



Rancang Bangun Sistem Keselamatan terhadap Gas CO₂ dalam Ruang Penyimpanan Tabung Gas CO₂ Menggunakan *Raspberry Pi Pico W*

Ignatius Sudarto Hasugian¹, Edi Kurniawan², Diyah Purwitasari³

^{1,2,3}Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Abstract. *The storage space for CO₂ gas cylinders is inside the ship's accommodation, so there is a risk of danger if a leak occurs because the ship's accommodation has poor air circulation. This research is devoted to removing dangerous gases from the room. This research designs and modifies a tool that can detect CO₂ levels and can provide a danger signal to the surroundings. This modification uses a Raspberry Pi Pico W microcontroller. This research method uses system design, a series of tools with wiring design and uses 2 test plans, namely: testing static and dynamic testing. Testing the precision of the sensor by reading the CO₂ leak detector using a CO₂ measuring instrument obtained an average error value of 3.5%. The error value is still categorized as a safe difference value and the prototype works according to the expected function. Testing the function of the tool results in values for the MQ-135 buzzer and exhaust fan sensors which will turn on if the CO₂ level is above 600 ppm in accordance with the safe threshold for CO₂ levels in the air which has been set in the program. Telegram request bot testing can work well as expected. Testing the Telegram Receive bot can work well as expected. However, for testing Telegram bots, requests and receives are influenced by the internet network.*

Keywords: *Hazardous Gas Safety System, Raspberry Pi Pico W, Bot telegram.*

Abstrak. Ruang penyimpanan tabung gas CO₂ ada di dalam akomodasi kapal, maka ada risiko bahaya apabila terjadi kebocoran karena akomodasi kapal memiliki sirkulasi udara yang kurang baik. Penelitian ini dikhususkan untuk mengeluarkan gas berbahaya dari ruangan. Penelitian ini merancang dan memodifikasi sebuah alat yang dapat mendeteksi kadar CO₂ dan dapat memberikan sinyal bahaya ke sekitarnya, modifikasi ini menggunakan mikrokontroler *Raspberry Pi Pico W*. Metode penelitian ini menggunakan perancangan sistem, rangkaian alat dengan perancangan *wiring* dan menggunakan 2 rencana pengujian, yaitu : pengujian statis dan pengujian dinamis. Pengujian presisi sensor dengan pembacaan alat pendeteksi kebocoran CO₂ menggunakan alat ukur CO₂ mendapatkan rata-rata nilai error sebesar 3,5%. Nilai error masih dikategorikan nilai selisih aman dan alat bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Pengujian fungsi alat mendapatkan hasil nilai untuk sensor MQ-135 *buzzer* dan *exhaust fan* akan menyala jika kadar CO₂ diatas nilai 600 ppm sesuai dengan ambang batas aman kadar CO₂ di udara yang sudah diatur didalam program. Pengujian *bot telegram request* dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian *bot telegram receive* dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Tetapi untuk pengujian *bot telegram request* dan *receive* di pengaruhi oleh jaringan *internet*.

Kata Kunci: Sistem Keselamatan Gas Berbahaya, *Raspberry Pi Pico W*, Bot telegram.

1. PENDAHULUAN

Transportasi laut di Indonesia adalah salah satu transportasi yang sangat penting karena Indonesia adalah negara kepulauan. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan total 17.508 pulau, transportasi laut menjadi bagian vital dari sistem transportasi Indonesia (Kadarisman, 2016). Transportasi laut pada umumnya menggunakan kapal untuk menyeberang dari satu pulau ke pulau lainnya.

Palka adalah salah satu *restricted area* pada kapal, ada banyak *restricted area* di atas kapal. Mulai dari area yang berbahaya dan juga tempat yang bersifat pribadi. Ada banyak area yang berbahaya di atas kapal, seperti anjungan, kamar mesin, ruang penyimpanan panel kelistrikan, ruang kargo (palka), dan juga ruang penyimpanan tabung gas CO₂. CO₂ disimpan

di dalam ruang penyimpanan tabung gas CO₂ pada akomodasi kapal. Sebuah kasus keracunan gas karbon dioksida (CO₂) yang terjadi di sebuah kapal tongkang milik PT. Kurnia Tunggal menewaskan 5 orang pekerja kapal, dikarenakan para pekerja masuk ke dalam palka kapal tanpa perlengkapan yang memadai dan karena tidak adanya sistem pendeteksi gas berbahaya pada palka kapal tersebut (Suwandi, 2022).

CO₂ merupakan gas tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak beracun. Namun, apabila konsentrasinya meningkat di dalam satu ruangan atau area tertutup dapat membahayakan pada manusia. Konsentrasi gas yang tinggi dapat menggantikan oksigen dalam udara, menyebabkan hipoksia atau kekurangan oksigen, yang dapat menyebabkan pusing, sesak napas, kebingungan, hingga koma, dan kematian jika tidak segera ditangani. Paparan jangka panjang terhadap konsentrasi karbon dioksida yang sedang dapat menyebabkan dampak negatif pada metabolisme kalsium fosfor, yang berujung pada peningkatan endapan kalsium di jaringan lunak (Nebath, 2014). Kandungan karbon dioksida di udara segar dan baik untuk pernapasan bervariasi antara 300 ppm sampai dengan 600 ppm bergantung pada lokasinya. Umumnya CO₂ dalam udara di luar ruangan memiliki kadar 400ppm, kadar CO₂ pada ruangan yang memiliki putaran udara yang baik umumnya 400-1000 ppm. Kadar maksimum CO₂ yang dianjurkan untuk kualitas udara dalam ruangan adalah 1200 ppm, namun disarankan agar konsentrasi CO₂ tetap di bawah 600 ppm (Megarani, 2019). CO₂ digunakan di atas kapal sebagai sistem pemadam kebakaran.

Ruang penyimpanan tabung gas CO₂ ada di dalam akomodasi kapal, maka ada risiko bahaya apabila terjadi kebocoran karena akomodasi kapal memiliki sirkulasi udara yang kurang baik. Sehingga sangatlah penting sebuah kapal memiliki *safety device* yang mampu mendeteksi CO₂ sebagai sistem keselamatan di atas kapal. Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk menemukan solusi dalam mengurangi polusi udara di dalam ruangan. Salah satunya adalah pembuatan sistem pemantauan kualitas udara dan deteksi gas berbahaya seperti CO, CO₂, dan CH₄ dalam ruangan tertutup yang berbasis mikrokontroler Atmega 8535. Sistem ini menggunakan sensor MQ-135 dengan tipe berbeda sesuai dengan sensitivitas terhadap masing-masing gas tersebut (Slamet Widodo, 2017). Hasil pemantauan ditampilkan pada *Liquid Crystal Display* (LCD). LED berfungsi sebagai indikator, sementara blower digunakan untuk menetralkan udara dari gas berbahaya. Penelitian ini difokuskan pada pengeluaran gas CO₂ dari ruangan, sehingga perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut untuk menyempurnakan sistem ini. Berdasarkan latar belakang di atas, peneliti merancang dan memodifikasi sebuah alat yang dapat mendeteksi kadar CO₂ dan dapat memberikan sinyal bahaya ke sekitarnya. Peneliti memodifikasi alat terdahulu dengan menggunakan mikrokontroler *Raspberry Pi Pico*

W karena prosesor pada mikrokontroler ini lebih cepat dengan memiliki arsitektur *dual core* ARM Cortex-M0+. Sensor yang digunakan serupa dengan sensor pada alat penelitian terdahulu tetapi pada prototipe terbaru menggunakan 3 sensor MQ-135 agar dapat mendeteksi CO₂ lebih baik. Pada prototipe terbaru juga memiliki sinyal *output* suara pada *buzzer* sebagai pengingat adanya bahaya. Hasil monitoring gas CO₂ yang terdeteksi juga ditampilkan pada LCD dan pada *Bot Telegram* yang dikirim langsung melalui modul wifi yang ada pada mikrokontroler. Agar menjaga keselamatan dengan lebih baik prototipe ini juga dilengkapi dengan kipas *blower* untuk mengontrol kadar CO₂ pada ruang penyimpanan tabung gas CO₂.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Hazardous Gas Sensor

Hazardous Gas Sensor atau sensor gas berbahaya adalah teknologi keselamatan yang digunakan untuk menjaga keselamatan para pekerja dari paparan gas berbahaya (Thomas, 2021). Kebocoran gas dan kontaminasi lain yang tidak diinginkan dapat mengakibatkan konsekuensi ledakan, kerusakan fisik, dan risiko kebakaran. Penggunaan sensor gas ini sangat penting dalam berbagai industri, laboratorium, dan aplikasi keamanan untuk mencegah kecelakaan dan risiko kesehatan akibat paparan gas berbahaya.

