

Robot Beroda Pendeteksi Gas Karbon Monoksida dan Metana Berbasis IoT Menggunakan Metode Finite State Machine dan Fuzzy Logic

Wira Adi Winata, Khairul Anam, dan Ali Rizal Chaidir
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Kampus Tegalboto, Jl. Kalimantan No. 37 Krajan Timur, Sumbersari, Jember 68121
e-mail: khairul@unej.ac.id

Abstrak—Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan kebutuhan penting yang diperlukan dalam pertambangan. Hal ini dikarenakan kegiatan dalam pertambangan memiliki risiko besar dan berkaitan dengan kondisi alam yang tidak dapat diprediksi. Salah satunya adalah bocornya gas berbahaya pada lokasi tambang yang diakibatkan oleh aktivitas pertambangan. Artikel ini mengusulkan sebuah robot beroda untuk mendeteksi gas karbon monoksida dan gas metana berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode Finite State Machine (FSM) dan *fuzzy logic*. Finite state machine (FSM) pada penelitian ini digunakan sebagai kontrol dari pergerakan robot, sedangkan *fuzzy logic* digunakan sebagai klasifikasi keamanan dari keadaan gas berbahaya yang terbaca. Hasil yang diperoleh adalah sistem yang telah dibuat mampu mendeteksi gas dan informasi tersebut berhasil dikirim ke sebuah web server. Selain itu penggunaan lidar dapat mendeteksi halangan yang ada disekitar robot.

Kata kunci: *gas metana, gas karbon monoksida, fuzzy logic, internet of things*

Abstract—Occupational Safety and Health (K3) is an important requirement needed in mining. This is because activities in mining have great risks and are associated with unpredictable natural conditions. One of them is the leakage of hazardous gas at the mine site caused by mining activities. This article proposes a wheeled robot to detect carbon monoxide gas and methane gas based on the Internet of Things (IoT) using Finite State Machine (FSM) and Fuzzy Logic. The finite state machine (FSM) in this study is used as a control of the robot's movement, while fuzzy logic is used as a safety classification of the readable state of dangerous gases. The results showed that the system was capable of detecting gas and the information is successfully sent to a web server. In addition, the use of lidar can detect obstacles around the robot.

Keywords: *methane gas, carbon monoxide gas, fuzzy logic, internet of things*

I. PENDAHULUAN

Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) merupakan kebutuhan yang sangat mutlak diperlukan manusia saat bekerja [1]. K3 sangat diutamakan dalam segala bidang pekerjaan, terutama pada bidang pekerjaan yang berhubungan secara langsung dengan kondisi alam yang tidak dapat diprediksi dan teknikal. Salah satu bidang pekerjaan yang mengutamakan K3 adalah pertambangan.

Bidang pertambangan merupakan pekerjaan yang berpotensi meraih keuntungan besar, karena nilai jual hasil tambang yang tinggi. Meskipun keuntungan yang diperoleh besar, namun risiko kerja yang dihadapi di pertambangan lebih tinggi [2]. Salah satu contohnya resiko bekerja di bidang pertambangan adalah kebocoran gas berbahaya pada lokasi penambangan yang dihasilkan oleh aktivitas pertambangan [3]. Kebocoran gas dapat menimbulkan kecelakaan kerja berupa gangguan pernafasan pingsan hingga kematian pada pekerja tambang ataupun kecelakaan berupa ledakan di area pertambangan [4].

Pada wilayah pertambangan terdapat gas alam yang memiliki risiko yang minim hingga sangat rentan untuk keselamatan penambang. Beberapa gas alam yang berbahaya dapat dikenali melalui baunya yang khas, seperti gas sulfur (S), dan klorin (Cl) [5]. Namun terdapat pula gas alam seperti metana (CH₄) dan karbon monoksida (CO) yang tidak berbau. Pada kasus ini manusia tidak dapat mengenali perbedaan gas tersebut dengan udara biasa. Hal tersebut menjadi penyebab terjadinya kecelakaan di daerah tambang diakibatkan oleh gas metana dan karbon monoksida. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan robot yang berfungsi sebagai pendeteksi gas metana dan karbon monoksida. Perkembangan mengenai pemanfaatan robot sebagai pendeteksi gas telah diterapkan dalam berbagai bidang, seperti alat pendukung proses pra evakuasi [6], sebagai penjelajah untuk kondisi yang tidak memungkinkan bagi manusia [7] dan untuk mendeteksi kebakaran [8].

Penelitian terdahulu yang berjudul "*Internet Of Things*

(IOT) Pada *Prototype* Pendeteksi Kebocoran Gas Berbasis MQ-02 dan SIM800L” [9] telah membuat *prototype* untuk mendeteksi kebocoran gas berbasis *internet of things* (IOT) menggunakan GSM Module SIM800L, data pembacaan kadar ppm dari gas yang dihasilkan dari tabung LPG dikirim ke Handphone berupa SMS. Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor gas tipe MQ-02. Kemampuan dari alat yang dihasilkan dari penelitian tersebut masih terbatas karena hanya membaca titik kebocoran gas pada satu titik dan data pembacaan gas yang dikirimkan berbentuk SMS.

