

# Sistem Navigasi dari *Holonomic Mobile Robot* untuk Membantu Tenaga Kesehatan dalam Pengiriman Logistik kepada Pasien

Andy Yuniawan<sup>1</sup>, Muhammad Rois<sup>2</sup>, Indra Adji Sulistijono<sup>3</sup>, Ali Ridho Barakbah<sup>4</sup>, Zainal Arief<sup>5</sup>

<sup>1,3,5</sup>Program Pascasarjana Terapan Teknik Elektro

<sup>2</sup>Program Sarjana Terapan Teknik Mekatronika

<sup>4</sup>Program Pascasarjana Terapan Teknik Informatika dan Komputer

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)

Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111 Indonesia

Email: [yuniawanandy@pasca.student.pens.ac](mailto:yuniawanandy@pasca.student.pens.ac), [muhammadrois@me.student.pens.ac.id](mailto:muhammadrois@me.student.pens.ac.id),

[indra@pens.ac.id](mailto:indra@pens.ac.id), [ridho@pens.ac.id](mailto:ridho@pens.ac.id), [zar@pens.ac.id](mailto:zar@pens.ac.id)

**Abstract** – Currently, many health workers have died because of being infected by COVID-19. This happens as a result of one of the duties of health workers, namely, to carry out logistics deliveries to patients so that contact between health workers and COVID-19 patients often occurs. Mobile robots are considered as the right solution to overcome these problems. With mobile robots, hospitals or places for isolation can minimize contact between infected patients and health workers by carrying out logistics delivery tasks. In order to carry out its tasks, mobile robots must interact with the environment. If it must interact with its environment, it must be able to navigate. The navigation system is a system that guides the mobile robot from one place to another. In this study, a navigation system was applied using a position driver and obstacle avoidance with a fuzzy controller so that the mobile robot was able to move to avoid obstacles when it reached its target. Fuzzy controller is used for obstacle avoidance because it is an algorithm for decision making that has linguistic variables that are easily understood by humans. Based on the results of the tests that have been carried out, the mobile robot with the proposed navigation system can perform logistics delivery tasks to reduce contact between COVID-19 patients and health workers.

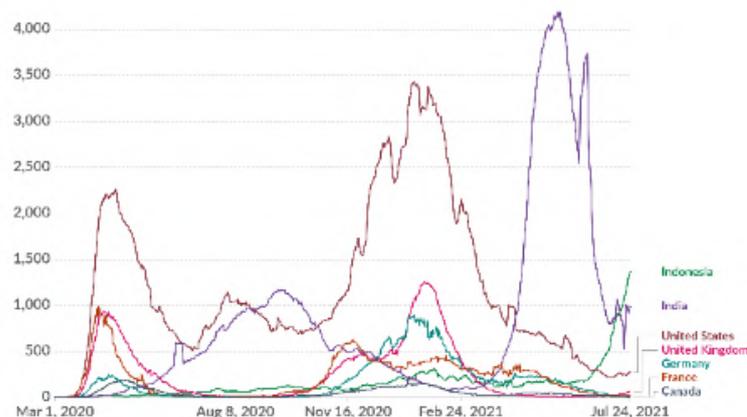
**Keywords** - COVID-19, logistics delivery task, holonomic mobile robot, obstacle avoidance, fuzzy controller.

**Intisari** – Saat ini banyak tenaga kesehatan yang meninggal akibat terinfeksi oleh COVID-19. Hal tersebut terjadi akibat dari salah satu tugas tenaga kesehatan yaitu untuk menjalankan pengiriman logistik kepada pasien sehingga kontak antara tenaga kesehatan dan pasien COVID-19 sering terjadi. *Mobile robot* dianggap sebagai solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut. Dengan *mobile robot*, rumah sakit atau tempat untuk isolasi dapat meminimalkan kontak antara pasien yang terinfeksi dengan tenaga kesehatan dengan melakukan tugas pengiriman logistik. Untuk dapat mewujudkan tugasnya, *mobile robot* harus berinteraksi dengan lingkungan. Jika harus berinteraksi dengan lingkungan, ia harus dapat bernavigasi. Sistem navigasi merupakan sistem yang memandu *mobile robot* dari satu tempat ke tempat lainnya. Dalam penelitian ini, diterapkan sistem navigasi menggunakan *position driver* dan *obstacle avoidance* dengan *fuzzy controller* agar *mobile robot* mampu bergerak menghindari halangan ketika mencapai targetnya. *Fuzzy controller* digunakan pada *obstacle avoidance* karena merupakan algoritma untuk pengambilan keputusan yang memiliki variabel linguistik yang mudah dipahami oleh manusia. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, *mobile robot* dengan sistem navigasi yang diusulkan dapat melakukan tugas pengiriman logistik sehingga dapat mengurangi kontak antara pasien COVID-19 dengan tenaga kesehatan.