Sistem kontrol dan pemantauan gas berbahaya akan aktif saat sensor mendeteksi gas. Jika konsentrasi gas melebihi batas normal, *alarm* akan berbunyi melalui *buzzer*. (Liandy, 2017). Sistem bekerja dengan mendeteksi perubahan konsentrasi gas di udara dan memberikan sinyal peringatan ketika konsentrasi mencapai tingkat berbahaya. Apabila sensor mendeteksi konsentrasi mencapai tingkat yang berbahaya maka sistem akan otomatis menghasilkan sinyal peringatan untuk memberitahu para pekerja agar segera menjauhi lingkungan yang terpapar gas berbahaya.

Raspberry Pi Pico W

Raspberry Pi Pico W adalah papan pengembangan yang dikembangkan oleh *Raspberry Pi Foundation*, menggunakan *chip* RP2040 yang dirancang *Raspberry Pi Foundation*. (Prastyo, 2022). Mikrokontroler RP2040 adalah mikrokontroler dengan arsitektur *dual-core* ARM Cortex-M0+ yang memiliki kecepatan frekuensi maksimum mencapai 133 MHz. *Raspberry Pi Pico W* merupakan mikrokontroler *dual core* dengan 12-bit ADC dan penghitung waktu nyata. Dengan *chip* RP2040, ini berfungsi pada 3,3 volt dan berjalan pada *Micro Python*. Perhitungannya adalah lebih cepat dari mikrokontroler Arduino Uno. Fasenya *loop* terkendali memungkinkan perubahan frekuensi intinya menjadi level yang sesuai seperti yang dibutuhkan

oleh aplikasi. *Raspberry Pi Pico W* adalah papan pengembangan baru yang dapat digunakan secara efisien berbagai aliran penelitian dan pengembangan (Thothadri, 2021). Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 adalah sensor gas yang mampu mendeteksi senyawa dan kadar gas berbahaya yang dapat merusak kualitas udara dan memengaruhi kesehatan pernapasan manusia (Akbar, 2021). Sensor MQ-135 memberikan hasil deteksi kualitas udara melalui perubahan nilai resistensi analog pada pin *outputnya*. Sensor MQ-135 memiliki 4 pin, yaitu:

- a. Pin 1 = Vcc (+5Volt)
- b. Pin 2 = *Ground*
- c. Pin 3 = *Digital Out*, dan
- d. Pin 4 = *Analog out*

Buzzer

Buzzer adalah komponen yang menghasilkan suara dengan cara menerima sinyal elektrik dan mengubahnya menjadi getaran untuk menciptakan gelombang suara (Pratama, 2021). *Buzzer* menghasilkan getaran yang mirip dengan yang dihasilkan oleh mikrofon saat merekam pada *tape*, CD, dan media lainnya. Dalam setiap sistem penghasil suara, kualitas suara terbaik sangat bergantung pada *buzzer*.



Sumber: Mario Manurung (2021)

Gambar 1. *Buzzer*

Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah layar yang menggunakan lapisan kaca dan kristal cair sebagai elemen utama untuk menampilkan informasi (Akbar, 2021). LCD 20x4 ini memiliki 20 karakter dan 4 baris, dengan tampilan *seven-segment* yang menyimpan 192

karakter. Dilengkapi dengan backlight, LCD ini dapat digunakan dalam mode 4-bit maupun 8-bit. Fungsinya adalah untuk menampilkan karakter berupa angka, huruf, atau grafik.



Sumber: Wahyu Subawani (2019)

Gambar 2. *Liquid Crystal Display (LCD)20x4*

Exhaust fan

Kipas *exhaust* atau *exhaust fan* berfungsi untuk menghisap udara dari dalam ruangan dan mengeluarkannya ke luar, sambil menarik udara segar dari luar ke dalam ruangan (Pratama, 2021). Dengan demikian, pemasangan *exhaust fan* di ruangan adalah langkah mekanis untuk mengoptimalkan pertukaran udara dalam ruangan.



Sumber: Nanda Rezki (2020)

Gambar 3. *Exhaust fan*

Relay

Relay adalah komponen elektronik yang berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh arus listrik. Secara prinsip, *relay* bekerja dengan menggunakan tuas saklar yang dililitkan kawat pada batang besi (*solenoid*) di sekitarnya. Ketika *solenoid* dialiri arus listrik, tuas akan tertarik oleh medan magnet yang dihasilkan, sehingga kontak saklar menutup. Sebaliknya, saat arus berhenti mengalir ke *solenoid*, medan magnet menghilang dan saklar akan kembali terbuka. (Pratama, 2021). *Relay* digunakan untuk mengendalikan sirkuit listrik

dengan menggunakan sinyal listrik dari sirkuit yang terpisah. Saat arus listrik mengalir melalui kumparan elektromagnetik, medan magnet yang dihasilkan menarik atau menolak kontak sakelar, sehingga membuka atau menutup sirkuit yang terhubung ke *relay* tersebut.



Sumber: Nanda Rezki (2020)

Gambar 4. Relay

Adaptor

Adaptor power supply adalah perangkat yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik dan mengubah tegangan *Alternating Current* (AC) yang tinggi menjadi tegangan *Direct Current* (DC) yang lebih rendah (Pratama, 2021). *Adaptor* listrik sering digunakan untuk berbagai perangkat elektronik, mulai dari ponsel, laptop, lampu, hingga peralatan rumah tangga lainnya. *Adaptor 5V* biasanya memiliki kabel yang dapat disambungkan ke perangkat elektronik yang membutuhkan daya, dan sebagian besar *adaptor 5V* memiliki plug USB standar yang dapat digunakan dengan berbagai jenis kabel USB untuk menghubungkan ke perangkat yang memerlukan daya tersebut.



Sumber: Saepul Rahmat (2022)

Gambar 5. Adaptor

3. METODE PENELITIAN

Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan *fase* di mana suatu sistem direncanakan dan dibangun untuk mencapai tujuan. Proses ini melibatkan pemilihan dan pengintegrasian komponen-komponen sistem dengan tujuan agar sistem dapat beroperasi secara efektif sesuai spesifikasi

yang telah ditentukan. Perancangan sistem melibatkan aspek seperti pembuatan model atau diagram yang mencakup elemen-elemen seperti perangkat keras, perangkat lunak, proses, dan interaksi antar komponen untuk mencapai suatu tujuan sistem seperti yang diinginkan.

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk dapat menguji hubungan sebab-akibat antara dua variabel. Metode eksperimen pada penelitian ini untuk menguji rancangan sistem yg telah dibuat. Perancangan sistem ini diwakili dengan diagram blok, dan sistem kerja alat yang diuji menggunakan pengujian statis dan dinamis.

Rencana Pengujian

Rencana pengujian merupakan suatu konsep pengujian sebuah produk yang dibuat guna mengetahui kinerja produk dan permasalahan yang mungkin terjadi pada produk tersebut. Rencana pengujian produk ini menggunakan dua metode pengujian yaitu pengujian statis dan pengujian dinamis.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil Penelitian didapatkan dengan melakukan pengujian, pengujian dilakukan untuk memastikan dan mendapatkan analisa fungsi dan kualitas dari sebuah produk agar dapat menghasilkan kualitas produk yang baik. Peneliti melakukan pengujian Statis dan pengujian Dinamis yang dilakukan secara bergantian dan menyeluruh.

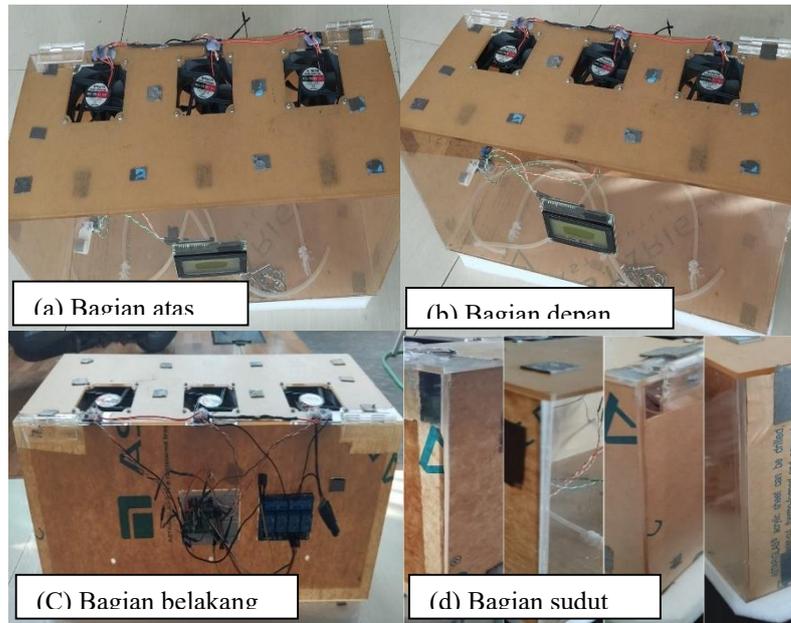
1) Pengujian Statis

Pengujian statis adalah proses evaluasi dan analisis perangkat lunak atau kode tanpa menjalankannya. Tujuannya adalah untuk menemukan kesalahan, kelemahan, atau masalah kualitas dalam kode atau dokumentasi.