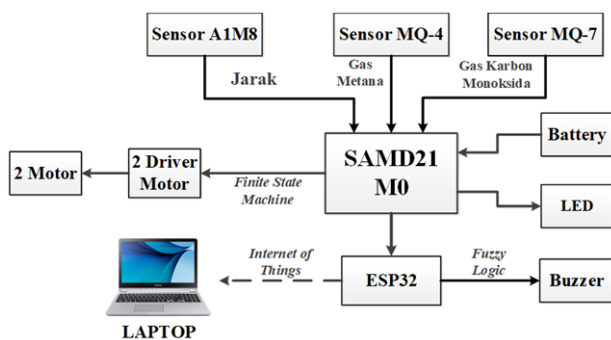
Penelitian yang lain yaitu tentang *mobile* robot dilakukan oleh Wardatul Ma’rufah pada tahun 2019, “Metode *Finite State Machine (FSM)* Pada Navigasi *Mobile Robot* Untuk *monitoring* Suhu Ruang”. Keterbatasan dari penelitian tersebut berada pada robot yang masih menggunakan sensor HC-SR04 sebanyak 5 buah yang kurang efisien, serta perangkat *internet of things* yaitu ESP8266 namun tidak beroperasi secara *real time*, karena robot memiliki *delay* selama 5 detik untuk komunikasi data dengan Android setiap 30 detik dalam kondisi berhenti [10].

Untuk menutupi beberapa kekurangan pada penelitian sebelumnya, penelitian ini dilakukan untuk merancang sebuah *prototype* robot pendeteksi gas karbon monoksida dan metana berbasis *Internet Of Things (IoT)* menggunakan metode *Finite State Machine (FSM)* dan *fuzzy logic*. Hal ini dilakukan untuk mengembangkan penelitian yang telah ada sebelumnya. *Finite state machine (FSM)* pada penelitian ini digunakan sebagai kontrol dari robot, metode ini memanfaatkan penghalang pada lingkungan robot sebagai objek untuk navigasi. Sedangkan *fuzzy logic* menggunakan metode Sugeno, sebagai klasifikasi keamanan dari gas yang terbaca dengan *buzzer* sebagai indikator keadaan. Dalam penelitian ini memanfaatkan dua macam gas yang diuji yaitu gas metana dan gas karbon monoksida.

II. METODE

A. Blok Diagram Alat

Pada Gambar 1 terdapat diagram blok dari alat yang digunakan untuk pengambilan data. Pada pembuatan *mobile* robot deteksi gas berbahaya dengan metode *finite*



Gambar 1. Blok diagram alat

state machine memiliki bagian berupa *input*, *process* dan *output*.

1. *Input*, terdiri dari 3 sensor, yaitu sensor jarak/LIDAR A1M8 berguna sebagai informasi robot membaca halangan disekitarnya, serta sensor gas MQ4 dan MQ7 yang digunakan untuk mendeteksi gas berbahaya sekitar robot untuk proses monitoring
2. *Process*, pada bagian ini menggunakan SAMD21M0 sebagai pengolah data dari input, dan mengirimkan informasi ke *output*
3. *Output*, terdiri atas komponen 2 motor DC, ESP32, dan *Buzzer*. Motor DC digunakan sebagai penggerak robot. ESP32 sebagai modul Wifi digunakan sebagai pengirim data ke android. Sedangkan *buzzer* sebagai indikator kondisi gas yang terbaca.

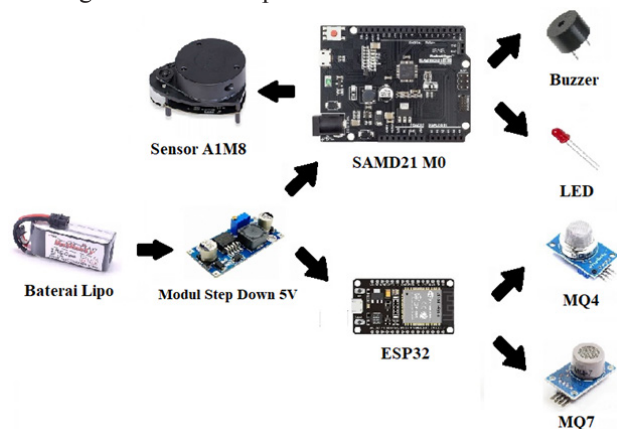
B. Rangkaian Keseluruhan Komponen

Pada Gambar 2 terdapat bagan rangkaian keseluruhan dari komponen penyusun *mobile* robot. Rangkaian *mobile* robot terdiri dari baterai 12 volt sebagai catu daya pada robot. Baterai dihubungkan dengan modul *stepdown* untuk memperoleh catu daya 5 volt. SAMD21 digunakan untuk mengendalikan sensor AIM8 motor dc, buzzer dan LED. Serta ESP32 digunakan untuk membaca kondisi gas dari sensor MQ4 dan sensor MQ7.

C. Diagram Finite State Machine (FSM)

Pada Gambar 3 terdapat diagram *finite state machine* dari proses navigasi robot. Terdapat 3 bagian penting yang dilakukan robot.

1. Robot bergerak secara acak [11]. Sensor digunakan untuk membaca jarak antara robot dengan penghalang yang selanjutnya akan menentukan *state* yang akan dijalankan robot hingga menuju *state* selanjutnya yaitu robot berubah arah gerak, ketika robot tidak menemukan penghalang maka robot akan tetap bergerak lurus ke depan.

