

Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 15 NOMOR 1

April 2019

**Implementasi Fuzzy Logic dan Trajectory pada Manipulator Mobile Robot untuk
Deteksi Kebocoran Gas** 18-24

R Rendyansyah, Aditya Putra Perdana Prasetyo, dan Kemahyanto Exaudi

JRE	Vol. 15	No. 1	Hal 1-74	Banda Aceh, April 2019	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	----------	---------------------------	--------------------------------------

Implementasi Fuzzy Logic dan Trajectory pada Manipulator Mobile Robot Untuk Deteksi Kebocoran Gas

Rendyansyah, Aditya P. P. Prasetyo, dan Kemahyanto Exaudi
Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya
Jl. Palembang-Prabumulih KM 32, Indralaya 30662
e-mail: rendyansyah@ilkom.unsri.ac.id

Abstrak—Teknologi yang berkembang dapat mempermudah aktivitas pekerjaan, salah satunya teknologi di bidang robotik. Salah satu tujuan robot diciptakan untuk membantu dalam investigasi target yang dicurigai. Target tersebut dapat berupa objek kebocoran sumber gas. Di sisi lain, kebocoran gas dalam kawasan industri mengakibatkan dampak yang besar bagi lingkungan. Robot sangat diperlukan untuk mempermudah dalam proses inspeksi target yang diduga kebocoran gas. Robot pada umumnya memiliki sistem yang terintegrasi dengan sensor sebagai interface dan komputasi cerdas. Pada penelitian ini telah dirancang *mobile robot* dan *manipulator* yang terintegrasi dan memiliki tujuan untuk menginspeksi objek yang diduga kebocoran gas. Sistem robot ini disebut *manipulator mobile robot* yang dilengkapi dengan kamera *wireless* untuk deteksi objek, dua buah sensor gas untuk deteksi aroma, masing-masing sensor dipasang pada *end-effector manipulator* dan di samping kamera. Adapun metode yang digunakan pada robot yaitu *fuzzy logic* dan *cubic trajectory*. *Fuzzy logic* digunakan untuk navigasi robot menuju objek, dan *cubic trajectory* untuk navigasi *manipulator* berdasarkan rute yang ditentukan. Pada percobaan yang telah dilakukan, *mobile robot* dapat bernavigasi menuju target sampai berhenti pada jarak 20cm, dan *manipulator* juga berhasil dalam bernavigasi. Dalam instrumen pengujian, telah ditentukan dua titik bocor. Masing-masing titik diuji sebanyak enam kali. Adapun robot berhasil dalam mendeteksi kebocoran gas dengan keberhasilan mencapai 91,67%, dan posisi koordinat yang terbaca oleh *manipulator* dapat diamati melalui monitor.

Kata kunci: *fuzzy logic, manipulator mobile robot, trajectory*

Abstract—Developing technology can facilitate work activities, one of which is technology in the field of robotics. One of the purposes of creating the robot was to assist in investigating suspected targets. The target can be a gas source leak object. On the other hand, gas leaks in industrial estates have a large impact on the environment. Robots are needed to facilitate the inspection process of targets suspected of gas leakage. Robots generally have systems that are integrated with sensors as interfaces and intelligent computing. In this study mobile robots and manipulators have been designed and have the purpose of inspecting objects suspected of being gas leaks. This robot system is called a mobile robot manipulator equipped with a wireless camera for object detection, two gas sensors for aroma detection, each sensor is mounted on the end-effector manipulator and next to the camera. The methods used in robots are fuzzy logic and cubic trajectory. Fuzzy logic is used to navigate robots to objects, and cubic trajectory for navigating manipulators based on the specified route. In the experiments that have been done, the mobile robot can navigate to the target until it stops at a distance of 20cm, and the manipulator is also successful in navigating. In the testing instrument, two leaking points have been determined. Each point is tested six times. The robot succeeded in detecting gas leaks with success rate 91.67%, and the position of coordinates read by the manipulator can be observed through the monitor.

Keywords: *fuzzy logic, manipulator mobile robot, trajectory*

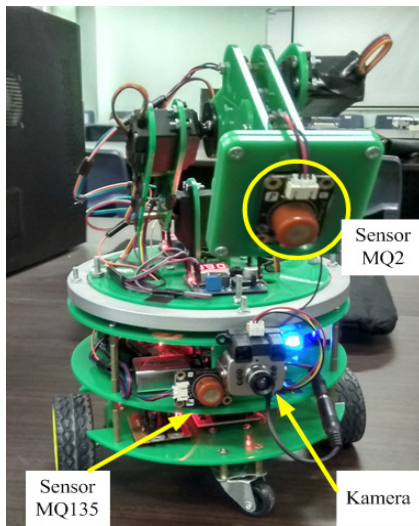
Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Teknologi modern semakin berkembang pesat guna membantu aktivitas pekerjaan manusia. Salah satunya teknologi robot yang dimanfaatkan untuk proses investigasi objek yang dicurigai [1]. Pada dasarnya robot diciptakan untuk membantu kehidupan manusia, seperti bekerja di kawasan yang sulit diprediksi. Robot yang canggih didukung dengan teknologi sensor sebagai *interface* antar

robot dengan lingkungan, dan komputasi kecerdasan buatan yang di-implementasikan di dalam prosesor. Ada banyak jenis robot sesuai fungsi dan kegunaan, misalnya *mobile robot* untuk navigasi di dalam lingkungan dan *manipulator robot* juga untuk navigasi pada daerah kerja di dalam jangkauan lengan.

