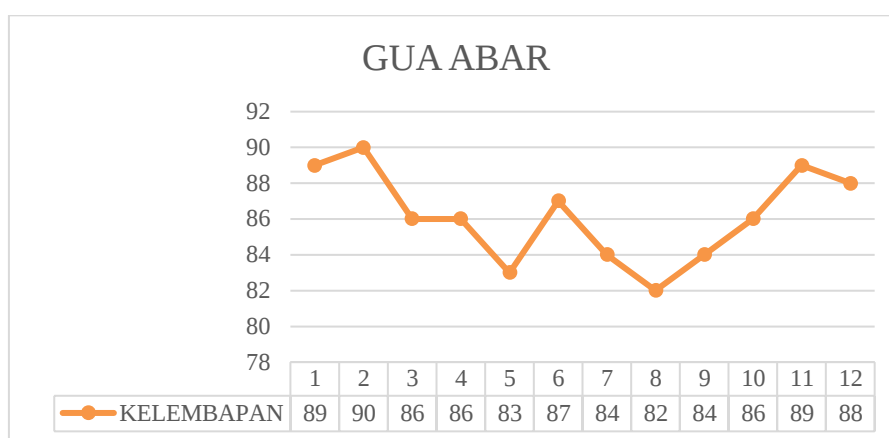
No	Suhu	Kelembapan	Karbon dioksida	Oksigen
1	29.70	89 %	400.89 PPM	20.42 %
2	29.30	90 %	401.14 PPM	20.67 %
3	30.40	86 %	401.46 PPM	20.51 %
4	30.90	86 %	401.3 PPM	20.41 %
5	30.85	83 %	401.53 PPM	20.42 %
6	30.90	87 %	402.1 PPM	20.43 %
7	31.20	84 %	402.2 PPM	20.39 %
8	31.50	82 %	402.18 PPM	20.36 %
9	31.80	84 %	402.11 PPM	20.34 %
10	32.50	86 %	401.47 PPM	20.40 %
11	32.90	89 %	401.39 PPM	20.44 %
12	31.80	88 %	401.32 PPM	20.48 %

Grafik kondisi suhu ruangan dalam Gua Abar disajikan dalam Gambar 16.



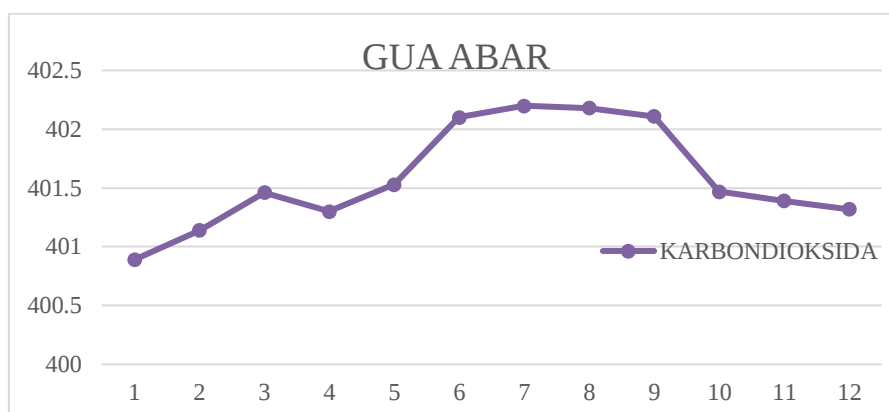
Gambar 16. Grafik Suhu Gua Abar

Selanjutnya ditampilkan grafik kelembapan Gua Abar pada Gambar 17.



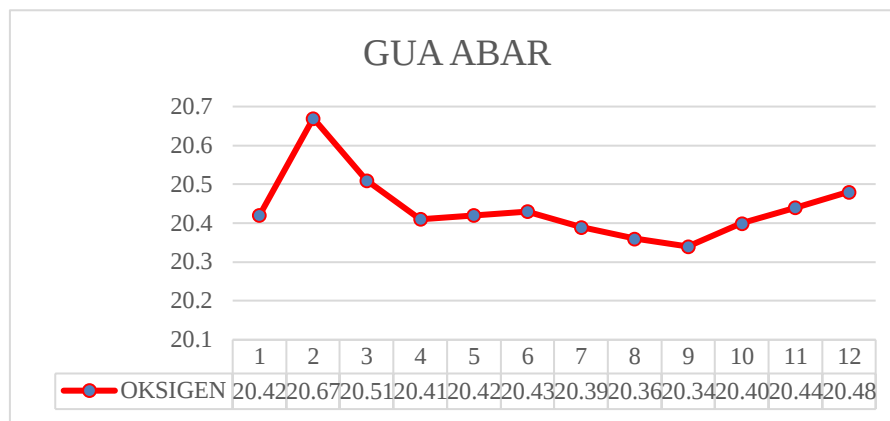
Gambar 17. Grafik Kelembapan Gua Abar

Gambar 18 memperlihatkan grafik konsentrasi karbon dioksida dalam gua.