**Kata Kunci** - COVID-19, tugas pengiriman logistik, *holonomic mobile robot*, *obstacle avoidance*, *fuzzy controller*.

## I. PENDAHULUAN

COVID-19 telah dinyatakan sebagai pandemi global oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) pada 11 Maret 2020 [1]. Saat ini kasus kematian baru terus mengalami kenaikan khususnya di Indonesia akibat terinfeksi oleh COVID-19 [2] yang bisa dilihat di Gambar 1. Banyak dari kasus kematian tersebut adalah dari tenaga kesehatan yang mana salah satu tugas tenaga kesehatan yaitu untuk menjalankan pengiriman logistik kepada pasien sehingga banyak tenaga kesehatan yang terinfeksi karena sering terjalannya kontak antara pasien dengan mereka.



Gambar 1. Grafik kematian COVID-19 baru yang dikonfirmasi setiap hari

(Sumber: COVID-19 Data Repository by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University. *Daily new confirmed COVID-19 deaths*. Our World in Data. Tersedia di: <https://ourworldindata.org/covid-deaths>. Diakses 25 Juli 2021)

Dengan perkembangan teknologi saat ini, robotika terus memasuki bidang-bidang seperti pabrik, rumah, kantor, militer bahkan bidang medis. *Mobile robot* semi atau otonom penuh yang membantu manusia dan melakukan fungsi otonom lainnya sudah diaplikasikan di hampir setiap industri [3]. Berdasarkan laporan tahunan dari International Federation of Robotics pada tahun 2020, *mobile robot* untuk penggunaan umum dari tahun 2010 hingga 2018 terus meningkat, hanya pada tahun 2019 mengalami penurunan karena krisis ekonomi global [4].

Dengan fungsi rumah sakit akibat COVID-19 saat ini yang sangat krusial, maka diperlukan dukungan pelayanan dari berbagai pihak termasuk otomatisasi dan robotika untuk memaksimalkan peran pelayanan utama rumah sakit yaitu pelayanan pasien yang salah satunya adalah pengiriman logistik kepada pasien dengan catatan dengan meminimalisir kontak antara pasien dan tenaga kesehatan. *Mobile robot* dianggap sebagai solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut. Dengan *mobile robot*, rumah sakit dapat meminimalkan kontak antara orang yang terinfeksi dengan orang yang tidak terinfeksi.

*Mobile robot* harus berinteraksi dengan lingkungan untuk dapat mewujudkan tugasnya. Jika harus berinteraksi dengan lingkungan, ia harus dapat bernavigasi. Navigasi *mobile robot* merupakan isu penting dalam bidang robotika. Mereka dikenal dengan kecenderungan kecerdasannya [5]. Tugas navigasi bisa lebih menantang dengan adanya halangan dan di lingkungan yang tidak diketahui. Fitur penghindaran halangan (*obstacle avoidance*) juga dianggap sebagai salah satu pertimbangan substansial terkait dengan desain fungsional robot beroda otomatis yang ditugaskan untuk suatu tugas [6]. Beberapa metode penghindaran halangan sudah banyak diterapkan, seperti metode *potential field* [7] dan *dynamic window approach* (DWA) [8], namun metode tersebut memerlukan model matematika yang kompleks. Solusi untuk perancangan *mobile robot* dan sistem navigasinya yang cukup mudah dipahami diperlukan agar sistem navigasinya bisa cepat diterapkan pada *mobile robot* sehingga *mobile robot* dapat melakukan tugasnya sesuai permasalahan di atas yaitu pengiriman logistik kepada pasien COVID-18 untuk mengurangi kontak mereka dengan tenaga kesehatan.