Seperti halnya *mobile robot* yang diaplikasikan pada lingkungan dengan permukaan datar untuk tujuan bergerak bebas. Seperti pada aplikasi *mobile robot* dalam



Gambar 1. Manipulator mobile robot

pencari target sumber gas dengan memanfaatkan sensor pendukungnya seperti sensor gas yang dilakukan oleh Alborno dkk [2], dan dengan penambahan kamera *wireless* oleh Herjuno dkk [3]. Nurmaini dkk [4] dan Husni dkk [5] juga membahas pencarian target aroma gas berbasis *mobile robot* dengan navigasi cerdas menggunakan *fuzzy logic*. Penggunaan *fuzzy logic* memberikan kemudahan dalam pengambilan keputusan berdasarkan pengalaman.

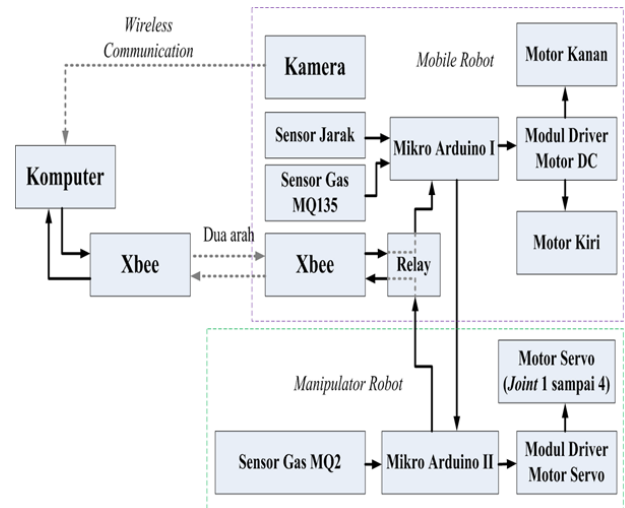
Di sisi lain, penggunaan *manipulator robot* juga dapat diimplementasikan dalam pencarian target kebocoran gas. Gustica dkk [6] membahas lengan robot dengan tiga derajat kebebasan sebagai alat untuk deteksi kebocoran gas. Pergerakan *manipulator robot* ini menggunakan metode *fuzzy logic* yang diolah di dalam prosesor berdasarkan informasi dari sensor gas. Penelitian berikutnya juga membahas metode pergerakan *manipulator robot* berbasis pendekatan kinematik [7], dan pergerakan *manipulator* menggunakan *trajectory planning* dengan rute yang ditentukan [8]-[10]. Berdasarkan keunggulan dari kedua metode tersebut, *fuzzy logic* memudahkan pergerakan robot pada lingkungan yang tidak terstruktur, sedangkan *trajectory planning* berdasarkan pola koordinat yang ditentukan.

Oleh karena itu pada penelitian ini diaplikasikan *mobile robot* dan *manipulator* menjadi sistem *hybrid* untuk menginspeksi target. Penggabungan ini menjadi *olfactory manipulator mobile robot*. Adapun motivasi dari penggabungan ini didasarkan pada cara mendekatkan sensor gas untuk mendapatkan hasil deteksi yang baik. Metode pergerakan *mobile robot* dalam menuju target menggunakan *fuzzy logic* dengan *input* dari kamera, sedangkan untuk pergerakan *manipulator* menggunakan *trajectory planning*.

II. METODE

A. Perancangan Manipulator Mobile Robot

Manipulator mobile robot terdiri dari *mobile robot*



Gambar 2. Skematik hardware pada manipulator mobile robot

dan *manipulator* yang terintegrasi, dan dirancang dengan bentuk sederhana. *Mobile robot* dilengkapi dengan kamera *wireless* untuk deteksi objek, sensor jarak, dan gas, dan sistem komunikasi *wireless* menggunakan xbee. Selanjutnya pada *manipulator* terdiri dari tiga derajat kebebasan dan juga diberi sensor gas pada *end-effector*. Gambar 1 merupakan bentuk *manipulator mobile robot* yang telah dirancang di dalam penelitian ini. *Mobile robot* dan *manipulator* ini mempunyai fungsi masing-masing dan keduanya dikontrol melalui komputer yang telah di-implementasikan metode *fuzzy logic* dan *cubic trajectory*. Data dari komputer ditransfer ke robot melalui komunikasi *wireless*. Adapun tugas *mobile robot* untuk menavigasi robot menuju target, sedangkan *manipulator robot* membantu sensor gas dalam pendeteksian aroma dengan jarak yang dekat. Sensor gas ini menggunakan tipe *metal-oxide semiconductor* yaitu MQ2 dan MQ135, dan sensor ini masing-masing dipasang pada *end-effector* dan di samping kamera bagian depan robot. Gambar 2 menunjukkan skematik *hardware* pada *manipulator mobile robot*.