Gambar 18. Grafik Karbon dioksida Gua Abar

Sedangkan grafik kadar oksigen ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Grafik Oksigen Gua Abar

Gambar 18 dan Gambar 19 merupakan hasil pengukuran dari *Notepad* yang didapat pada pengujian di Gua Abar, menunjukkan bahwa konsentrasi gas masih jauh di bawah batas maksimal yang dapat diterima manusia untuk kadar karbon dioksida dan oksigen.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem rancangan alat surveyor gua ini mampu memberikan informasi mengenai kondisi udara di dalam gua untuk menilai tingkat keamanan bagi surveyor. Pengukuran kadar oksigen pada dua gua yang diuji menunjukkan hasil yang cukup stabil, karena sensor oksigen tipe KE-25 hanya fokus pada gas oksigen dan tidak terpengaruh oleh gas lain. Alat ini juga dilengkapi dengan sistem peringatan apabila terjadi peningkatan kadar gas karbon dioksida di atas 700 PPM, yang akan memberikan informasi bahaya bagi surveyor serta menyimpan data pembacaan sensor ke dalam *SD card*. Selain itu, apabila kadar oksigen menurun di bawah 17%, sistem akan membunyikan *buzzer* sebagai peringatan adanya bahaya dan secara otomatis juga menyimpan data pembacaan ke *SD card*. Namun, dalam proses perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat beberapa kekurangan. Oleh karena itu, perlu diperhatikan pemilihan sensor karbon dioksida yang sesuai, karena beberapa sensor membutuhkan pemanasan dan memiliki batas pembacaan yang kurang akurat. Selain itu, untuk ke depannya disarankan agar proses komunikasi alat dapat menggunakan gelombang frekuensi radio karena di dalam gua tidak tersedia sinyal internet. Pemilihan wadah atau casing alat juga harus diperhatikan agar tidak merusak sensor, terutama saat digunakan di lingkungan gua yang basah atau berair.

DAFTAR PUSTAKA

- Argo, B. D., Latriyanto, A., & Astuti, N. P. (2012). Sistem monitoring gas oksigen dan karbondioksida pada ruang penyimpanan sistem udara terkontrol. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 1(3), 84–90.
- Efianto, E., Ridwan, R., & Fahrudi, I. (2016). Sistem pengaman motor menggunakan smartcard Politeknik Negeri Batam. *Jurnal Integrasi*, 8(1), 1–5.
- Fajrin, H., Susanto, E., Kristianto, P. S. A., Herdiyana, F. F., & Wibowo, S. A. (2022). Design of ventilator with gas mixing, tidal volume, and humidifier parameters. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(3), 348–353.
- Hidayati, Q., & Aziz, A. N. (2018). Rancang bangun bel otomatis berbasis RTC DS3231 menggunakan Arduino Uno R3 sebagai tanda pergantian jadwal. *JREC (Journal of Electrical and Electronics)*, 6(1), 1–8.
- Kepala Direktorat Jenderal Pembinaan Pengawasan Ketenagakerjaan. (2006). *Kep. Dir. Jen. P.P.K No. KEP. 113/DJPPK/IX/2006 tentang Pedoman Teknis Petugas K3 Ruang Terbatas*.
- Setiadi, L. A. (2019). *Sistem monitoring gas oksigen dan karbondioksida pada ruang penyimpanan sistem suhu terkontrol dan pengaruhnya terhadap daya simpan buah mangga Arumanis berbasis Arduino* (Skripsi, Universitas Mataram).

- Susanto, H., Pramana, R., & Mujahidin, M. (2013). Perancangan sistem telemetri wireless untuk mengukur suhu dan kelembaban berbasis Arduino Uno R3 ATmega328p dan XBee Pro. *Universitas Maritim Raja Ali Tanjung Pinang*, 4(1).
- Syarief, S., Neparassi, W. B., & Nurwidiana, G. A. (2016). Sistem monitoring suhu dan kelembaban tanaman cabai pada greenhouse berbasis LabVIEW. *Jurnal Poli-Teknologi*, 15(2).
- Tahir, R. B. (2016). *Analisis sebaran kadar oksigen (O_2) dan kadar oksigen terlarut (Dissolved Oxygen) dengan menggunakan data in situ dan citra satelit Landsat 8 (Studi kasus: Wilayah Gili Iyang Kabupaten Sumenep)* (Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Triandy, D. J. (2018). *Rancang bangun alat pendeteksi gas beracun (SO_2) pada area aktivitas gunung berapi* (Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Wardhani, R., Mashuri, M., Abieza, K. T., Tias, S. S. M., Kurniadi, U., Faturrahman, M. I., & Pamungkas, G. S. (2021). Rancang bangun alat pengukur gas karbon dioksida pada garasi rumah dengan menggunakan Arduino Nano. *Jurnal Nasional Aplikasi Mekatronika, Otomasi dan Robot Industri (AMORI)*, 2(2).
- Widodo, S., Amin, M. M., Sutrisman, A., & Putra, A. A. (2017). Rancang bangun alat monitoring kadar udara bersih dan gas berbahaya CO, CO₂, dan CH₄ di dalam ruangan berbasis mikrokontroler. *Pseudocode*, 4(2), 105–119.
- Yaqub, M. (2018). *Analisis sensor DHT-22 untuk memantau proses fermentasi daun tembakau, dengan pengiriman data menggunakan protocol Zigbee* (Laporan Kerja Praktek, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya).
- Yani, P. I., & Antonisfia, Y. (2020, November). Monitoring dan kontrol kadar CO₂ dalam ruangan berbasis sistem penciuman elektronik. In *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)* (Vol. 6, No. 1, pp. 388–395).