## II. SIGNIFIKANSI STUDI

### A. Studi Literatur

#### 1. Holonomic Mobile Robot

Robot merupakan piranti mekanik elektrik atau elektronika yang bekerja secara otomatis dapat bekerja sendiri tanpa pengendalian dari luar [9]. *Mobile robot* adalah robot yang dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain secara mandiri [10]. Kemampuan manuver *mobile robot* tergantung pada roda dan penggerak yang digunakan. *Mobile robot* yang memiliki tiga ruang kebebasan atau *degree of freedom* (DoF) ditandai dengan kemampuan manuver maksimal yang diperlukan untuk gerakan planar, seperti beroperasi di lantai gudang, jalan, rumah sakit, museum, dll. *Non-holonomic mobile robot* memiliki kurang dari tiga DOF di bidang sehingga tidak bisa bergerak ke segala arah. Sementara, *holonomic mobile robot* dapat melakukan pergerakan ke segala arah dan berfungsi di area yang sempit. Kemampuan ini disebut *omnidirectionality* [11].

#### 2. Sistem Navigasi

*Mobile robot* harus berinteraksi dengan lingkungan untuk dapat mewujudkan tugasnya. Jika harus berinteraksi dengan lingkungan, ia harus dapat bernavigasi. Navigasi mengacu pada jalur bebas tabrakan dari satu titik ke titik lain, dengan mempertimbangkan waktu optimal, jalur terpendek, atau konsumsi energi terendah [12].

#### 3. Fuzzy Controller

Dalam sistem navigasi mengharuskan adanya fitur penghindaran halangan. Kendali yang digunakan untuk penghindaran halangan dalam penelitian ini adalah *fuzzy controller*. *Fuzzy controller* adalah pengendali yang terdiri atas sistem matematika yang menganalisis nilai masukan analog dalam hal variabel logis yang mengambil nilai kontinu antara 0 dan 1, berbeda dengan logika klasik atau digital, yang beroperasi pada nilai diskrit baik 1 atau 0 [13] [14]. *Fuzzy controller* diusulkan oleh Lotfi A. Zadeh dari University of California di Berkeley dalam sebuah makalah tahun 1965 [15].

Sebuah *fuzzy controller* terdiri dari tiga bagian utama: variabel linguistik (*linguistic variables*), fungsi keanggotaan (*membership functions*), dan aturan (*rules*). Variabel linguistik mewakili, dengan kata lain, variabel masukan dan variabel keluaran dari sistem yang dikendalikan. Yang dimaksud dengan variabel linguistik adalah variabel yang nilainya berupa kata atau kalimat dalam bahasa alami atau buatan [16].

Fungsi keanggotaan adalah fungsi numerik yang sesuai dengan istilah linguistik. Sebuah fungsi keanggotaan mewakili derajat keanggotaan variabel linguistik dalam istilah linguistik mereka. Ada 2 fungsi keanggotaan, variabel linguistik masukan dan variabel linguistik keluaran. Ada berbagai jenis fungsi keanggotaan seperti segitiga, trapesium, dan *gaussian* [17].

### B. Data Penelitian

Dalam penelitian ini dibutuhkan beberapa data terutama terkait jenis dan spesifikasi dari komponen pembentuk *mobile robot* terutama pada bagian sensor dan aktuator yang bisa dilihat pada Gambar 2. Berikut adalah spesifikasi dari sensor dan aktuator yang digunakan:

#### 1. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi jarak antara *mobile robot* dengan halangan maupun dinding yang digunakan sebagai masukan dari fitur *obstacle avoidance*. Sensor ultrasonik yang digunakan adalah Parallax PING))) . Sensor ultrasonik Parallax PING))) memberikan pengukuran jarak non-kontak antara 2 cm hingga 300 cm [18]. Sensor ini membutuhkan tegangan suplai sebesar +5 VDC.