B. Perancangan Algoritma Fuzzy Logic

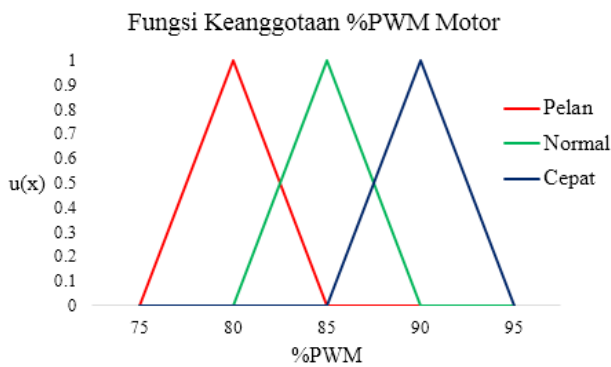
Fuzzy logic untuk pergerakan *mobile robot* menerima *input* dari kamera *wireless*, dimana hasil *capture* dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian kiri (sensor S_1) dan kanan (sensor S_2). Nilai untuk sensor S_1 dan S_2 merupakan jumlah pixels yang berwarna hitam. Adapun pixels warna hitam diberi logika biner bernilai 1 dan pixels warna putih diberi nilai 0. Pada pixels yang berwarna hitam menunjukkan objek yang dideteksi oleh kamera. Adapun bagian *output* berupa nilai %PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur kecepatan putaran motor kiri dan kanan. Proses *fuzzy logic* ini melalui tahapan fuzzifikasi, *rule base* dan *inference*, dan defuzzifikasi [11].

1. Tahap fuzzifikasi.

Pada tahap ini merancang fungsi keanggotaan untuk sensor S_1 dan S_2 . Adapun fungsi keanggotaan ini seperti



Gambar 3. Grafik fungsi keanggotaan untuk sensor



Gambar 4. Grafik fungsi keanggotaan untuk %PWM motor

ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, nilai sensor mulai terbaca dari 0 sampai 180 pixels. Nilai pixels ini diperoleh dari hasil segmentasi dan memfilter *image* ke bentuk *grayscale* dan biner dengan penentuan nilai *threshold* [12].

2. Tahap *rule base* dan *inference*.

Berikutnya dibentuk *rule base* berdasarkan kombinasi dari sensor dan aksi pergerakan. *Rule base* ini juga perlu perancangan fungsi keanggotaan untuk aksi pergerakan yaitu %PWM motor kiri dan kanan. Gambar 4 menunjukkan grafik fungsi keanggotaan untuk %PWM motor. Adapun *rule base* ini sebanyak sembilan *rule* seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Pada pengambilan keputusan dalam menentukan keluaran *fuzzy* dengan menggunakan metode *max-min* [11].

3. Tahap defuzzifikasi.

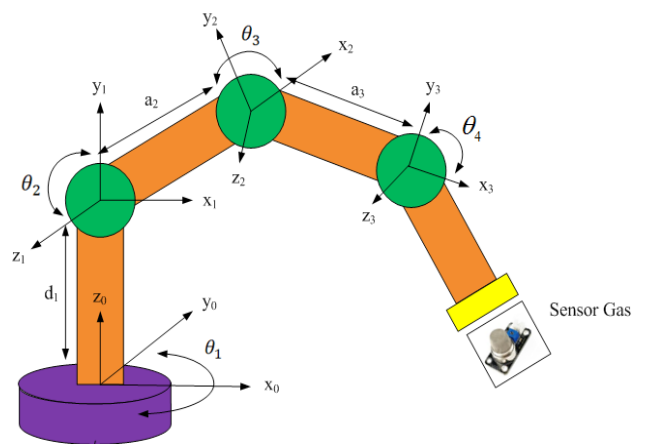
Selanjutnya mengkonversi dari keluaran *fuzzy* menjadi keluaran *crisp*. Metode konversi ini menggunakan *Centroid* [5], [11]. Nilai *crisp* ini ditransfer pada modul driver untuk mengendalikan kecepatan putar motor kiri dan kanan.

C. Perancangan Algoritma Trajectory Planning

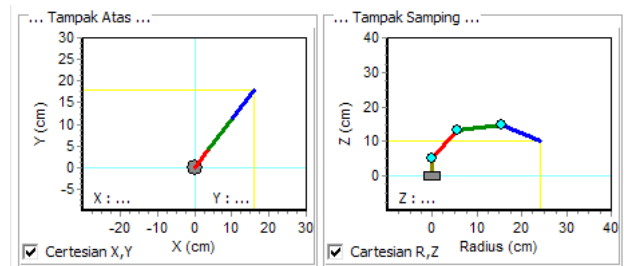
Perancangan *trajectory planning* ini perlu mengetahui arah dan derajat kebebasan pada *manipulator robot*. Pada penelitian ini menggunakan empat derajat kebebasan (4 DoF). Gambar 5 merupakan ilustrasi arah pergerakan dan