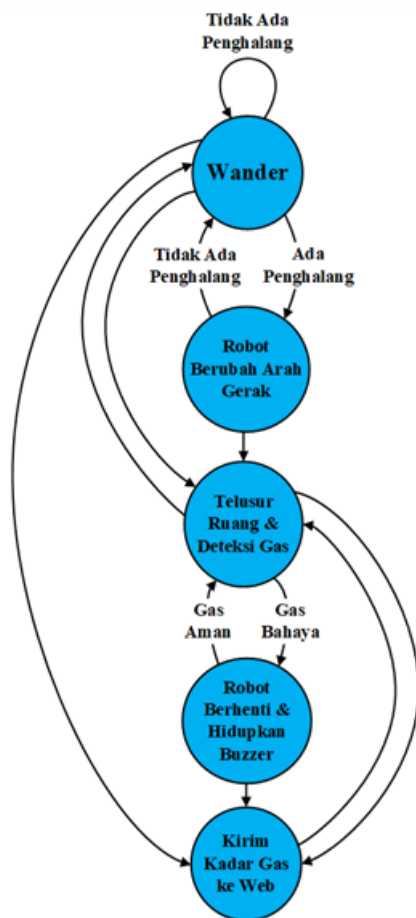


Gambar 2. Rangkaian keseluruhan komponen

2. Robot berubah arah gerak saat sensor jarak menemukan penghalang, jika penghalang terdeteksi maka robot akan bergerak sesuai ketentuan sensor sehingga tidak terjadi tabrakan dengan penghalang. Setelah itu dilanjutkan ke *state* telusur ruang dan deteksi gas. Jika tidak ada penghalang, maka robot akan kembali ke *state* pertama yaitu robot akan bergerak secara acak.
3. Robot menelusuri ruang dan mendeteksi gas, tindakan robot saat mendeteksi penghalang akan menyusuri ruangan dan saat sensor mendeteksi suatu halangan maka robot akan melakukan perilaku menghindari halangan. Ketika robot menelusuri ruangan, robot akan terus melakukan *monitoring* gas di dalam ruangan. Jika data gas pada kondisi Aman maka robot akan kembali ke *state* telusur ruang dan deteksi gas. Jika data gas pada kondisi Bahaya maka robot akan otomatis menghidupkan *buzzer* dan robot berhenti berjalan hingga kadar gas kembali ke kondisi aman.

D. Fuzzy Logic

Untuk merancang pengendali dalam penelitian ini, maka diterapkan *fuzzy logic* pada pendeteksian gas berbahaya dengan menggunakan metode Sugeno. Pengendali *fuzzy logic* akan mengevaluasi setiap *input crisp* berupa pembacaan gas metana dan karbon monoksida



Gambar 3. Rancangan diagram Finite State Machine

ke dalam tiga tahapan, yaitu *fuzzifikasi*, *inference engine* dan *defuzzifikasi* [12].

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses pemetaan *input crisp* ke dalam himpunan-himpunan *fuzzy* dalam bentuk fungsi keanggotaan [13]. Gambar 4 merepresentasikan grafik fungsi keanggotaan untuk dua *input* yaitu Metana dan Karbon Monoksida.

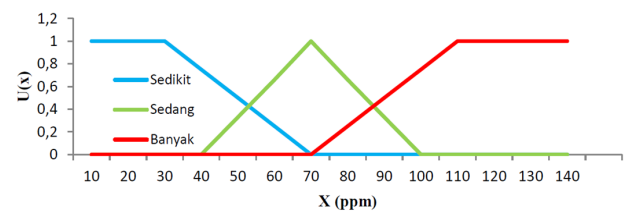
Gambar 4 merepresentasikan fungsi keanggotaan gas Karbon Monoksida menggunakan sensor MQ-4.

- Kadar Metana sedikit: fungsi linear yurun: $a=30$ $b=70$
- Kadar Metana sedang: fungsi linear segitiga: $a=40$ $b=70$ $c=100$
- Kadar Metana banyak: fungsi linear naik: $a=70$ $b=110$
- Gambar 5 merepresentasikan fungsi keanggotaan gas Karbon Monoksida menggunakan sensor MQ-7.
- Kadar CO sedikit: fungsi linear turun: $a=15$ $b=25$
- Kadar CO sedang: fungsi linear segitiga: $a=15$ $b=25$ $c=35$
- Kadar CO banyak: fungsi linear naik: $a=35$ $b=50$

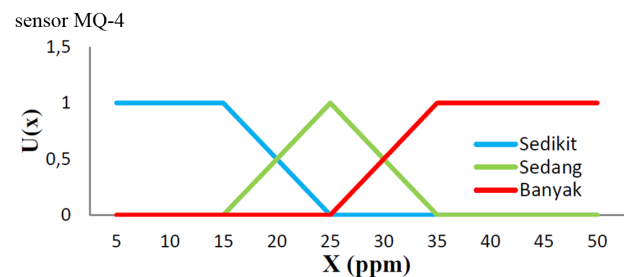
2. Inference Engine

Penalaran yang dilakukan untuk menentukan tingkat keamanan gas yang terdeteksi mengacu pada aturan dasar *fuzzy* yang ditentukan [14]. Aturan dasar *fuzzy* pada gas Karbon Monoksida dan gas Metana yang terdeteksi ditunjukkan pada Tabel 1. Basis aturan diatas berfungsi untuk menentukan kondisi *fuzzy* dari *output* yang berupa bunyi dari sebuah *buzzer* sebagai berikut :

- Pada saat kondisi **Waspada** maka *buzzer* berbunyi 1 kali secara kontinyu.
- Pada saat kondisi **Bahaya** maka *buzzer* berbunyi 2 kali secara kontinyu.



Gambar 4. Grafik fungsi keanggotaan untuk gas Metana menggunakan sensor MQ-4



Gambar 5. Grafik fungsi keanggotaan untuk gas Karbon Monoksida menggunakan sensor MQ-7

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil pengujian dari setiap komponen dan pengujian keseluruhan dari *mobile robot* pendeteksi gas karbon monoksida dan metana berbasis *Internet of Things (IOT)* menggunakan metode *Finite State Machine* dan *fuzzy logic*.