## 2. *Motor Direct Current (DC)*

Motor DC digunakan untuk mengaktuatori roda pada *mobile robot*. Dibutuhkan motor DC dengan spesifikasi torsi yang cukup tinggi karena *mobile robot* digunakan untuk dapat membawa barang-barang logistik. Motor DC yang digunakan adalah PG36 dengan torsi sebesar 20 Kgfc<sub>m</sub> dan kecepatan hingga 200 rpm [19].

## 3. *Motor Stepper*

Motor *stepper* digunakan untuk mengaktuatori *scissor lift* pada *mobile robot* untuk mengangkat barang-barang logistik sehingga dibutuhkan torsi yang cukup tinggi. Nema 23 adalah motor *stepper* yang digunakan yang memiliki gaya radial maksimum hingga 70 N [20] dan *holding torque* sebesar hingga 189 Ncm.

## 4. *Motor Servo*

Motor *servo* Hitec HS-785HB digunakan untuk mengaktuatori mekanisme pembuka pintu pada *mobile robot* dengan spesifikasi torsi hingga 13,2 Kgfc<sub>m</sub> dengan kecepatan hingga 475 rpm [21].



Gambar 2. Sensor dan aktuator pada *mobile robot* (a) sensor ultrasonik Parallax PING))) (b) motor DC PG36 (c) motor *stepper* Nema 23 (d) motor *servo* Hitec HS-785HB

(Sumber: (a) <https://www.parallax.com/product/ping-ultrasonic-distance-sensor/>  
 (b) <https://www.tokopedia.com/mri/pg36-24v-1-50-9k-7ppr-encoder-200rpm>  
 (c) <https://www.omc-stepperonline.com/nema-23-stepper-motor/>  
 (d) <https://hitecrd.com/products/servos/analog/boat-analog/hs-785hb-3.5/product>)

## C. *Lokasi Penelitian*

Penelitian ini dilaksanakan dengan fasilitas di Laboratorium Intelligent Mechatronics and Industrial Automation (IMIA) Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) dari bulan Januari 2020 sampai Juli 2021.

## D. *Metode Penelitian*

Dalam penelitian ini, diusulkan pendekatan dengan menerapkan sistem navigasi menggunakan *position driver* dan *obstacle avoidance* untuk *holonomic mobile robot*. *Holonomic mobile robot* digunakan karena dapat bergerak bebas ke segala arah dan derajat kebebasan yang dapat dikendalikan sama dengan derajat kebebasan total. *Position driver* dan *obstacle avoidance* menggunakan *fuzzy controller* digunakan agar *mobile robot* dapat mencapai tujuannya dan dapat menghindari halangan.

## E. *Pengujian*

Terdapat dua tahapan pengujian pada penelitian ini meliputi, pertama uji coba untuk pengujian fungsional sistem navigasi dan yang kedua uji coba untuk pengujian tugas pengiriman logistik oleh *mobile robot*. Pengujian fungsional sistem navigasi dilakukan untuk mengetahui apakah sistem navigasi berjalan sesuai dengan rancangan yang telah ditentukan. Sedangkan pengujian tugas pengiriman logistik dilakukan untuk mengetahui apakah *mobile robot* mampu melakukan pengiriman logistik kepada pasien setelah menerapkan sistem navigasi di dalamnya.

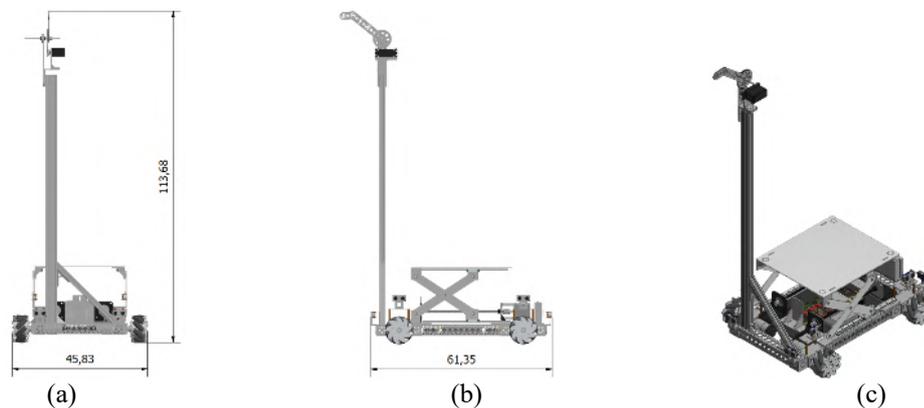
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menjelaskan perancangan, pengujian, dan analisa sistem yang telah dilakukan, mulai dari desain dan realisasi perangkat keras dalam hal ini adalah *mobile robot*, pengujian sistem navigasi, hingga pengujian secara keseluruhan dari tugas pengiriman logistik oleh *mobile robot*.