Tabel 1. *Rule base*

No.	Kamera		%PWM motor	
	Kiri (S1)	Kanan (S2)	Kiri	Kanan
1	Sedikit	Sedikit	Normal	Normal
2	Sedikit	Sedang	Pelan	Normal
3	Sedikit	Banyak	Normal	Cepat
4	Sedang	Sedikit	Normal	Pelan
5	Sedang	Sedang	Normal	Normal
6	Sedang	Banyak	Pelan	Normal
7	Banyak	Sedikit	Cepat	Normal
8	Banyak	Sedang	Normal	Pelan
9	Banyak	Banyak	Normal	Normal



(a)



(b)

(c)

Gambar 5. *Manipulator robot*, (a) arah pergerakan dan derajat kebebasan, (b) ilustrasi tampak atas, dan (c) tampak samping

derajat kebebasan *manipulator robot*. Robot ini memiliki masing-masing panjang link: $d_1=5\text{cm}$, $a_2=10\text{cm}$, $a_3=10\text{cm}$ dan $a_4=10\text{cm}$, sehingga total panjang link a sebesar 30 cm. Panjang link-link ini akan menentukan jangkauan robot dalam koordinat kartesian x , y dan z . *Manipulator robot* memiliki perumusan *forward kinematic* dan *invers kinematic* [8], [10].

Forward kinematic dapat dicari menggunakan aturan trigonometri, dan solusi akhir seperti pada (1). Adapun untuk mencari *invers kinematic* juga menggunakan aturan trigonometri dengan memperhatikan ilustrasi lengan pada Gambar 5. Solusi akhir dari *invers kinematic* ditunjukkan pada (2) sampai (6). Persamaan (2) untuk simbol phi merupakan sudut orientasi yang dibentuk sebesar -30° terhadap sumbu-x, dengan tujuan untuk memantapkan posisi *end effector* selalu menghadap objek.

Setelah diperoleh perumusan *forward* maupun *invers kinematic*, selanjutnya merancang pergerakan *manipulator robot* yang dapat mengikuti pola atau rute gerak dalam menginspeksi target. Pergerakan robot disesuaikan dengan koordinat x , y , dan z . *Manipulator robot* ini aktif jika *mobile robot* berada pada posisi dekat dengan objek yaitu sekitar 20cm dengan bantuan sensor jarak. Selama *manipulator robot* ini aktif dan menginspeksi objek sampai terdeteksi aroma gas yang diduga kuat sebagai kebocoran. *Manipulator robot* ini berhenti ketika sinyal *output* dari sensor gas melebihi *threshold* yang ditentukan, dan posisi *end-effector* pada sekitar target yang ditunjuk.

$$\begin{aligned} q_x &= C\theta_1(a_2C\theta_2 + a_3C\theta_{23} + a_4C\theta_{234}) \\ q_y &= S\theta_1(a_2C\theta_2 + a_3C\theta_{23} + a_4C\theta_{234}) \\ q_z &= d_1 + a_2S\theta_2 + a_3S\theta_{23} + a_4S\theta_{234}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Q_{z1} &= \sqrt{(Q_x)^2 + (Q_y)^2} \\ P_x &= Q_{z1} - (a_4 \cdot c\phi) \\ P_y &= Q_z - d_1 - (a_4 \cdot s\phi), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{(P_x)^2 + (P_y)^2 - (a_2)^2 - (a_3)^2}{2a_2a_3} \right), \quad (3)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{P_y}{P_x} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{a_3 \cdot s\theta_3}{a_2 + a_3 \cdot c\theta_3} \right), \quad (4)$$

$$\theta_4 = \phi - \theta_2 - \theta_3, \quad (5)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{Q_y}{Q_x} \right). \quad (6)$$

Pada penelitian ini digunakan metode *cubic trajectory* untuk pergerakan pada *manipulator robot*. *Cubic trajectory* merupakan persamaan polynomial orde tiga [10], seperti pada (7). Metode *cubic trajectory* ini menggunakan *input* koordinat kartesian x , y dan z . Sedangkan data *output* berupa sudut joint. Langkah selanjutnya menguraikan perumusan pada (7) untuk mendapatkan nilai a_0 , a_1 ,

a_2 dan a_3 , dan diperoleh solusi akhir seperti pada (8). Persamaan (8) diperoleh dengan memberikan nilai nol untuk kecepatan awal (v_s) dan akhir (v_f), dan terdiri dari simbol q_s , q_f , t , dan t_f . Adapun untuk q_s merupakan posisi awal, q_f posisi akhir, t yaitu waktu saat proses, dan t_f waktu mencapai posisi akhir. Persamaan (8) dapat dikembangkan untuk tiga koordinat kartesian x , y , dan z seperti pada (9), (10), dan (11). Nilai q_x , q_y , dan q_z merupakan koordinat dari *end-effector*.