a. Ruangan *Box* Akrilik

Uji coba ruangan box akrilik beserta komponen-komponen yang sudah dirangkai menurut desain sebelumnya dengan menyebarkan gas CO₂ ke dalam ruangan box akrilik, kemudian dilakukan pemeriksaan apakah ada kebocoran pada sisi sudut box akrilik yang dapat menyebabkan sensor kurang maksimal dalam mendeteksi CO₂. Dengan memperhatikan apakah ada keretakan atau kerenggangan di setiap sudut box akrilik. Pada bagian atas box akrilik seperti pada gambar 6 bagian (a) ada 3 lubang berbentuk kotak yang berfungsi sebagai tempat ketiga exhaust fan dan pada bagian atas akrilik sisi dalam juga terdapat 3 sensor MQ-135. Pada bagian belakang box akrilik seperti pada gambar 4.1 bagian (b)

terdapat Raspberry Pi Pico W, Relay, dan Buzzer. Ketiga komponen ini di tempatkan pada bagian belakang box akrilik agar terhindar dari gas CO₂ pada saat pengujian. Pada bagian depan box akrilik seperti gambar 6 bagian (c) terdapat LCD sebagai layar untuk menampilkan hasil deteksi sensor. Pada bagian sudut box akrilik seperti gambar 6 bagian (d) setiap sudut rapat dan tidak ada keretakan maupun kebocoran.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 6. Pengujian *Box* Akrilik

Tabel 1. Data Spesifikasi Ruang *Box* Akrilik

Dimensi	Ukuran
Panjang	50 Cm
Lebar	20 Cm
Tinggi	20 Cm
Tebal Akrilik	0,3 Cm

Sumber: Dokumen Pribadi

b. Sensor MQ-135

Uji coba sensor MQ-135 dilakukan dengan menyambungkan sensor MQ-135 dengan tegangan lalu menyemprotkan gas CO₂ ke arah sensor pastikan lampu indikator menyala kemudian hasil deteksi sensor akan dibaca Raspberry Pi Pico W. Raspberry Pi Pico W akan mengirimkan sinyal ke LCD sesudah itu hasil deteksi sensor akan muncul pada LCD.



Gambar 7. Pengujian Sensor CO₂ MQ-135

Sumber: Dokumen Pribadi



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 8. Pengujian Sensor CO₂ MQ-135 Hasil Deteksi Sensor

Dalam gambar pengujian ini, pengujian terfokus pada sensitivitas sensor dan Pembacaan sensor pada berbagai kondisi. Seperti pada gambar 7 dapat dilihat lampu indikator sensor menyala dan pada gambar 8 hasil deteksi sensor ditampilkan pada LCD. Sensor dapat bekerja dengan baik sesuai dengan spesifikasinya.

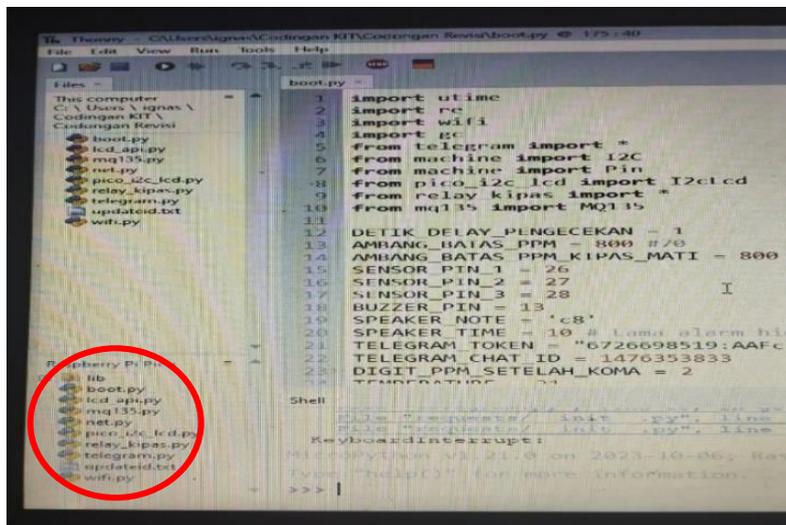
c. *Raspberry Pi Pico W*

Raspberry Pi Pico W diuji coba dengan menyambungkan *Raspberry Pi Pico W* dengan laptop dan memasukkan codingan yang ada pada aplikasi Thonny Ide kemudian memastikan codingan dapat diupload dan tersimpan pada *Raspberry Pi Pico W*.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 9. Pengujian *Raspberry Pi Pico W*



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 10. *Raspberry Pi Pico W* Dapat Menyimpan Program

Dalam gambar pengujian 9 ini, pengujian terfokus pada *Raspberry Pi Pico W* bisa menyimpan program yang diupload seperti pada gambar 10 program dapat diupload dan disimpan.

d. *Exhaust Fan*

Exhaust Fan diuji coba dengan menyambungkan exhaust fan dengan tegangan listrik 12 v dan memastikan exhaust fan menyala dan berputar sesuai dengan yang diinginkan.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 11. Exhaust Fan Mati



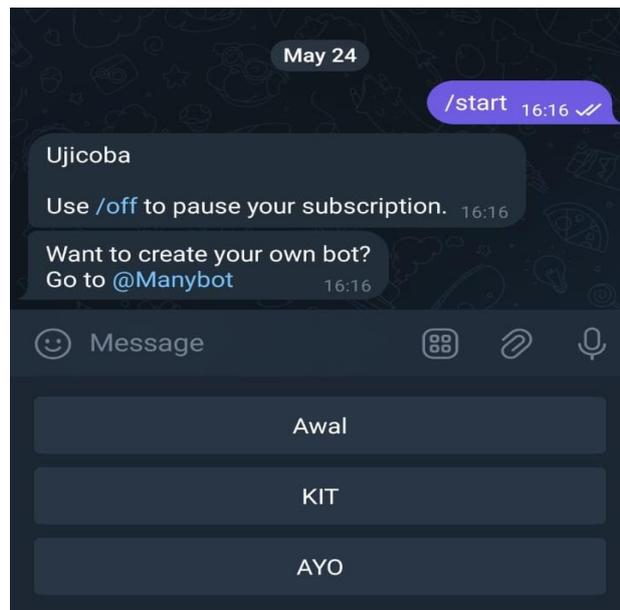
Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 12. Exhaust Fan Menyala

Pada gambar 11 *exhaust fan* mati karena belum disambungkan dengan tegangan listrik 12v. Pada gambar 12 *exhaust fan* menyala sesudah disambungkan dengan tegangan listrik 12v.

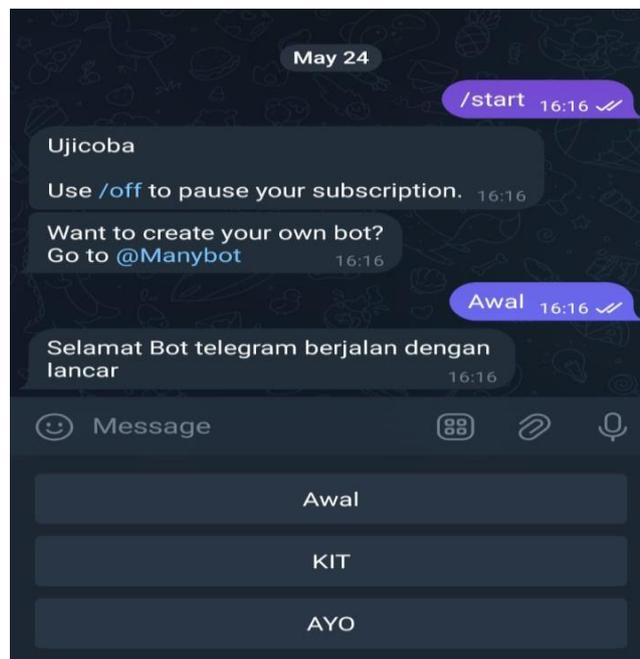
e. *Bot Telegram*

Bot Telegram diuji coba dengan mengetik kode yang sudah ditentukan pada sistem *Bot Telegram* dan dikirim kemudian mengecek apakah *Bot Telegram* menerima respons dan mengirim jawaban sesuai dengan kode yang sudah diatur pada sistem.