#### A. Hasil Perancangan Sistem

##### 1. Sistem Perangkat Keras

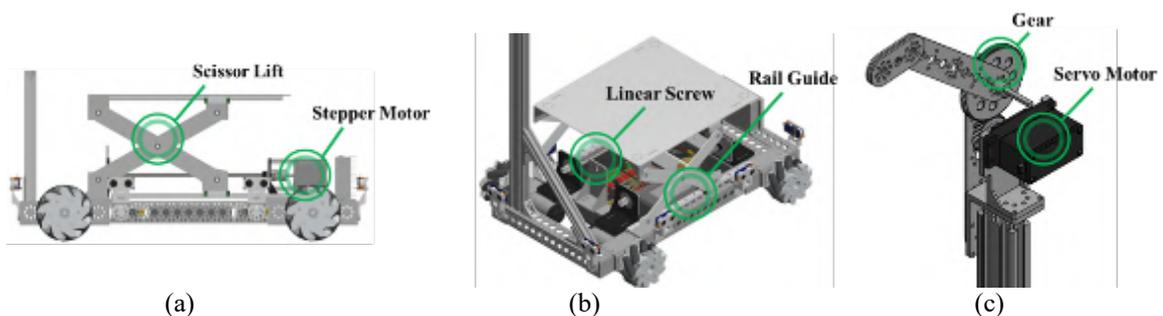
Perancangan atau desain *mobile robot* perlu diperhatikan terutama pada bagian dimensi agar optimal untuk membawa barang-barang logistik. Dimensi *mobile robot* adalah 61,35 cm × 45,83 cm × 113,68 cm. Pada bagian ini desain *mobile robot* dibagi menjadi 2 bagian, pertama adalah sistem manajemen pergerakan kemudian sistem manajemen objek. Gambar 3 menunjukkan desain dari *mobile robot*.



Gambar 3. Desain *mobile robot* tampak (a) depan (b) samping (c) isometrik

Sistem manajemen pergerakan adalah sistem yang digunakan untuk mengatur pergerakan *mobile robot* yang diatur oleh pergerakan roda yang digerakkan oleh motor *direct current* (DC). Roda yang digunakan ada 4 yaitu roda *mecanum* yang dapat membuat *mobile robot* bergerak secara *holonomic*. Sistem manajemen pergerakan dilengkapi dengan 8 sensor ultrasonik yang terpasang 2 buah di sisi depan, 2 buah di sisi kanan, 2 buah di sisi kiri, dan 2 buah di sisi belakang.

Kemudian sistem manajemen objek yang dapat dilihat pada Gambar 4 digunakan untuk mengelola objek yaitu rak dan pintu. Ada 2 elemen pada sistem ini, yang pertama adalah *scissor lift* yang digunakan untuk mengangkat rak yang berisi barang-barang yang harus diantar ke pasien dan yang kedua adalah pembuka pintu yang digunakan untuk membuka pintu agar robot dapat masuk ke dalam ruangan.



Gambar 4. Desain sistem manajemen objek (a) tampak samping (b) tampak isometrik (c) pembuka pintu

*Scissor lift* merupakan mekanisme pengangkatan dengan struktur seperti gunting yang dapat memperkecil dimensi lebar untuk menambah dimensi panjang sehingga terjadi mekanisme pengangkatan. Aktuator yang digunakan untuk menggerakkan *scissor lift* adalah motor *stepper* yang dibantu oleh 2 *rail guide* untuk memandu pergerakan mekanisme *scissor lift* dan 2 buah *linear screw* untuk menghasilkan gerakan linear dari motor *stepper*.