$$q(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3, \quad (7)$$

$$q(t) = q_s + 3 \left(\frac{q_f - q_s}{t_f^2} \right) t^2 - 2 \left(\frac{q_f - q_s}{t_f^3} \right) t^3, \quad (8)$$

$$q_x(t) = q_{xs} + 3 \left(\frac{q_{xf} - q_{xs}}{t_{xf}^2} \right) t^2 - 2 \left(\frac{q_{xf} - q_{xs}}{t_{xf}^3} \right) t^3, \quad (9)$$

$$q_y(t) = q_{ys} + 3 \left(\frac{q_{yf} - q_{ys}}{t_{yf}^2} \right) t^2 - 2 \left(\frac{q_{yf} - q_{ys}}{t_{yf}^3} \right) t^3, \quad (10)$$

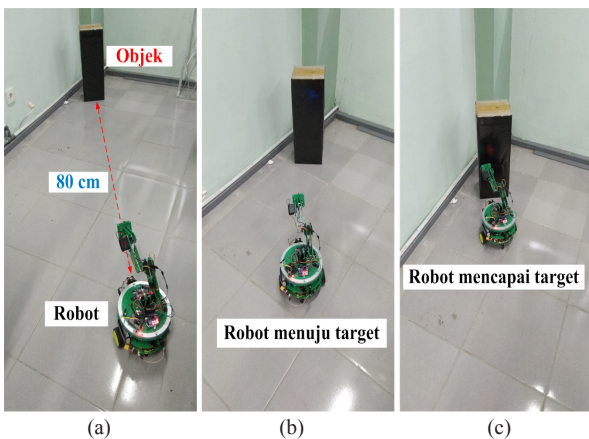
$$q_z(t) = q_{zs} + 3 \left(\frac{q_{zf} - q_{zs}}{t_{zf}^2} \right) t^2 - 2 \left(\frac{q_{zf} - q_{zs}}{t_{zf}^3} \right) t^3. \quad (11)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

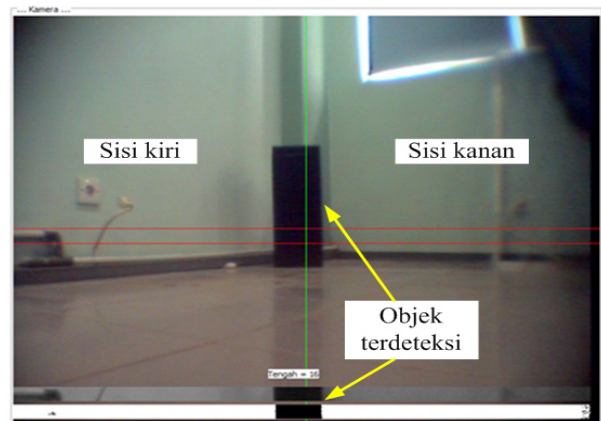
A. Pengujian Pergerakan Mobile Robot

Pada pengujian ini robot dan objek diletakkan pada arena dan tidak diberi halangan. Pada Gambar 6 merupakan pengujian robot dalam menuju target. Pada pengujian ini posisi awal robot dan objek berjarak 80cm dapat dilihat pada Gambar 6 (a). Robot menerima *input* dari kamera *wireless* yang ditransfer ke komputer untuk diproses dan menentukan aksi pergerakan menggunakan *fuzzy logic*.

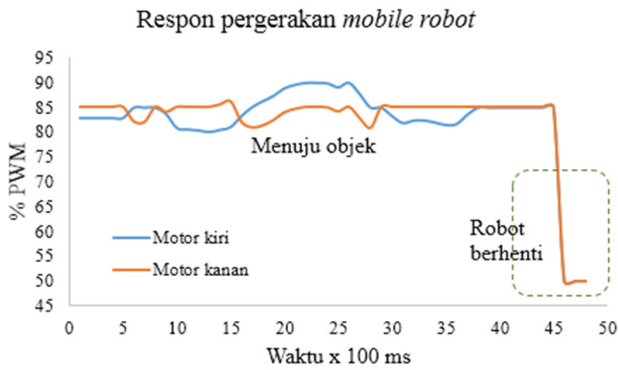
Fuzzy logic menerima data *input* dari kamera yang digunakan sebagai sensor deteksi objek. Objek yang ditampilkan dalam monitor dibagi menjadi dua bagian yaitu sisi kiri sebagai sensor S_1 dan sisi kanan sebagai sensor S_2 , hal ini dapat dilihat pada Gambar 7. Pada tahap ini dilakukan konversi dari citra berwarna menjadi citra



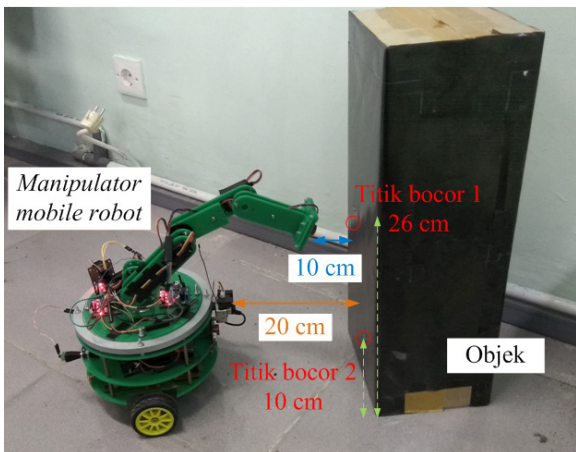
Gambar 6. Pengujian robot dalam menuju objek, (a) posisi awal, (b) menuju objek, dan (c) mencapai objek