Gambar 13. Pengujian Bot Telegram Sebelum Kode Dikirim

Sumber: Dokumen Pribadi



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 14. Pengujian Bot Telegram Sesudah Kode Dikirim

Pada gambar 13 *bot telegram* sebelum dikirim kode yang sudah ditentukan pada sistem dan pada gambar 14 *bot telegram* sesudah dikirim kode yang sudah ditentukan pada sistem.

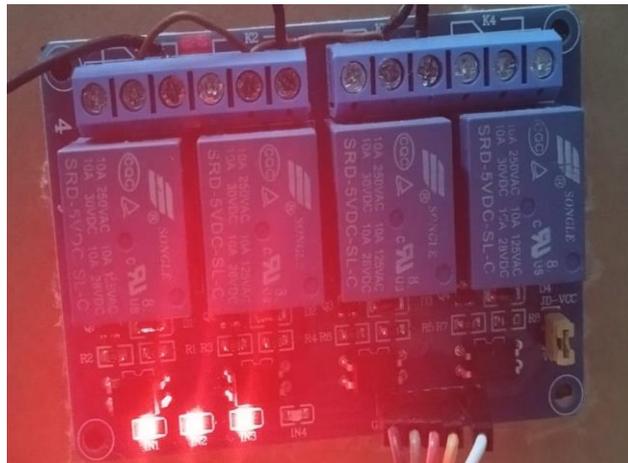
f. *Relay*

Pengujian *relay* dilakukan dengan mengalirkan tegangan listrik pada *relay* lalu memastikan lampu indikator menyala dan mengecek *normally close* maupun *normally open* pada *relay* berfungsi dengan baik.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 15. Pengujian *Relay* Dengan Tegangan Listrik Mati



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 16. Pengujian *Relay* Dengan Tegangan Listrik Hidup

Pada gambar 15 indikator *relay* mati dan sesudah *relay* disambungkan dengan tegangan listrik indikator *relay* menyala seperti gambar 16.

g. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display (LCD) diuji coba dengan menyambungkan LCD dengan tegangan listrik dan memastikan layar pada LCD menyala, kemudian mengecek apakah hasil *Part Per Million (PPM)* yang berhasil dideteksi oleh sensor dapat ditampilkan pada LCD.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 17. *Liquid Crystal Display* sebelum diberi tegangan



Sumber: Dokumen Pribadi

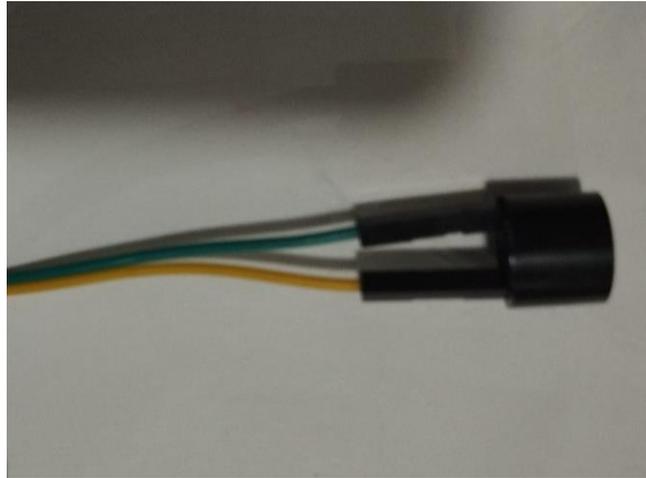
Gambar 18. *Liquid Crystal Display* menampilkan hasil deteksi sensor

Pada gambar 17 LCD masih dalam kondisi mati karena belum diberi tegangan listrik dan pada gambar 18 LCD dapat menampilkan hasil deteksi sensor sesudah disambungkan dengan tegangan listrik dan disambungkan dengan program pada *Raspberry Pi Pico W*.

h. *Buzzer*

Pengujian *buzzer alarm* melibatkan serangkaian langkah untuk memastikan bahwa *buzzer* berfungsi dengan baik dan dapat menghasilkan suara yang diinginkan saat diaktifkan. Pengujian *buzzer* dilakukan dengan menyambungkan

buzzer pada tegangan listrik 5v dan aktifkan *buzzer* dengan memberikan sinyal *input*. *Buzzer* harus menghasilkan suara yang keras dan jelas.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 19. Pengujian *Buzzer*

Buzzer dapat mengeluarkan suara dengan jelas agar bisa terdengar apabila sensor mendeteksi kadar CO₂ melebihi batas aman sebesar 600 ppm maka *buzzer* akan mengeluarkan suara sebagai pengingat bahaya.

2) Pengujian Dinamis

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan, termasuk interaksi sensor dan mikrokontroler. Data dari setiap sensor diproses untuk dapat mendeteksi CO₂ secara efisien agar dapat menjaga keamanan *crew* di atas kapal. Tujuannya adalah untuk memastikan kelayakan objek penelitian untuk diterapkan di atas kapal. Metode pengujian termasuk pengujian keakuratan sensor dan *bot telegram*.

a. Pengujian Presisi Sensor

Pengujian presisi sensor ini merupakan langkah penting untuk menilai seberapa tepat sensor dalam mendeteksi CO₂. Pengujian presisi sensor dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi ketepatan sensor dalam mendeteksi gas. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan hasil dari alat ukur yang digunakan. Setelah data didapatkan pada penelitian, data akan dilakukan proses perhitungan tingkat nilai *error* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Error(\%) = \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Alat Ukur Pembanding}}{\text{Nilai Alat Ukur Pembanding}} \times 100\%$$

Hasil dari pengujian perbandingan nilai gas antara alat pendeteksi polusi udara dengan alat ukur CO₂ dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pengujian dan Presisi Alat Pendeteksi Kebocoran CO₂

Pengujian	Lokasi Menyebar CO ₂	Alat Ukur CO ₂ (PPM)	Sensor MQ-135 1 (PPM)	Error Sensor 1 (%)	Sensor MQ-135 2 (PPM)	Error Sensor 2 (%)	Sensor MQ-135 3 (PPM)	Error Sensor 3 (%)	Error rata-rata (%)
1	Kiri Box	456	445	2,4 %	439	3,7%	435	4,6%	3,5%
2	Kiri Box	466	451	3,2%	443	4,9%	437	6,2	4,7%
3	Kiri Box	525	514	2%	506	3,6%	498	5,1%	3,5%
4	Kiri Box	634	622	1,8%	607	4,2%	586	7,5%	4,6%
5	Kiri Box	674	659	2,2%	648	3,8%	629	6,6%	4,2%
6	Kanan Box	545	525	3,6%	522	4,2%	557	2,2%	3,3%
7	Kanan Box	549	515	6,1%	516	6%	535	2,5%	4,7%
8	Kanan Box	508	466	8,2%	485	4,5%	501	1,3%	4,6%
9	Kanan Box	616	581	5,6%	593	3,7%	604	1,9%	3,7%
10	Kanan Box	631	589	6,6%	598	5,2%	612	3%	4,9%
11	Tengah Box	491	472	3,8%	480	2,2%	476	3%	3%
12	Tengah Box	541	526	2,7%	533	1,4%	529	2,2%	2,1%
13	Tengah Box	598	579	3,1%	589	1,5%	581	2,8%	2,4%
14	Tengah Box	630	611	3%	619	1,7%	615	2,3%	1,3%
15	Tengah Box	655	637	2,7%	641	2,1%	639	2,4%	2,4%
Rata-rata	-	562,2	534,8	3,8%	541,4	3,5%	542	3,5%	3,5%

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian alat pendeteksi kebocoran CO₂ bahwa data yang diperoleh dari sensor MQ135-adalah hasil pengujian nyata setelah 15 kali percobaan. *Error* pada masing-masing sensor memiliki rata-rata yang cukup rendah seperti pada sensor MQ-135 1 memiliki rata-rata *error* 3,8% dan pada sensor MQ-135 2 memiliki rata-rata 3,5% sedangkan pada sensor MQ-135 3 memiliki rata-rata *error* 3,5% sehingga rata-rata *error* dari pengujian presisi sensor ini sebesar 3,5%. Tetapi sensor MQ-135 1 memiliki rata-rata *error* yang tertinggi dari keseluruhan pengujian yaitu 8,2% sedangkan yang memiliki rata-rata *error* terendah adalah sensor MQ-135 3 dengan nilai 1,3%. Kemudian didapatkan sebuah persentase *error* rata-rata terendah sebesar 1,3% pada pengujian ke 14 dan persentase *error* tertinggi sebesar 4,9% pada pengujian ke 10. Dari hasil data yang didapatkan bisa dilihat bahwasanya presisi sensor tidak berbeda jauh dengan presisi alat ukur CO₂ yang digunakan sebagai pembandingan.