Mekanisme sederhana yang digunakan untuk membuka pintu adalah dengan motor *servo* yang dikuatkan oleh 2 roda gigi (*gear*) sehingga kuat saat membuka pintu yang bisa dilihat pada Gambar 4(c). Mekanismenya cukup dengan memutar motor *servo* untuk membuat *end-effector* meraih ganggang pintu dan kemudian *mobile robot* bergerak maju atau mundur untuk mendorong atau menarik ganggang pintu tergantung pada mekanisme pintu.

Untuk bisa mengakses sensor dan menggerakkan aktuator maka diperlukan sistem elektronik pada *mobile robot*. Sistem elektronik merupakan hubungan antar komponen secara fisik yang dirancang sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Rancangan sistem elektronik pada *mobile robot* dapat dilihat pada Gambar 5.

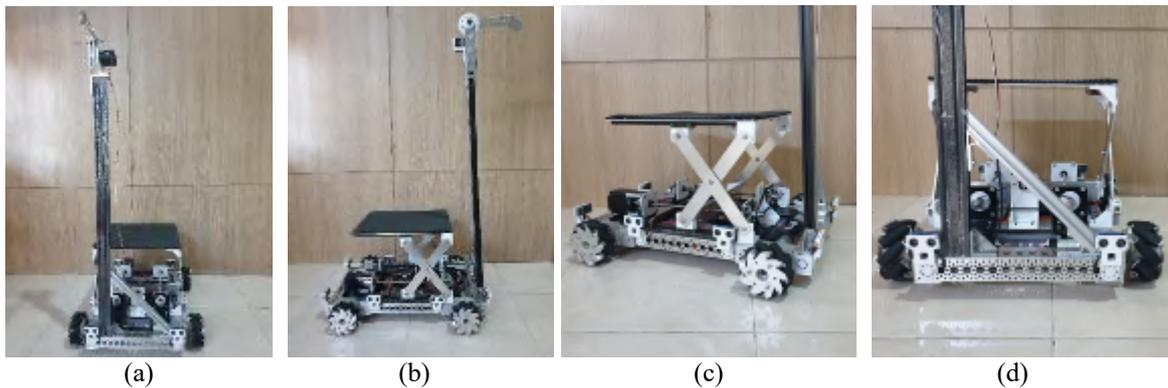


Gambar 5. Diagram sistem elektronik

Terdapat 2 buah baterai sebagai sumber tenaga untuk mikrokontroler, sensor, dan aktuator dengan spesifikasi keduanya yaitu 12 V 3300 mAh. Mikrokontroler yang digunakan adalah NI myRIO-1900 yang diproduksi oleh National Instruments (NI) yang menyediakan sebanyak 40 *digital input output* (DIO). Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik sebanyak 8 buah. Masing-masing roda digerakkan oleh 4 buah motor DC dikendalikan melalui *motor driver* berdasarkan masukan yang diperoleh dari mikrokontroler. Kemudian terdapat motor *stepper* yang dikendalikan melalui *stepper driver* berdasarkan masukan yang diperoleh juga dari mikrokontroler. Terakhir, terdapat 1 buah motor *servo* yang langsung digerakkan langsung oleh mikrokontroler. Semua spesifikasi dari sensor dan aktuator dapat dilihat pada Bab II di bagian Data Penelitian.

Dari sisi ekonomis berdasarkan penjelasan rancangan *mobile robot* beserta sistem elektroniknya, *mobile robot* dapat dikategorikan sebagai *low cost mobile robot* karena penggunaan komponen sistem elektronik dan mekaniknya yang lebih terjangkau dari pada *mobile robot* lainnya yang biasanya diterapkan pada kasus yang sama. Contohnya, sensor yang digunakan adalah 8 sensor ultrasonik yang dipasang di semua sisi sehingga bisa mengindra setiap sisi arah pengindraan menggantikan sensor Light Detection and Range (LiDAR) yang biasanya digunakan pada kasus ini yang secara biaya lebih tinggi. Komponen pengolah utama sistem elektronik yang digunakan juga adalah mikrokontroler NI myRIO-1900 yang juga lebih terjangkau dari pada kontroler lainnya seperti Programmable Logic Circuit (PLC) yang sering digunakan pada *mobile robot* pada kasus yang sama.