Gambar 7. Tampilan objek yang terdeteksi oleh kamera



Gambar 8. Respon pergerakan robot menuju objek



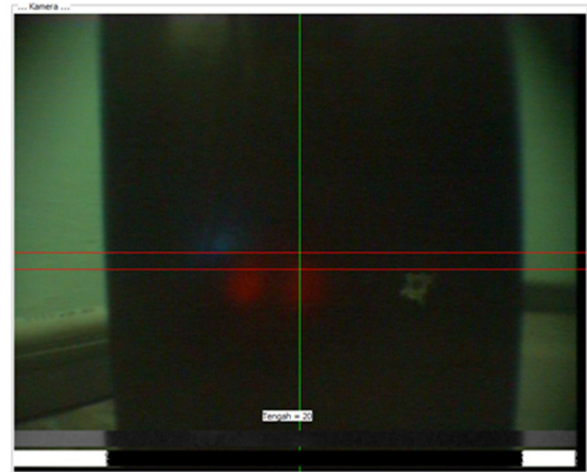
Gambar 9. Posisi *origin end-effector* saat inspeksi target

grayscale dan dikonversi lagi menjadi citra biner. Objek warna hitam akan tetap berwarna hitam sedangkan warna lainnya dianggap putih.

Adapun sensor S_1 dan S_2 masing-masing merupakan panjang pixel warna hitam yang ditentukan dari garis vertikal warna hijau dan horizontal warna merah. Nilai sensor S_1 dan S_2 mulai dari 0 sampai 180, nilai ini diperoleh dari jumlah pixels warna hitam dan dibagi dengan dua puluh. Nilai pixels ini digunakan sebagai *input* untuk *fuzzy logic*. Kemudian *fuzzy logic* memproses data sensor ini untuk pergerakan robot, dan data pergerakan berupa %PWM ditransfer kembali pada robot. Robot ini berhenti ketika posisi robot mendekati objek dengan jarak 20cm menggunakan sensor jarak. Pada Gambar 8 merupakan respon pergerakan robot dalam menuju objek. Berdasarkan pada Gambar 8, robot memiliki dua motor DC yaitu kiri dan kanan dimana perbedaan dari nilai %PWM motor kiri maupun kanan akan membentuk aksi belok kiri atau kanan.

B. Pengujian Pergerakan Manipulator Robot

Pada pengujian tahap ini dilakukan dengan mendekatkan *mobile robot* dan sensor jarak pada objek dengan jarak 20cm, dan jangkauan lengan *manipulator* 4 DOF tidak lebih dari 20cm arah horizontal maupun vertikal. Adapun *end-effector* pada *manipulator* dan objek berjarak 10cm. Gambar 9 merupakan posisi *origin end-*



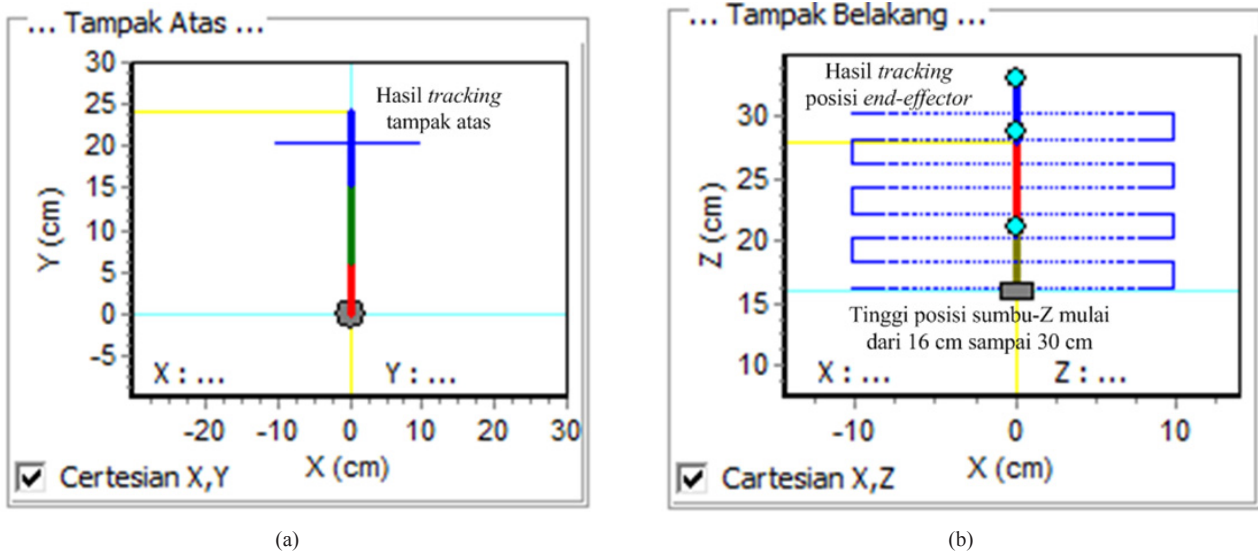
Gambar 10. Hasil *capture* pada objek dengan jarak dekat