A. Pengujian Sensor MQ-4

Pengujian sensor MQ-4 untuk deteksi gas metana dilakukan dua kali percobaan,. Percobaan dilakukan dengan memberikan asap dari hasil pembakaran suatu bahan/sampel [15]. Didapatkan hasil pembacaan kadar ppm untuk gas metana menggunakan sensor MQ-4 pada tabel berikut:

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 di atas menunjukkan kandungan gas Metana pada asap pembakaran masing-masing sampel nilainya berbeda-beda bahkan dengan jumlah kuantitas sampel yang lebih banyak, hal tersebut bisa terjadi akibat pengaruh dari udara yang membawa asap pembakaran tersebut lebih menyebar dan asap yang masuk ke sensor menjadi lebih sedikit. Dari hasil pengujian yang dilakukan, sensor MQ-4 menunjukkan hasil pembacaan yang sensitif untuk mendeteksi gas Metana.

B. Pengujian Sensor MQ-7

Pengujian sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas Karbon Monoksida dilakukan dua kali percobaan seperti pada pengujian sensor MQ-4. Diperoleh hasil pembacaan kadar

Tabel 1. Basis aturan gas Metana dan Karbon Monoksida

| | | Gas Karbon Monoksida | | | |
|------------|------------|----------------------|---------|--------|--|
| Gas Metana | Intensitas | Sedikit | Sedang | Banyak | |
| | Sedikit | Aman | Waspada | Bahaya | |
| | Sedang | Waspada | Waspada | Bahaya | |
| | Banyak | Bahaya | Bahaya | Bahaya | |

Tabel 2. Pengujian ke-1 pembacaan gas Metana dengan sensor MQ-4

| No. | Sumber gas | Waktu Pembacaan | Kadar ppm | Perubahan kadar ppm |
|-----|-----------------------------|-----------------|-----------|---------------------|
| 1. | Asap pembakaran kertas | Detik ke-0 | 0,42 | 25 |
| | | Detik ke-1 | 5,92 | |
| | | Detik ke-2 | 13,75 | |
| | | Detik ke-3 | 25,92 | |
| 2. | Asap pembakaran obat nyamuk | Detik ke-0 | 1,35 | 23,29 |
| | | Detik ke-1 | 4,75 | |
| | | Detik ke-2 | 12,53 | |
| | | Detik ke-3 | 24,64 | |
| 3. | Asap pembakaran rokok | Detik ke-0 | 3,97 | 127,42 |
| | | Detik ke-1 | 12,03 | |
| | | Detik ke-2 | 82,24 | |
| | | Detik ke-3 | 131,39 | |

ppm untuk gas Karbon Monoksida menggunakan sensor MQ-7 seperti pada tabel berikut:

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 di atas menunjukkan kandungan kadar ppm dari gas Larbon Monoksida terbaca lebih kecil daripada kadar ppm gas Metana pada hasil pembakaran ketiga sampel yang kita gunakan. Pada gas Metana kadar ppm yang tertinggi yaitu sebesar kurang lebih 150 ppm, sedangkan pada gas Karbon Monoksida yang tertinggi terbaca kurang lebih 50 ppm. Hal ini sesuai dengan kandungan gas Metana dan gas Karbon Monoksida dari asap hasil pembakaran.

C. Pengujian Keamanan Gas

Pada penelitian ini, *fuzzy logic* berfungsi untuk klasifikasi tingkat keamanan kedua gas yang terbaca oleh sensor yaitu gas Metana dan gas Karbon Monoksida. Kita menggunakan sebuah *buzzer* sebagai penanda tingkat keamanan gas, dengan membaca kadar ppm dari gas Metana dan gas Karbon Monoksida yang terbaca oleh sensor.

Tabel 3. Pengujian ke-2 pembacaan gas Metana dengan sensor MQ-4

| No. | Sumber gas | Waktu Pembacaan | Kadar ppm | Perubahan kadar ppm |
|-----|------------------------------------|-----------------|-----------|---------------------|
| 1. | Asap pembakaran 2 lembar kertas | Detik ke-0 | 0,84 | 109,68 |
| | | Detik ke-1 | 7,23 | |
| | | Detik ke-2 | 38,26 | |
| | | Detik ke-3 | 110,52 | |
| 2. | Asap pembakaran 2 buah obat nyamuk | Detik ke-0 | 1,95 | 33,55 |
| | | Detik ke-1 | 13,93 | |
| | | Detik ke-2 | 31,32 | |
| | | Detik ke-3 | 35,5 | |
| 3. | Asap pembakaran 2 batang rokok | Detik ke-0 | 1,67 | 104,83 |
| | | Detik ke-1 | 16,1 | |
| | | Detik ke-2 | 40,21 | |
| | | Detik ke-3 | 106,5 | |

Tabel 4. Pengujian ke-1 deteksi gas CO dengan sensor MQ-7

| No. | Sumber gas | Waktu Pembacaan | Kadar ppm | Perubahan kadar ppm |
|-----|-----------------------------|-----------------|-----------|---------------------|
| 1. | Asap pembakaran kertas | Detik ke-0 | 5,83 | 41,46 |
| | | Detik ke-1 | 13,89 | |
| | | Detik ke-2 | 29,86 | |
| | | Detik ke-3 | 47,29 | |
| 2. | Asap pembakaran obat nyamuk | Detik ke-0 | 8,37 | 30,43 |
| | | Detik ke-1 | 15,03 | |
| | | Detik ke-2 | 26,87 | |
| | | Detik ke-3 | 38,8 | |
| 3. | Asap pembakaran rokok | Detik ke-0 | 9,03 | 32,01 |
| | | Detik ke-1 | 19,67 | |
| | | Detik ke-2 | 25,63 | |
| | | Detik ke-3 | 41,04 | |

Dengan menggunakan data yang sudah kita ambil pada saat percobaan sebelumnya, kita akan mencoba mengklasifikasi tingkat keamanannya. Berikut adalah data pembacaan gas yang sudah kita ambil pada saat percobaan sebelumnya.