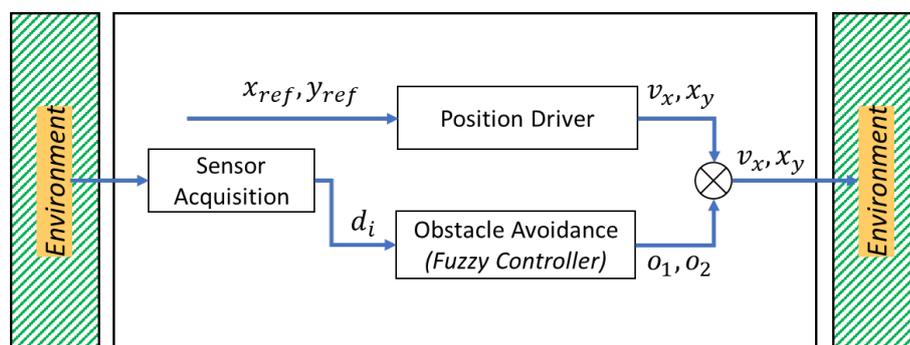
Berdasarkan rancangan dan pertimbangan dari sisi ekonomis, seluruh desain *mobile robot* direalisasikan, mulai dari sistem manajemen pergerakan hingga sistem manajemen objek. Gambar-gambar realisasi *mobile robot* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Realisasi *mobile robot* tampak (a) depan (b) samping (c) isometrik (d) dekat

## 2. Sistem Navigasi

Sistem navigasi dirancang menggunakan LabVIEW yang merupakan platform desain sistem dan lingkungan pengembangan untuk bahasa pemrograman visual dari National Instruments [22]. Sistem navigasi menuntut *mobile robot* untuk mampu bergerak ke titik target dan menghindari halangan di lingkungan. Hal ini membutuhkan informasi mengenai jarak dan arahnya menuju titik target sebagai variabel masukan untuk *position driver* dan jarak antara robot dan *halangan* di setiap arah pengindraan sebagai masukan *obstacle avoidance*. Aturan kontrol dibagi menjadi dua perilaku: *position driver* dan *obstacle avoidance*, seperti *subsumption architecture* [23] atau juga disebut juga *behavior-based control system* [24]. Diagram dari aturan kontrol tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram sistem navigasi

Perilaku pertama yaitu *position driver* atau juga bisa disebut dengan *position control* yang digunakan agar *mobile robot* dapat menuju titik target yang diinginkan. Ada beberapa metode *position driver* yang bisa digunakan, ada yang menggunakan kamera yang dipasang di atas bidang kerja *mobile robot* [25], ada yang menggunakan *odometry* dari pembacaan *encoder* [26]. Pada penelitian ini metode *position driver* menggunakan data *odometry* dari *encoder* yang ada di 4 motor.

Terdapat 2 kecepatan yang dikontrol yaitu kecepatan linier  $x$  ( $v_x$ ) dan kecepatan linier  $y$  ( $v_y$ ). Aturan kontrol untuk kedua kecepatan dapat dilihat di Persamaan (1) dan Persamaan (2).

$$v_x(t) = K_p \cdot e \cos \alpha + K_i \int_0^t e \cos \alpha + K_d \cdot \frac{d}{dt} e \cos \alpha \tag{1}$$

$$v_y(t) = K_p \cdot e \sin \alpha + K_i \int_0^t e \sin \alpha + K_d \cdot \frac{d}{dt} e \sin \alpha \tag{2}$$

yang mana  $K_p$  adalah gain proporsional,  $K_i$  adalah gain integral, dan  $K_d$  adalah gain turunan,  $e$  adalah jarak kesalahan antara posisi sebenarnya ( $x_{act}, y_{act}$ ) dan posisi referensi target ( $x_{ref}, y_{ref}$ ), dan  $\alpha$  adalah jarak kesalahan arah hadap. Kemudian,  $e$  dan  $\alpha$  dapat dihitung sebagai berikut menggunakan Persamaan (3) dan Persamaan (4).