Tabel 2. Koordinat untuk rute pergerakan *manipulator*

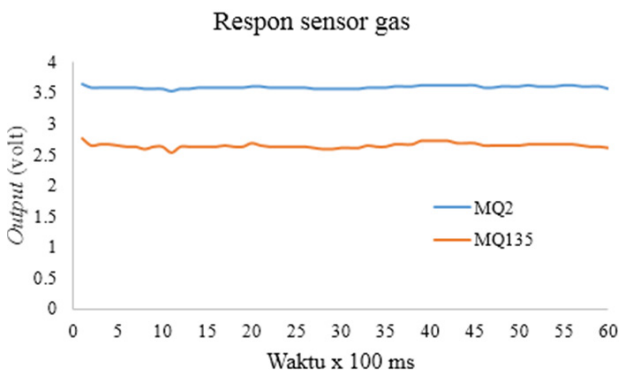
Titik	Koordinat (cm)			Keterangan
	X	Y	Z	
0	0	24	28	Origin
1	-10	20	30	
2	10	20	30	
3	10	20	28	
4	-10	20	28	
5	-10	20	26	
6	10	20	26	
7	10	20	24	
8	-10	20	24	
9	-10	20	22	Inspeksi
10	10	20	22	
11	10	20	20	
12	-10	20	20	
13	-10	20	18	
14	10	20	18	
15	10	20	16	
16	-10	20	16	
0	0	24	28	Origin

effector untuk inspeksi target yang diduga kebocoran gas. Gambar 10 menunjukkan hasil *capture* objek dengan jarak dekat. Posisi *origin* ini ditentukan di dalam *database* pada koordinat posisi $x=0\text{cm}$, posisi $y=24\text{cm}$, dan posisi $z=28\text{cm}$.

Selanjutnya ditentukan rute pergerakan *manipulator* untuk meng-inspeksi objek sejauh jangkauan lengan. Adapun pola koordinat yang ditentukan seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Pertama *manipulator* aktif di posisi *origin* kemudian pergerakan ini menuju titik pertama, kedua dan seterusnya sampai selesai dan kembali lagi menuju posisi *origin*. Durasi waktu untuk pergerakan dari satu titik menuju ke titik yang lain yaitu 10 detik dengan interval perubahan waktu sebesar 100ms. Gambar 11 menunjukkan hasil pergerakan *end-effector* selama proses inspeksi. Pada saat dijalankan, awalnya *manipulator* bergerak



Gambar 11. Pergerakan *end-effector* selama proses inspeksi. (a) posisi tampak atas, dan (b) tampak belakang



Gambar 12. Respon sensor gas

lambat ($v_s=0cm/s$) kemudian ada percepatan sampai batas puncaknya dan setelah itu kembali menjadi lambat sampai mendekati titik $v_f=0cm/s$. Perubahan kecepatan seperti ini dilakukan setiap navigasi dari satu titik menuju titik berikutnya.

C. Pengujian Deteksi Gas

Sensor gas pada *olfactory manipulator robot* memiliki dua sensor gas yaitu sensor gas MQ2 yang dipasang pada *end-effector* dan sensor gas MQ135 di samping kamera bagian depan robot. Tugas sensor gas mendeteksi aroma gas pada objek yang diduga sumber gas. Ilustrasi pengujian seperti pada Gambar 9. Pada pengujian ini ditentukan dua titik bocor yang merupakan ilustrasi dari target kebocoran sumber gas. Adapun gas yang digunakan yaitu butana yang ditempatkan di dalam objek. Langkah awal pengujian dilakukan dengan mengetahui respon dari sensor gas seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Berdasarkan pada Gambar 12 dapat ditentukan ambang batas deteksi, dan untuk sensor gas MQ2 mencapai 3 volt dan sensor gas MQ135 yaitu 2 volt.

Pada pengujian ini dimulai pada target bocor dengan tinggi 26cm. Aroma gas dapat terdeteksi oleh sensor MQ2 karena *end-effector* dekat dengan target. Pengujian

Tabel 3. Pengujian deteksi gas

Target	Koordinat yang terbaca (cm)			Keterangan
	X	Y	Z	
Titik bocor dengan tinggi 26 cm	-1	20	26	Terdeteksi oleh sensor gas MQ2 (<i>end-effector</i>)
	-7	20	26	
	-5	20	28	
	-3	20	28	
	-4	20	26	
Titik bocor dengan tinggi 10 cm	-2	20	28	Tidak terdeteksi oleh sensor gas MQ135
	7	20	16	
	4	20	16	
	5	20	18	
	2	20	18	
	4	20	18	
	5	20	18	