b. Pengujian Keakuratan Sensor

Pengujian keakuratan sensor adalah proses untuk memastikan bahwa sensor bekerja dengan benar dan memberikan hasil yang akurat. Prototipe dirancang untuk dapat mendeteksi gas CO₂ dengan akurat tanpa terganggu oleh gas jenis lain. Pada pengujian ini dilakukan sebanyak 15 kali dengan menyebarkan 3 jenis gas yang berbeda ke dalam prototipe. Gas yang disebarkan berupa gas Butana pada korek api, gas Karbon Monoksida, dan juga gas CO₂ sebagai gas utama pada penelitian ini. Untuk melihat hasil pengujian keakuratan sensor pendeteksi kebocoran CO₂ dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengujian Keakuratan Sensor MQ-135

Pengujian	Jenis Gas	Sensor MQ-135 1 (ppm)	Sensor MQ-135 2 (ppm)	Sensor MQ-135 3 (ppm)	<i>Exhaust Fan 1</i>	<i>Exhaust Fan 2</i>	<i>Exhaust Fan 3</i>	<i>Buzzer</i>
1	Butana	443	458	439	OFF	OFF	OFF	OFF
2	Butana	448	457	442	OFF	OFF	OFF	OFF
3	Butana	452	461	449	OFF	OFF	OFF	OFF
4	Butana	446	452	453	OFF	OFF	OFF	OFF
5	Butana	451	462	458	OFF	OFF	OFF	OFF
6	Karbon monoksida	461	465	454	OFF	OFF	OFF	OFF
7	Karbon monoksida	465	469	459	OFF	OFF	OFF	OFF
8	Karbon monoksida	454	462	465	OFF	OFF	OFF	OFF
9	Karbon monoksida	463	464	470	OFF	OFF	OFF	OFF
10	Karbon monoksida	461	467	464	OFF	OFF	OFF	OFF
11	Karbon dioksida	581	604	595	OFF	ON	OFF	ON
12	Karbon dioksida	612	618	602	ON	ON	ON	ON
13	Karbon dioksida	640	637	622	ON	ON	ON	ON
14	Karbon dioksida	611	603	585	ON	ON	OFF	ON
15	Karbon dioksida	632	624	613	ON	ON	ON	ON

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan table 3, hasil pengujian keakuratan sensor MQ-135 menunjukkan sensor MQ-135 tidak dapat mendeteksi gas butana dan juga gas karbon monoksida dapat dilihat pada hasil deteksi sensor pada saat gas butana dan gas karbon monoksida disebarkan selalu dibawah 600 ppm. Tetapi pada saat gas CO₂ disebarkan ke dalam prototipe sensor langsung mendeteksi dan mengirim hasil deteksi ke sistem dan didapatkan hasil deteksi gas CO₂ ada yang di atas 600 ppm dan ada juga yang di bawah

600 ppm yang menandakan sensor dapat mendeteksi gas CO₂ dengan baik. Komponen lain pada prototipe juga bekerja dengan baik ketika hasil deteksi sensor di atas 600 ppm *exhaust fan* dan juga *buzzer* otomatis hidup.

c. Pengujian Fungsi Alat

Pengujian fungsi alat dilakukan dengan cara menyemprotkan gas CO₂ buatan ke dalam kotak akrilik sampai sensor membaca nilai maksimum yang telah diprogram, yaitu 600 ppm. Jika sensor mendeteksi kadar CO₂ melebihi 600 ppm, *buzzer* akan aktif dan *exhaust fan* juga akan otomatis menyala untuk membuang CO₂ ke luar ruangan. Untuk melihat hasil pengujian fungsi alat pendeteksi kebocoran CO₂ dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Pengujian Fungsi Alat Pendeteksi Kebocoran CO₂

Pengujian	Lokasi Menyebarkan CO ₂	Sensor MQ-135 1 (PPM)	Sensor MQ-135 2 (PPM)	Sensor MQ-135 3 (PPM)	<i>Exhaust Fan 1</i>	<i>Exhaust Fan 2</i>	<i>Exhaust Fan 3</i>	<i>Buzzer</i>	Keterangan
1	Kiri Box	445	439	435	OFF	OFF	OFF	OFF	Berfungsi
2	Kiri Box	451	443	437	OFF	OFF	OFF	OFF	Berfungsi
3	Kiri Box	514	506	498	OFF	OFF	OFF	OFF	Berfungsi
4	Kiri Box	622	607	586	ON	ON	OFF	ON	Berfungsi
5	Kiri Box	659	648	629	ON	ON	ON	ON	Berfungsi
6	Kanan Box	423	441	453	OFF	OFF	OFF	OFF	Berfungsi
7	Kanan Box	443	457	469	OFF	OFF	OFF	OFF	Berfungsi
8	Kanan Box	484	518	553	OFF	OFF	OFF	OFF	Berfungsi
9	Kanan Box	560	583	602	OFF	OFF	ON	ON	Berfungsi
10	Kanan Box	597	617	629	OFF	ON	ON	ON	Berfungsi
11	Tengah Box	472	480	476	OFF	OFF	OFF	OFF	Berfungsi
12	Tengah Box	526	533	529	OFF	OFF	OFF	OFF	Berfungsi
13	Tengah Box	579	589	581	OFF	OFF	OFF	OFF	Berfungsi
14	Tengah Box	611	619	615	ON	ON	ON	ON	Berfungsi
15	Tengah Box	637	641	639	ON	ON	ON	ON	Berfungsi

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan Tabel 4, hasil pengujian fungsi alat pendeteksi kebocoran CO₂ menunjukkan bahwa *buzzer* berbunyi dan *exhaust fan* menyala ketika sensor mendeteksi nilai gas yang melebihi batas aman yang sudah ditentukan sebesar 600 ppm. Dalam pengujian ini saat kadar gas CO₂ mencapai 602 ppm, *buzzer* berbunyi dan *exhaust fan* menyala. Sesuai program yang dirancang apabila alat mendeteksi gas CO₂ di atas 600 ppm menandakan kondisi udara berbahaya dan adanya kebocoran CO₂ sehingga *buzzer* berbunyi dan *exhaust fan* menyala.

d. Pengujian *Bot Telegram Request*

Pengujian *Bot Telegram Request* dilakukan dengan mengetik dan mengirimkan kode yang diatur pada sistem dan menghitung waktu yang dibutuhkan sistem untuk dapat mengirimkan hasil deteksi CO₂ ke *Bot Telegram Receive*. Fitur ini berguna untuk memonitoring kondisi CO₂ dalam suatu ruangan. Selanjutnya untuk melihat nilai pengujian *Bot Telegram Request* pada alat pendeteksi kebocoran CO₂ dapat dilihat di Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Data Pengujian *Bot Telegram Request*

Pengujian	Waktu Kode Dikirimkan	Waktu Hasil Dikirim	Beda Waktu
1	12:09:16	12:09:19	3 detik
2	12:09:31	12:09:34	3 detik
3	12:10:02	12:10:08	6 detik
4	12:10:47	12:10:51	4 detik
5	12:11:03	12:11:07	4 detik
6	12:11:25	12:11:31	6 detik
7	12:12:01	12:12:05	4 detik
8	12:12:30	12:12:37	7 detik
9	12:13:12	12:13:15	3 detik
10	12:13:47	12:13:50	3 detik
Rata-rata	-	-	4,3 detik

Sumber: Dokumen Pribadi

Pengujian *Bot Telegram Request* dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian *Bot Telegram Request* apabila kode sudah dikirimkan ke *Bot Telegram Request* maka sistem akan langsung bekerja sehingga selisih waktu kode dikirimkan dengan waktu hasil dikirimkan tidak jauh berbeda rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem untuk dapat mengirimkan hasil deteksi sensor ke *Bot Telegram Request* antara 3 sampai 7 detik. Namun sinyal jaringan sangat berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan *Bot Telegram Request* untuk mengirim kode maupun menerima hasil deteksi sensor CO₂.

e. Pengujian *Bot Telegram Receive*

Pengujian *Bot Telegram Receive* dilakukan dengan menyebarkan gas CO₂ dengan konsentrasi yang tinggi sampai sensor mendeteksi CO₂ dengan konsentrasi yang tinggi. Apabila sensor mendeteksi CO₂ melebihi dari ambang batas yang sudah diatur sebesar 600 ppm maka *buzzer* akan berbunyi dan sistem mengirim pemberitahuan ke *Bot Telegram Receive*. Selanjutnya untuk melihat nilai pengujian *Bot Telegram Receive* pada alat pendeteksi kebocoran CO₂ dapat dilihat di tabel 6.