Pada Tabel 6 merupakan hasil pengujian perubahan kadar gas yang dilakukan pada percobaan sebelumnya. Penerapan *fuzzy logic* digunakan untuk mengubah *input* berupa perubahan kadar gas Metana dan perubahan kadar gas Karbon Monoksida. Sehingga mendapatkan keluaran berupa suara dari *buzzer*. Dalam mengklasifikasi tingkat keamanan gas akan digunakan *Fuzzy Interface System* (FIS) dengan metode Sugeno Orde-No1. Data perubahan kadar gas di atas jika diimplementasi ke dalam grafik ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Nilai keanggotaan dari grafik pada Gambar 6:

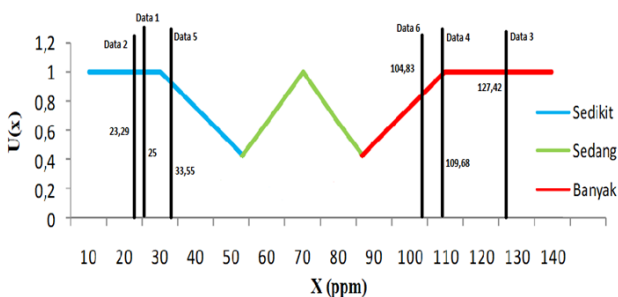
- Data 1 : Sedikit = 1, Sedang = 0, Banyak = 0.
- Data 2 : Sedikit = 1, Sedang = 0, Banyak = 0.
- Data 3 : Sedikit = 0, Sedang = 0, Banyak = 1.
- Data 4 : Sedikit = 0, Sedang = 0, Banyak = 1.
- Data 5 : Sedikit = 0,9, Sedang = 0, Banyak = 0.
- Data 6 : Sedikit = 0, Sedang = 0, Banyak = 0,8.

Nilai keanggotaan dari grafik pada Gambar 7:

- Data 1 : Sedikit = 0, Sedang = 0, Banyak = 1.
- Data 2 : Sedikit = 0, Sedang = 0,5, Banyak = 0,5.

Tabel 5. Pengujian je-2 deteksi gas CO dengan sensor MQ-7

| No. | Sumber gas | Waktu Pembacaan | Kadar ppm | Perubahan kadar ppm |
|-----|------------------------------------|-----------------|-----------|---------------------|
| 1. | Asap pembakaran 2 lembar kertas | Detik ke-0 | 13,24 | 29,10 |
| | | Detik ke-1 | 18,30 | |
| | | Detik ke-2 | 30,65 | |
| | | Detik ke-3 | 42,34 | |
| 2. | Asap pembakaran 2 buah obat nyamuk | Detik ke-0 | 9,55 | 21,10 |
| | | Detik ke-1 | 21,28 | |
| | | Detik ke-2 | 25,63 | |
| | | Detik ke-3 | 30,65 | |
| 3. | Asap pembakaran 2 batang rokok | Detik ke-0 | 9,03 | 24,95 |
| | | Detik ke-1 | 17,11 | |
| | | Detik ke-2 | 25,63 | |
| | | Detik ke-3 | 33,98 | |



Gambar 6. Grafik data perubahan kadar gas Metana yang terbaca sensor MQ4

- Data 3 : Sedikit = 0, Sedang = 0,25, Banyak = 0,6.
- Data 4 : Sedikit = 0, Sedang = 0,65, Banyak = 0,35.
- Data 5 : Sedikit = 0,35, Sedang = 0,6, Banyak = 0.
- Data 6 : Sedikit = 0, Sedang = 0,9, Banyak = 0.

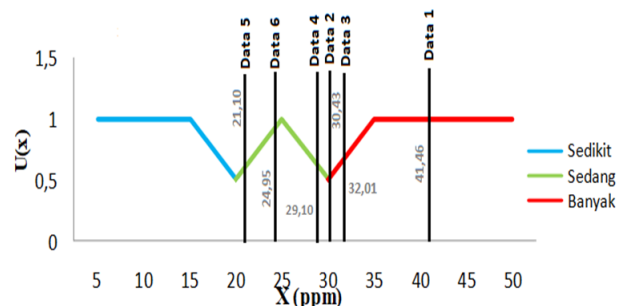
Kedua grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7 akan dikonversi ke kondisi keamanan gas (Aman, Waspada atau Bahaya) setelahnya diproses oleh mikrokontroler SAMD21 untuk mengaktifkan *buzzer*. Jika pembacaan gas menunjukkan kondisi Waspada maka *buzzer* akan berbunyi 1 kali secara berulang-ulang atau kontinyu, sedangkan jika pembacaan gas menunjukkan kondisi Bahaya maka *buzzer* akan berbunyi 2 kali secara berulang-ulang atau kontinyu.

Penentuan kondisi keamanan gas dilakukan dengan proses penalaran *max-min* dan *defuzzifikasi* dengan metode Sugeno orde nol. Berdasarkan data yang telah diperoleh, maka didapatkan hasil kondisi keamanan gas seperti pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7 menunjukkan bahwa hasil pembakaran sampel yang digunakan, menunjukkan kondisi Waspada hingga Bahaya. Kondisi Waspada dikarenakan salah satu sensor gas membaca kandungan kadar gas sedang dan mengakibatkan *buzzer* berbunyi 1 kali. Sedangkan saat kondisi Bahaya dikarenakan salah satu sensor gas membaca kandungan kadar gas banyak dan mengakibatkan *buzzer* berbunyi 2 kali.