ini dilakukan sebanyak enam kali, dan sistem dapat mendeteksi adanya kebocoran gas dengan keberhasilan mencapai 100%. Selanjutnya pada titik bocor dengan tinggi 10cm. Pada posisi ini dilakukan pengujian deteksi gas dengan sensor MQ2 maupun sensor MQ135. Sensor MQ135 dapat mendeteksi kebocoran gas jika jarak antara robot dengan objek yaitu 15cm. Sehingga sensor MQ135 dapat mendeteksi adanya kebocoran gas untuk titik bocor yang lebih rendah. Pengujian ini juga dilakukan sebanyak enam kali dan gagal satu kali, dengan kata lain sistem juga berhasil mendeteksi kebocoran gas mencapai 83,33%. Berdasarkan pengujian pada dua titik bocor tersebut maka diperoleh tingkat keberhasilan rata-rata yaitu 91.67%. Adapun hasil pengujian dalam mendeteksi gas butana

pada dua posisi titik bocor tersebut ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, bahwa koordinat yang ditampilkan oleh sistem bervariasi pada titik bocor yang dituju dan selalu berubah posisi karena aroma gas bersifat menyebar. Di sisi lain disebabkan oleh sisa partikel gas yang masih menempel di dalam membran sensor. Oleh karena itu sensor gas terkadang mendeteksi aroma gas sebelum atau sesudah melalui posisi titik bocor. Namun posisi tersebut berada pada daerah di dekat *end-effector* dan masih dapat ditoleransi.

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini telah dirancang *manipulator mobile robot* yang dilengkapi dengan dua buah sensor gas *metal-oxide semiconductor* dan kamera *wireless*. Robot ini memiliki fungsi untuk mendeteksi gas pada objek yang diduga kebocoran gas. Indikator adanya deteksi gas jika *output* dari sensor gas MQ2 mencapai 3 volt dan sensor gas MQ135 yaitu 2 volt. Pada instrumen pengujian terdapat dua titik bocor dengan posisi yang berbeda. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan bahwa robot dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas dengan menggunakan metode *fuzzy logic* untuk navigasi dan *cubic trajectory planning* untuk inspeksi. Aroma gas butana pada posisi titik bocor tersebut dapat dideteksi oleh sensor gas dengan keberhasilan mencapai 91,67%, dan posisi koordinat juga diketahui berdasarkan posisi akhir dari *end-effector*. Dalam pengembangan selanjutnya, robot ini akan diaplikasikan pada daerah yang luas dan pengenalan objek berbasis *image processing* dan *machine learning*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sriwijaya yang telah memberikan dukungan dan finansial dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] E. S. Redden, R. A. Pettit, C. B. Carstens, dan L. R. Elliott, "Scalability of Robotic Displays: Display Size Investigation", *Human Research and Engineering Directorate*. 2008.
- [2] A. D. C. Albornoz, A. B. Rodriguez, A. L. Lopez, dan A. R. G. Ramirez, "A Microcontroller-Based Mobile Robotic Platform for Odor Detection", *Biosignals and Birobotics Conference*, 2012.
- [3] D. Herjuno, M. Rivai, dan T. A. Sardjono, "Teledeteksi Gas pada *Mobile Robot* yang Dikendalikan Gelombang Radio", *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 1, September 2012.
- [4] S. Nurmaini, B. Tutuko, dan A. Rahman, "A New Navigation of Behavior-Based Olfactory Mobile Robot", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 446-447, hal. 1255-1260, 2014.
- [5] N. L. Husni, A. S. Handayani, S. Nurmaini, dan I. Yani, "Odor Localization using Gas Sensor for Mobile Robot", *Proc. EECSI*, September 2017.
- [6] A. B. Gustica, M. Rivai, dan Tasripan, "Implementasi Sensor Gas pada Kontrol Lengan Robot untuk Mencari Sumber gas", *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 3, No. 1, 2014.
- [7] Firmansyah, Y. Away, R. Munadi, M. Ikhsan, dan I. Muddin, "Perancangan Lengan Robot 5 Derajat Kebebasan dengan Pendekatan Kinematika", *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol. 11, No. 2, hal. 69-72, Oktober 2014.
- [8] M. F. Faris, A. Triwiyatno, dan I. Setiawan, "Perancangan Arm Manipulator 4 DOF Dengan Menggunakan Pengendalian Cartesian Space-Trajectory Planning", *Transient*, Vol. 1, No. 4, Desember 2012.
- [9] M. H. Barri, A. Ryandika, A. Cesario, dan A. Widoyatriatmo, "Desain dan Kontrol Posisi dari Arm Manipulator Robot Sebagai Alat Rehabilitasi Pasien Pasca Stroke", *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, Vol. 9, No. 2, 2017.
- [10] Rendyansyah dan A. P. P. Prasetyo, "Simulasi Robot Manipulator 4 DOF Sebagai Media Pembelajaran Dalam Kasus Robot Menulis Huruf", *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, Vol. 5, No. 3, November 2016.
- [11] Fahmizal dan C. H. Kuo, "Development of a Fuzzy Logic Wall Following Controller for Steering Mobile Robots", *International Conference on Fuzzy Theory and Its Application*, December 2013.
- [12] R. D. Kusumanto dan A. N. Tomponu, "Pengolahan Citra Digital Untuk Deteksi Obyek Menggunakan Pengolahan Warna Model Normalisasi RGB", *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi Terapan*, 2011.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