Tabel 6. Hasil Data Pengujian *Bot Telegram Receive*

Pengujian	Waktu CO ₂ >600 ppm	Waktu Pemberitahuan Diterima	Beda Waktu
1	21:59:32	21:59:34	2.71 detik
2	22:03:36	22:03:39	3.27 detik
3	22:05:10	22:05:13	3.49 detik
4	22:12:27	22:12: 29	2.25 detik
5	22:18:08	22:18:10	2.60 detik
6	22:22:30	22:10:32	2.94 detik
7	22:25:00	22:25:02	2.74 detik
8	22:27:30	22:27:32	2.27 detik
9	22:44:10	22:44:14	4.5 detik
10	22:45:50	22:45:54	4.66 detik
Rata- rata	-	-	2,9 detik

Sumber: Dokumen Pribadi

Pengujian *Bot Telegram Receive* dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Berdasarkan tabel 6 menunjukkan hasil pengujian *Bot Telegram Receive* apabila ada CO₂ dengan konsentrasi yang tinggi dapat dideteksi oleh sensor maka sistem akan langsung bekerja untuk mengirimkan pemberitahuan apabila ada keadaan bahaya. Saat sensor mendeteksi konsentrasi CO₂ di atas ambang batas yang sudah diatur sebesar 600 ppm maka sistem akan otomatis mengirimkan sinyal bahaya melalui *Bot Telegram Receive* dan *buzzer* akan hidup begitu juga *exhaust fan* pada area yang terdeteksi di atas ambang batas aman juga akan menyala untuk membuang CO₂ ke udara luar. Sinyal jaringan internet juga sangat berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengirim hasil deteksi CO₂ dan pemberitahuan bahaya maupun menerima hasil deteksi sensor CO₂.

Pembahasan

Pembahasan penelitian dilakukan dengan tujuan untuk melakukan penyajian informasi data untuk mendapatkan informasi yang berguna. Pembahasan disini meliputi, Pengujian Presisi Sensor, Pengujian Fungsi Alat, Pengujian *Bot Telegram Request*, Pengujian *Bot Telegram Receive*.

1) Pembahasan Pengujian Fungsi Alat

Pengujian fungsi alat adalah langkah krusial untuk memastikan bahwa alat atau sistem beroperasi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasinya. Pengujian fungsi alat dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat. Proses pengujian dilakukan dengan menyemprotkan gas CO₂ ke berbagai area prototipe sampai *buzzer* berbunyi dan *exhaust fan* menyala akibat nilai gas yang melebihi batas yang ditentukan. Pengujian

fungsi alat *buzzer* dan *exhaust fan* akan menyala jika kadar CO₂ di atas nilai 600 ppm sesuai dengan ambang batas aman kadar CO₂ di udara yang sudah diatur di dalam program. Sesuai dengan tabel 4 data pengujian fungsi alat pendeteksi kebocoran CO₂ menunjukkan apabila sensor mendeteksi CO₂ di atas 600 ppm maka *exhaust fan* pada setiap area yang terdeteksi akan menyala dan juga akan ada *alarm* dari *Buzzer*. Dengan hasil penelitian pada tabel 4 maka sistem berjalan dengan baik sesuai dengan program yang sudah diatur.

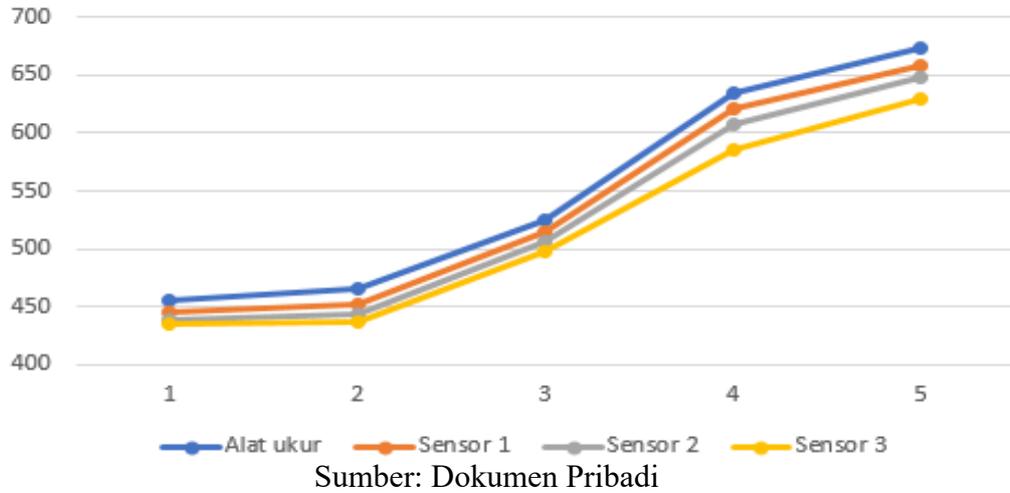
2) Pembahasan Pengujian Keakuratan Sensor

Pengujian keakuratan sensor adalah aspek penting dalam memastikan bahwa sensor berfungsi sesuai dengan spesifikasinya dan dapat diandalkan dalam aplikasi nyata. Pengujian keakuratan sensor bertujuan untuk memastikan bahwa sensor bekerja dengan benar dan memberikan hasil yang akurat. Pengujian dilakukan sebanyak 15 kali dengan menggunakan 3 jenis gas yang berbeda sebagai objek penelitian. Ada gas Butana, Gas Karbon monoksida, dan juga Gas Karbon dioksida. Ketiga gas disebarkan secara bergantian ke dalam *box* prototipe, dari ketiga gas tersebut sensor tidak dapat mendeteksi gas Butana dan Gas Karbon monoksida dengan baik sesuai dengan spesifikasi sensor. Dapat dilihat pada tabel 3 pada saat gas Butana dan Gas Karbon monoksida disebarkan ke dalam prototipe sensor tidak mengalami perubahan yang signifikan pada hasil deteksinya. Sedangkan gas CO₂ berhasil dideteksi dengan baik dan komponen lainnya pada prototipe berfungsi dan berkerja sesuai dengan program yang sudah diatur pada sistem jika sensor mendeteksi CO₂ melebihi ambang batas aman 600 ppm maka *buzzer* akan berbunyi dan *exhaust fan* akan menyala. Dilihat dari hasil penelitian pada tabel 3 pengujian keakuratan sensor menunjukkan kerja sistem berjalan dengan baik sesuai dengan program yang sudah diatur pada sistem.

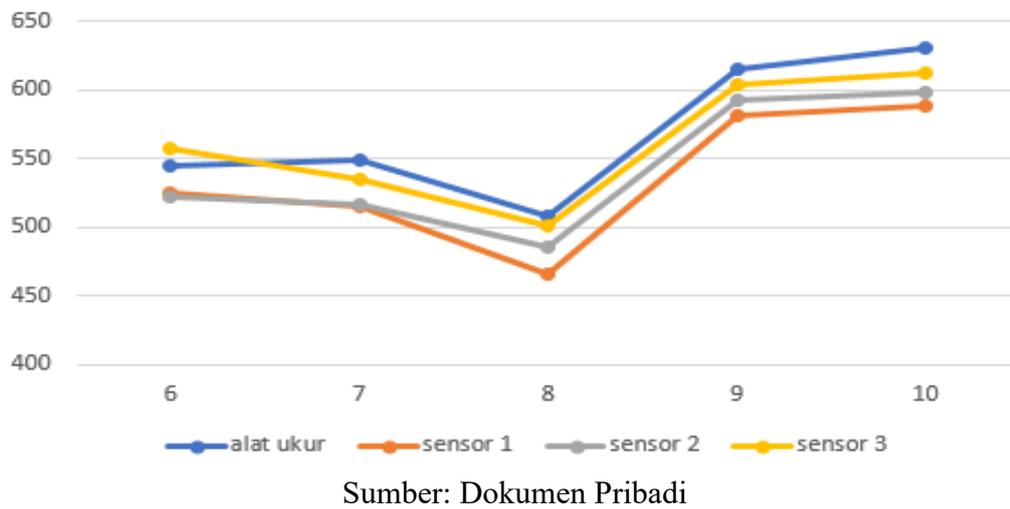
3) Pembahasan Pengujian Presisi Sensor

Pengujian presisi sensor bertujuan untuk mengevaluasi akurasi sensor sehingga sensor tersebut dapat mengukur nilai gas dengan tepat sesuai kondisi sebenarnya. Namun, saat melakukan perhitungan nilai *error* pada setiap percobaan, sering kali ditemukan tingkat nilai *error* yang bervariasi atau tidak konsisten. Di mana kadang-kadang menghasilkan nilai *error* yang tinggi dan kadang-kadang menghasilkan nilai *error* yang rendah. Ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor seperti kondisi lingkungan, perubahan karakteristik sensor, dan kualitas peralatan pengukur. Untuk melihat grafik pengujian presisi alat pendeteksi polusi udara menggunakan alat ukur CO₂, dapat