Tabel 6. Data pembacaan perubahan kadar gas Metana dan Karbon Monoksida

| No. | Sumber Gas | Perubahan Kadar Gas Metana (ppm) | Perubahan Kadar Gas Karbon Monoksida (ppm) |
|-----|------------------------------------|----------------------------------|--|
| 1. | Asap pembakaran kertas | 25 | 41,46 |
| 2. | Asap pembakaran obat nyamuk | 23,29 | 30,43 |
| 3. | Asap pembakaran rokok | 127,42 | 32,01 |
| 4. | Asap pembakaran 2 lembar kertas | 109,68 | 29,10 |
| 5. | Asap pembakaran 2 buah obat nyamuk | 33,55 | 21,10 |
| 6. | Asap pembakaran 2 batang rokok | 104,83 | 24,95 |



Gambar 7. Grafik data perubahan kadar gas Karbon Monoksida yang terbaca sensor MQ7

D. Pengujian Internet of Things (IoT)

Pada Tabel 8 dapat dilihat proses pengiriman data dari sensor MQ4 dan MQ7 bersamaan ke *thinger.io*. Hasil dari pengujian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [9], terlihat bahwa penggunaan IoT berbasis web dapat menampilkan informasi yang lebih menarik, terutama bagian tampilan grafik, sehingga operator lebih mudah

Tabel 7. Data indikator pembacaan tingkat keamanan kadar gas Metana dan Karbon Monoksida

| No. | Sumber Gas | Kadar Gas CH4 | Kadar Gas CO | Kondisi | Buzzer |
|-----|------------------------------------|---------------|--------------|---------|--------------|
| 1. | Asap pembakaran kertas | Sedikit | Banyak | Bahaya | Bunyi 2 kali |
| 2. | Asap pembakaran obat nyamuk | Sedikit | Banyak | Bahaya | Bunyi 2 kali |
| 3. | Asap pembakaran rokok | Banyak | Banyak | Bahaya | Bunyi 2 kali |
| 4. | Asap pembakaran 2 lembar kertas | Banyak | Sedang | Bahaya | Bunyi 2 kali |
| 5. | Asap pembakaran 2 buah obat nyamuk | Sedikit | Sedang | Waspada | Bunyi 1 kali |
| 6. | Asap pembakaran 2 batang rokok | Banyak | Sedang | Bahaya | Bunyi 2 kali |

Tabel 8. Tampilan data sensor MQ4 dan MQ7 pada *thinger.io*

| No. | Kondisi | Tampilan di web <i>thinger.io</i> |
|-----|--|-----------------------------------|
| 1. | Sebelum sensor MQ4 dan MQ7 membaca kadar gas | Ditampilkan pada Gambar 8 |
| 2. | Saat sensor MQ4 dan MQ7 membaca kadar gas | Ditampilkan pada Gambar 9 |
| 3. | Setelah sensor MQ4 dan MQ7 membaca kadar gas | 10Ditampilkan pada Gambar 8 |



Gambar 8. Tampilan *Thinger.io* Sebelum Sensor MQ4 dan MQ7 Membaca Kadar Ga

untuk melihat tren data sebelumnya.

Pada Tabel 8 merupakan tampilan yang menunjukkan proses pembacaan sensor MQ4 dan sensor MQ7 bersamaan serta perubahannya sebelum pembacaan pada Gambar 8, proses saat pembacaan pada Gambar 9 sampai proses setelah pembacaan pada Gambar 10, Sedangkan penjabaran nilai yang tertera pada *website* disajikan pada Tabel 9.

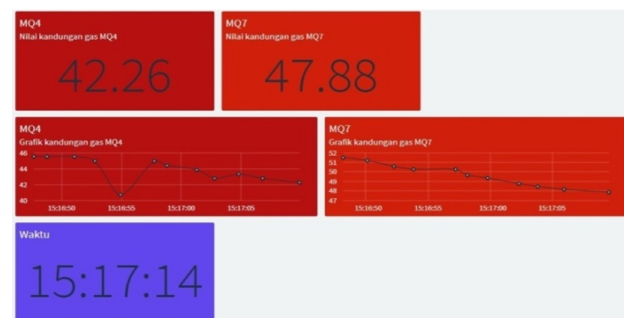
Dari data yang diambil sebelum pembacaan yaitu pada pukul 15:13:27 membaca nilai gas yang dibaca sensor MQ4 sebesar 11,25 ppm dan sensor MQ7 sebesar 19,82 ppm. Saat kedua sensor membaca adanya gas yang kita berikan pada pukul 15:15:57, kadar gas yang terbaca sensor MQ4 sebesar 96,51 ppm dan sensor MQ7 sebesar 74,30 ppm. Setelah beberapa saat sensor membaca gas metana dan karbon monoksida pada pukul 15:17:14, kadar

Tabel 9. Pengiriman nilai Sensor MQ4 dan MQ7 bersamaan ke *thinger.io*

| No. | Kondisi | Waktu (jj:mm:dd) | Pembacaan sensor MQ4 (ppm) | Pembacaan sensor MQ7 (ppm) |
|-----|--|------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1. | Sebelum Sensor MQ4 dan MQ7 Membaca Kadar Gas | 15:13:27 | 11,25 | 19,82 |
| 2. | Saat Sensor MQ4 dan MQ7 Membaca Kadar Gas | 15:15:57 | 88,54 | 74,30 |
| 3. | Setelah Sensor MQ4 dan MQ7 Membaca Kadar Gas | 15:17:14 | 42,26 | 47,88 |