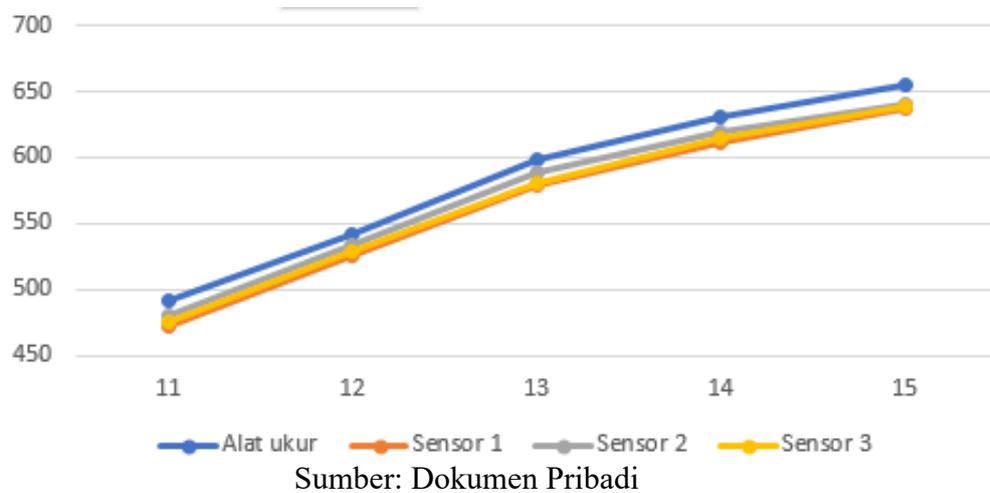
merujuk pada Gambar 20 sampai gambar 22 Grafik pengujian presisi sensor dibagi menjadi 3 bagian sesuai dengan area CO₂ disebarakan.



Gambar 20. Grafik hasil sensor menyebarkan CO₂ di bagian kiri box



Gambar 21. Grafik hasil sensor menyebarkan CO₂ di bagian kanan box



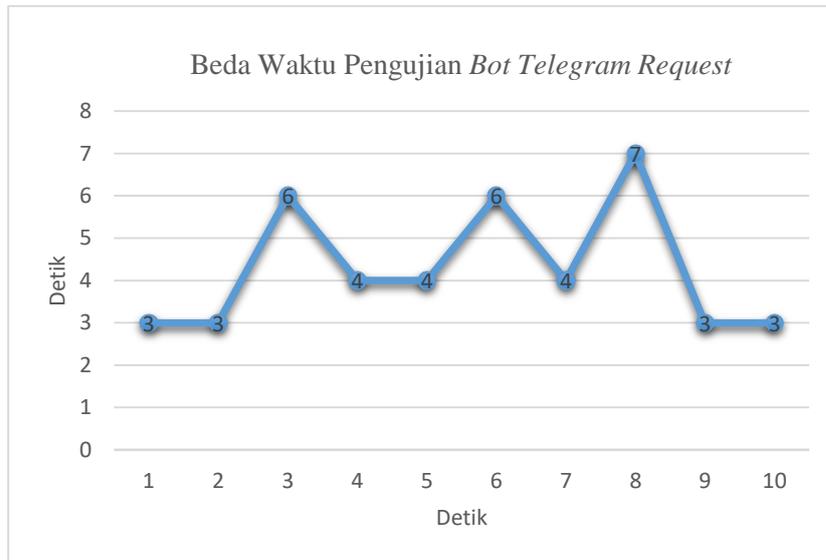
Gambar 22. Grafik hasil sensor menyebarkan CO₂ di bagian tengah box

Berdasarkan Gambar 20 sampai Gambar 22, tingkat presisi pembacaan alat pendeteksi kebocoran CO₂ dengan alat ukur CO₂ menunjukkan selisih rata-rata nilai *error* sebesar 3,5%. Nilai *error* tersebut masih berada dalam kategori selisih yang aman, dan prototipe berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. *Error* pada masing-masing sensor memiliki rata-rata yang cukup rendah seperti pada tabel 4.2 sensor MQ-135 1 memiliki rata-rata *error* 3,8% dan pada sensor MQ-135 2 memiliki rata-rata 3,5% sedangkan pada sensor MQ-135 3 memiliki rata-rata *error* 3,5% sehingga rata-rata *error* dari pengujian presisi sensor ini sebesar 3,5%.

4) Pembahasan Pengujian *Bot Telegram*

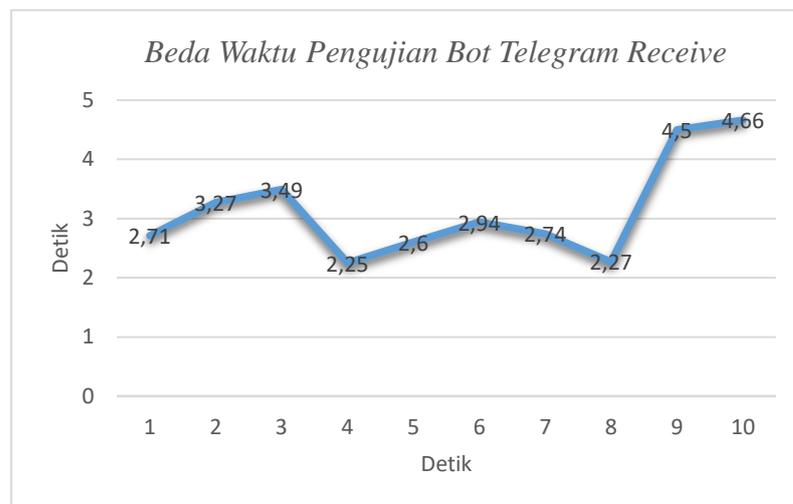
Pengujian *Bot Telegram* dilakukan untuk menguji apakah semua fitur *Bot Telegram* berfungsi dengan benar dan merespons perintah dengan cepat tanpa kesalahan. Pengujian *Bot Telegram* melibatkan beberapa tahap untuk memastikan bot berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Peneliti membagi *Bot Telegram* menjadi 2 bagian yaitu *Bot Telegram Request* dan *Bot Telegram receive*. Pada penelitian ini *Bot Telegram* memiliki 2 fungsi sehingga *Bot Telegram* dibagi menjadi 2. *Bot Telegram request* berfungsi sebagai alat bantu monitoring ruang penyimpanan CO₂ dari jarak jauh. Sedangkan *Bot Telegram Receive* digunakan sebagai pengirim sinyal bahaya apabila sensor mendeteksi CO₂ di atas ambang batas yang sudah ditentukan sebesar 600 ppm. Pengujian *Bot Telegram Request* dilakukan untuk mengetahui kelancaran sistem ini dalam memberikan *output* secara *wireless*. *Bot Telegram Request* digunakan untuk dapat memonitoring ruang penyimpanan tabung gas CO₂. Pengujian *Bot Telegram Request* melibatkan beberapa tahap untuk memastikan bot berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Tahap pertama *Bot Telegram Request* harus dapat mengirimkan kode yang sudah diatur di dalam sistem ke mikrokontroler. Tahap kedua mikrokontroler semestinya dapat menerima kode yang diberikan dan menjalankan tugas sesuai dengan perintah dan dapat mengirimkan pesan sesuai dengan kode yang dikirimkan. Sedangkan pengujian *Bot Telegram Receive* dilakukan untuk mengetahui kelancaran sistem ini dalam memberikan *output* secara *wireless* berupa sinyal pemberitahuan bahaya. *Bot Telegram Receive* pada sistem ini dibutuhkan sebagai media untuk indikator secara *wireless*, *Bot Telegram Receive* akan mengirimkan data hasil deteksi sensor dan juga notifikasi apabila sensor mendeteksi kadar CO₂ di atas ambang batas aman yang sudah diatur di dalam sistem. Ambang batas aman di dalam sistem diatur 600 ppm, jadi apabila sensor mendeteksi kadar CO₂ melebihi 600 ppm maka sistem akan otomatis mengirimkan peringatan melalui pesan

pada *Bot Telegram Receive*. Selanjutnya untuk melihat grafik pengujian *Bot Telegram Request* dapat dilihat pada gambar 23 dan 24.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 23. Grafik Pengujian *Bot Telegram Request*



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 24. Grafik Pengujian *Bot Telegram Receive*

Dapat dilihat dari data pada gambar 23 dan gambar 24 beda waktu yang dibutuhkan *Bot Telegram Request* untuk dapat mengirimkan hasil deteksi kadar CO₂ sedikit lebih lama dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan *Bot Telegram Receive* untuk dapat mengirimkan pemberitahuan apabila sensor mendeteksi konsentrasi CO₂ lebih dari 600 ppm. Hal itu disebabkan karena *Bot Telegram Request* harus mengirimkan kode yang sudah diatur di dalam program ke sistem terlebih dahulu agar sistem dapat memproses perintah yang diberikan oleh *Bot Telegram Request*.

Sedangkan *Bot Telegram Receive* membutuhkan waktu yang lebih sedikit dibandingkan dengan *Bot Telegram Request*, karena *Bot Telegram Receive* tidak perlu mengirimkan kode yang sudah diatur di dalam program ke sistem sebagai perintah. *Bot Telegram Receive* akan otomatis menerima pesan notifikasi apabila ada sensor yang mendeteksi kadar CO₂ melebihi batas aman 600 ppm. Karena tidak harus mengirimkan perintah jadi waktu yang dibutuhkan *Bot Telegram Receive* untuk dapat menerima pesan notifikasi lebih cepat dengan rata-rata 2,9 detik dibandingkan dengan *Bot Telegram Request* yang membutuhkan waktu dengan rata-rata 4,3 detik. Namun pengoperasian *Bot Telegram* dipengaruhi oleh sinyal jaringan internet karena untuk dapat menghubungkan sistem dengan *Bot Telegram* dibutuhkan sinyal jaringan internet. Jadi apabila sinyal jaringan internet terganggu maka *Bot Telegram* dan sistem pada alat ini akan kesulitan untuk saling terhubung.

5. PENUTUP

simpulan

Berdasarkan dengan hasil pengujian yang telah dilakukan sesuai rencana yang telah ditentukan sebelumnya untuk menjawab rumusan masalah yang dibuat maka dilakukan pengujian menggunakan metode pengujian statis dan dinamis yang telah dianalisis datanya setelah dilakukan perakitan sistem keselamatan terhadap gas CO₂ dalam ruang penyimpanan tabung gas CO₂ dengan menggunakan *output wireless Bot Telegram* dan didapatkan kesimpulan bahwa:

- a) Sistem keselamatan terhadap gas CO₂ dalam ruang penyimpanan tabung gas CO₂ berhasil dirancang dengan komponen yang sudah diuji, sistem ini berhasil dirancang untuk mengantisipasi bahaya dari kebocoran ruang penyimpanan tabung gas CO₂. *Raspberry Pi Pico W* digunakan sebagai pusat pengolahan data dalam protokol ini. Dengan *input* berupa *Bot Telegram Request*, sensor CO₂ MQ-135 dan *output Bot Telegram Receive*, *buzzer* yang berfungsi sebagai *alarm* pengingat, dan *exhaust fan* yang berfungsi untuk mengurangi kadar CO₂ yang berlebihan di udara. Semua proses, dari perancangan sistem hingga perakitan dan pengujian alat, berjalan dengan baik. *Bot Telegram* yang telah dirancang dapat terhubung dengan *Handphone Crew* dari jarak jauh, untuk menginformasikan data pembacaan sensor MQ-135. Sistem keselamatan terhadap gas CO₂ dalam ruang penyimpanan tabung gas CO₂ memiliki fitur monitoring data dari jarak jauh dengan menggunakan *Bot Telegram request*. *Bot Telegram receive*

juga dapat mengirimkan data serta pesan peringatan otomatis apabila sensor mendeteksi kadar CO₂ di atas ambang batas sebesar 600 ppm.

- b) Perancangan sistem keselamatan terhadap gas CO₂ dalam ruang penyimpanan tabung gas CO₂ telah diuji dan semua komponen pada prototipe berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Keakuratan sensor sudah diuji dan didapatkan jumlah *error* rata-rata 3,5%. Dengan rata-rata nilai *error* yang relatif rendah maka seluruh fungsi komponen pada prototipe berjalan dengan lancar sesuai dengan yang diharapkan dan dapat memberikan hasil yang akurat. Sensor juga akurat dalam mendeteksi gas CO₂ tidak terganggu dengan gas jenis lain pada ruang penyimpanan tabung gas CO₂ dan bisa dipastikan bahwa sensor bekerja dengan benar dan memberikan hasil yang dapat diandalkan. Fungsi-fungsi pada sistem ini jika diaplikasikan akan optimal dan dapat bekerja sesuai dengan spesifikasinya. Pengujian Bot Telegram *Request* membutuhkan waktu 3 sampai 7 detik untuk dapat menerima *request* hingga mengirimkan hasil deteksi sensor sesuai dengan *request* yang dikirimkan sehingga rata-rata waktu dari pengujian Bot Telegram *Request* adalah 4,3 detik. Berbeda dengan pengujian Bot Telegram *Receive* yang memiliki total rata-rata waktu 2,9 detik. Waktu yang dibutuhkan Bot Telegram *Receive* lebih singkat dikarenakan Bot Telegram *Receive* tidak perlu mengirimkan perintah atau *request* ke sistem untuk dapat menerima hasil deteksi sensor. Bot Telegram *Receive* akan otomatis menerima hasil deteksi sensor apabila sensor mendeteksi CO₂ melebihi 600 ppm, sehingga membuat pada pengujian Bot Telegram *Receive* waktu yang dibutuhkan Bot Telegram *Receive* lebih cepat dibandingkan dengan Bot Telegram *Request*.

Saran

Berdasarkan pembuatan dan pengujian alat yang dilakukan, peneliti menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam desain sistem keselamatan untuk gas CO₂ di ruang penyimpanan tabung gas CO₂ ini. Maka dari itu peneliti mengharapkan nantinya pada penelitian ini digunakan sebagai evaluasi bahan untuk penelitian selanjutnya. Berdasarkan simpulan di atas peneliti akan memaparkan beberapa saran sebagai berikut :

- a) Alat ini dapat dikembangkan lebih lanjut di masa depan untuk meningkatkan akurasi sensor sehingga lebih presisi dalam mendeteksi kadar CO₂ dengan mengganti sensor MQ-135 menggunakan sensor MH-Z19 NDIR CO₂. karena sensor ini lebih efisien dan presisi dalam mendeteksi kadar CO₂.

- b) Menggunakan *Raspberry Pi Pico 5* sebagai pusat pengolahan data karena memiliki keunggulan kapasitas memori yang lebih besar dan CPU yang kuat, sehingga sistem dapat lebih cepat dan efisien dalam mengolah data. Perbaiki perakitan komponen dan tempat pengaman agar komponen terlindungi dengan baik dan aman dalam segala kondisi.

REFERENSI

- Akbar, M. F. (2021). Pemanfaatan Sensor MQ-135 Sebagai Monitoring Kualitas Udara Pada Aula Gedung Fasilkom.
- Kadarisman, M. (2016). Formulasi Kebijakan Sistem Transportasi Laut. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTranslog)*.
- Liandy, A. (2017). Rancang Bangun Pemantau Gas Berbahaya dan Suhu Pada Ruangan Melalui Website Berbasis Arduino.
- Manurung, M.J (2021). Door Security Design Using Fingerptint and Buzzer Alarm Based on Arduino.
- Megarani, B. (2019). Sistem Pengontrol Kaca Jendela Mobil Berdasarkan Deteksi Kadar CO₂.
- Nebath, E. (2014). Rancang Bangun Alat Pengukur Gas Berbahaya CO Dan CO₂ di Lingkungan Industri. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*.
- Prastyo, E. A. (2022). Penjelasan tentang Development Board Raspberry Pi Pico RP2040. *Arduino Indonesia*.
- Pratama, M. A. (2021). Perencanaan Program Kendali Alat Elektronik Rumah Tangga.
- Rahmat, S. (2022). The Implementation of NodeMCU ESP8266 for Smart Lamp in the Cilacap State Polytechnic Campus Area.
- Rezki, N. (2020). Rancang Bangun Prototipe Pengurang Bahaya Gas Polutan Dalam Ruangan Dengan Metode Elektrolisis Berbasis Mikrokontroler.
- Slamet Widodo, M. A. (2017). Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Udara Bersih Dan Gas Berbahaya CO, CO₂, Dan CH₄ Di Dalam Ruangan Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Pseudocode*.
- Subawani, W. (2019). Sistem Pengunci Otomatis Berbasis Arduino Menggunakan Password
- Suwandi, K. (2022). 5 Pekerja Kapal Tongkang Meninggal dalam Palka Kapal, Diduga Keracunan Gas Karbon Dioksida.
- Thomas, K. (2021). How to Protect Your Employees from Danger Using Hazardous Area Gas Sensors. *Nevada Nano*.

Thothadri, J. B. (2021). Fitness Monitoring System With Raspberry Pi Pico. *International Journal of Science Academic Research*.