Gambar 9. Tampilan *Thinger.io* Saat Sensor MQ4 dan MQ7 Membaca Kadar Gas



Gambar 10. Tampilan *Thinger.io* Setelah Sensor MQ4 dan MQ7 Membaca Kadar Gas

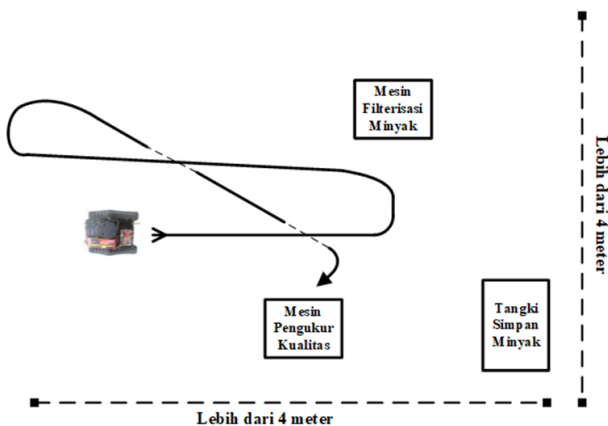
gas yang terbaca sensor MQ4 menjadi 42,26 ppm dan yang terbaca sensor MQ7 sebesar 47,88 ppm.

E. Pengujian Pada Ruang Outdoor dengan Penghalang (Ruang Pabrik Pengolahan Minyak Tiruan)

Pada pengujian ini robot diletakkan pada ruangan pabrik pengolahan minyak tiruan sebagai contoh ruangan outdoor dengan penghalang. Posisi robot awalnya diletakkan di tengah ruangan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 11, proses awal yaitu robot bergerak maju menelusuri ruangan dan proses monitoring kadar gas. Posisi robot akan berada pada tahap state awal yaitu wander, setelah robot membaca halangan, maka robot akan bergerak menghindar. Selama robot menelusuri ruangan, robot selalu melakukan pembacaan gas secara berkala (realtime) dan data akan dikirim ke web thinger.io dan akan ditampilkan pada Android melalui browser agar bisa dilihat oleh pengguna dari jarak jauh. Ketika robot mendeteksi gas yang diatas batas aman yang telah ditentukan, maka buzzer akan berbunyi dan robot akan berhenti bergerak hingga gasnya berkurang melewati batas yang telah ditentukan. Robot dapat melanjutkan wander setelah kondisi gas aman.



Gambar 11. Robot memulai proses pengujian keseluruhan pada ruangan pabrik pengolahan minyak tiruan



Gambar 12. Trayektori proses pengujian leseluruhan pada ruangan pabrik pengolahan minyak tiruan

Hasil perancangan perangkat lunak dinyatakan dalam bentuk diagram Finite State Machine (FSM) untuk menunjukkan keadaan sistem berdasarkan pembacaan sensor [16]. Robot mengalami beberapa kali kegagalan pada saat pengujian robot secara keseluruhan robot dengan FSM. Namun dengan bantuan LIDAR AIM 8, kegagalan yang terjadi dapat diminimalkan dibandingkan dengan menggunakan ultrasonik biasa seperti pada penelitian sebelumnya [10].

Pada Tabel 10 dan Gambar 13 robot melakukan proses pengiriman data secara terus menerus, sebagai sampel kita mengambil data yang dikirimkan ke web sebanyak 3 kali selama proses menelusuri ruangan pabrik pengolahan minyak tiruan.

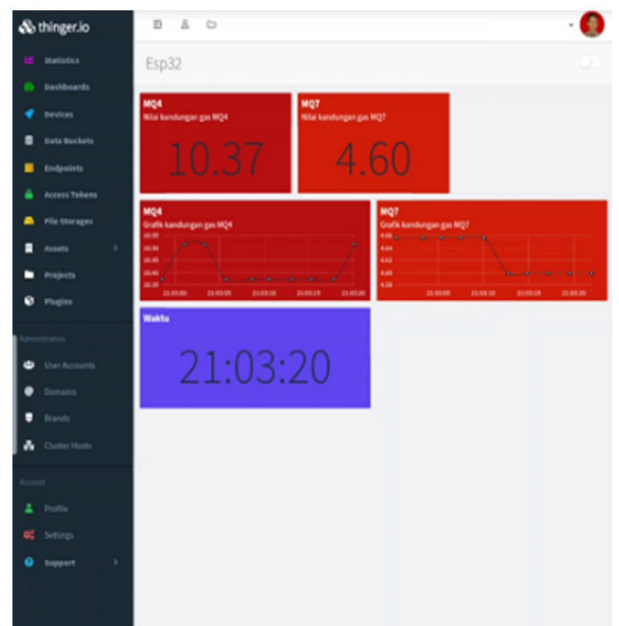
Robot melakukan proses pengiriman data gas Metana dan Karbon Monoksida pada web thinger.io lalu dibaca menggunakan Android melalui browser.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan dan saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

Tabel 10. Data gas yang direkam oleh robot saat menelusuri ruangan pabrik pengolahan minyak tiruan

| No | Waktu | Kadar Gas Metana | Kadar Gas Karbon Monoksida |
|----|----------|------------------|----------------------------|
| 1 | 21:03:10 | 10,37 ppm | 4,60 ppm |
| 2 | 21:03:20 | 10,37 ppm | 4,60 ppm |
| 3 | 21:03:30 | 10,52 ppm | 4,54 ppm |



Gambar 13. Tampilan Android saat monitoring kadar gas pada ruangan pabrik pengolahan minyak tiruan

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang sudah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Lidar akan menggerakkan robot ke arah yang diharapkan dengan memanfaatkan besar sudut robot terhadap halangan. Supaya robot berbelok ke kiri kita memanfaatkan jarak robot pada sudut 30° dari halangan, untuk berbelok ke kanan kita memanfaatkan jarak robot pada sudut 330° dari halangan, sedangkan untuk mundur kita memanfaatkan jarak robot pada sudut 0° untuk halangan di depan, sudut 315° untuk halangan di kiri dan sudut 45° untuk halangan di kanan.
2. Tingkat keamanan gas yang terbaca pada penelitian ini terbagi menjadi 3 yaitu tingkat Aman, Waspada dan Bahaya. Pada percobaan pembacaan gas Metana dan Karbon Monoksida sebagian besar membaca kondisi Bahaya. Gas Karbon Monoksida bisa dikatakan dalam kondisi Bahaya pada saat kadar gasnya sudah melebihi 30 ppm. Sedangkan untuk gas Metana bisa dikatakan dalam kondisi Bahaya pada saat nilainya sudah melebihi 90 ppm.
3. Pengiriman nilai kadar gas ke web *thinger.io* dilakukan dengan *delay* yang sangat kecil mendekati *real time*, bergantung pada kecepatan internet. Hal ini sangat bermanfaat untuk monitoring keamanan gas pada ruangan.

V. SARAN

1. *Mobile* robot untuk *monitoring* gas dengan metode *finite state machine* ini sering terjadi tabrakan dengan dinding dan bergerak salah arah pada saat navigasi. Disarankan untuk proses kalibrasi sensornya lebih pas dengan ditambahkan perhitungan untuk menentukan sudut yang dipilih untuk menggerakkan robot kearah yang diinginkan.
2. Robot dan sensor yang digunakan dalam penelitian ini didesain untuk mendeteksi gas di ruangan yang kecil dan tertutup serta sedikit pengaruh udara dari luar. Disarankan untuk menggunakan robot yang lebih besar dan sensor yang lebih *sensitive* terhadap gas yang terbaca untuk ruangan yang lebih besar serta untuk gas yang nilainya lebih besar.
3. Robot tidak memiliki perintah untuk mengatasi kebocoran gas yang terjadi. Disarankan untuk menambah *output* untuk menghilangkan kebocoran gas

yang terjadi sehingga robot dapat kembali melakukan navigasi di dalam ruangan.

REFERENSI

- [1] R. Meditama, "Pengaruh pengetahuan K3 dan managerial support terhadap sikap mengutamakan K3 di Sentra Pengrajin Gamelan di kecamatan Mojolaban, kabupaten Sukoharjo Jawa Tengah," *J. Teknol. Terap. G-Tech*, vol. 4, no. 1, pp. 272–278, 2020.
- [2] P. R. Subandi, "Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pertambangan Di Pt. Sumbawa Barat Mineral Kabupaten Sumbawa Barat Provinsi Nusa Tenggara Barat." Universitas Muhammadiyah_Mataram, 2021.
- [3] A. A. Irawan, "Dampak ekonomi dan sosial aktivitas tambang batubara PT. Tanito Harum bagi masyarakat di kelurahan Loa Tebu kecamatan Tenggarong," *J. Univ. Mulawarman*, vol. 1, no. 1, pp. 46–56, 2017.
- [4] D. W. Nugroho, "Implementasi keselamatan dan kesehatan kerja di PT. Antam tbk. Ubpe Pongkor, Bogor, Jawa Barat," 2009.
- [5] U. Sumarna, N. Sumarni, and U. Rosidin, *Bahaya Kerja Serta Faktor-faktor yang Mempengaruhinya*. Deepublish, 2018.
- [6] B. Renaldi, "Rancang bangun robot sar sebagai pendeteksi gas beracun pra evakuasi." JATI, Vol. 4, No. 1, pp. 224-230, 2020.
- [7] A. Novianti, "Perancangan robot pendeteksi lingkungan berbahaya berbasis logika fuzzy dan kontrol android." JETT, vol 2, no. 1, pp.31-37, 2015.
- [8] D. D. Hutagalung, "Rancang bangun alat pendeteksi kebocoran gas dan api dengan menggunakan sensor MQ2 dan flame detector," *J. Rekayasa Inf.*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [9] S. Mluyati dan S. Sadi, "Internet Of Things (IoT) pada prototipe pendeteksi kebocoran gas berbasis MQ-2 dan SIM800L," *J. Tek.*, vol. 7, no. 2, pp. 64-72, 2019.
- [10] W. Ma'rufah, "*Metode Finite State Machine (FSM) pada navigasi mobile robot untuk monitoring suhu ruangan*. 2019.
- [11] M. N. Satryo, "Sistem kontrol robot sepak bola neroda menggunakan Finite State Mechine." ELKOMIKA, vol. 9, No.2, 2018.
- [12] J. Martin, E. Susanto, and U. Sunarya, "Kendali Ph dan kelembaban tanah berbasis logika fuzzy menggunakan mikrokontroler," *eProceedings Eng.*, vol. 2, no. 2, 2015.
- [13] S. Komariyah, R. M. Yunus, and S. F. Rodiyansyah, "Logika fuzzy dalam sistem pengambilan keputusan penerimaan beasiswa," *Jur. Tek. Inform. Fak. Tek. Univ. Majalengka*, pp. 61–69, 2016.
- [14] L. Riadhi, "Sistem pengaturan oksigen terlarut menggunakan metode logika fuzzy berbasis mikrokontroler teensy board." Jurnal Teknik ITS, vol. 6, no. 2, pp. 330-334, 2017.
- [15] R. S. Yulianti, "Pemanfaatan sensor MQ-4 (Mingân Qi Lai) untuk mendeteksi gas Metana pada limbah kotoran ternak sapi, kerbau dan kuda." Jurnal Ilmu Fisika - Teori dan Aplikasinya. vol 2, no. 2, pp. 35-44, 2020.
- [16] E. D. Widiyanto, M. Khasanah, A. B. Prasetyo, and R. Septiana, "Sistem otomatisasi pembersihan kotoran dan pengaturan suhu kandang kelinci berbasis Arduino Mega2560," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 13, no. 3, pp. 133–138, 2017.