$$e = \sqrt{(x_{ref} - x_{act})^2 + (y_{ref} - y_{act})^2} \tag{3}$$

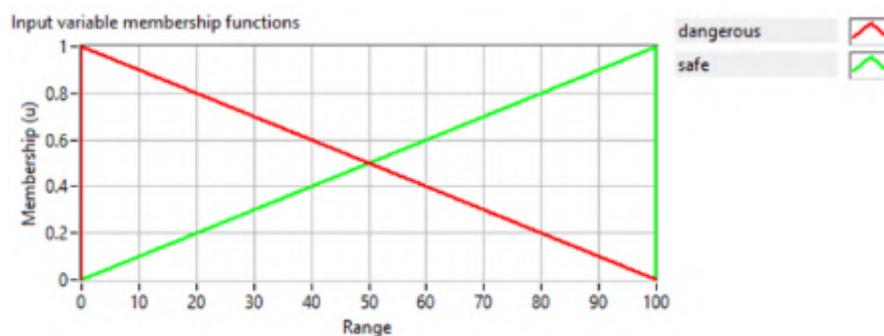
$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{y_{ref} - y_{act}}{x_{ref} - x_{act}} \right) \tag{4}$$

Perilaku kedua yaitu *obstacle avoidance* menggunakan *fuzzy controller*. Di sini digunakan fungsi keanggotaan segitiga untuk mengurangi waktu komputasi serta pengaturan parameter *fuzzy controller*. Fungsi keanggotaan segitiga umumnya digambarkan dengan Persamaan (5).

$$\mu_{A_{i,j}}(x_j) = \begin{cases} 1 - \frac{|x_j - a_{i,j}|}{b_{i,j}}, & |x_j - a_{i,j}| \leq b_{i,j} \\ 0, & |x_j - a_{i,j}| > b_{i,j} \end{cases} \tag{5}$$

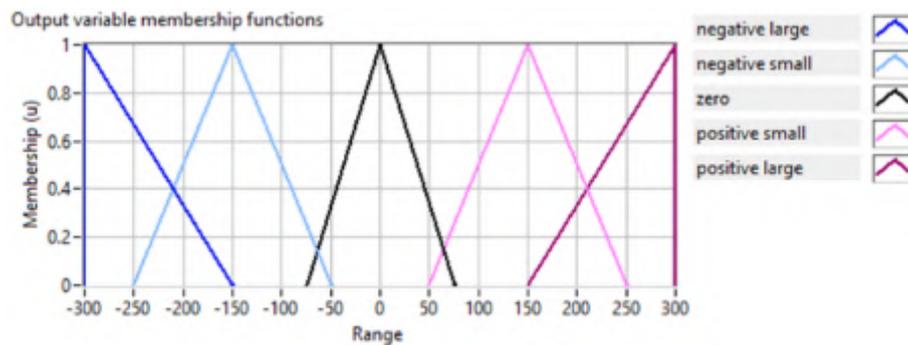
yang mana  $A_{i,j}$  adalah fungsi keanggotaan untuk masukan ke- $j$  dari aturan ke- $i$ ,  $a_{i,j}$  dan  $b_{i,j}$  adalah nilai tengah dan lebar dari fungsi keanggotaan,  $A_{i,j}$ .

Fungsi keanggotaan variabel linguistik masukan adalah *degree of danger*, merepresentasikan derajat bahaya antara *mobile robot* dengan halangan yang diindra menggunakan sensor jarak. Untuk menyederhanakan, dua istilah linguistik *dangerous* dan *safe* digunakan untuk mewakili derajat bahaya sebagai fungsi jarak ( $x_j$ ) sebagai masukan ke- $j$ . Di sini,  $\mu_{danger}$  sesuai dengan tingkat bahaya. Perilaku penghindaran halangan dari *mobile robot* harus mengambil tindakan yang mengurangi nilai  $\mu_{danger}$ . Jumlah total variabel linguistik masukan adalah 8 karena ada 8 sensor jarak sebagai masukan. Fungsi keanggotaan variabel linguistik masukan dirancang menggunakan LabVIEW Fuzzy System Designer yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Fungsi keanggotaan variabel linguistik masukan dari *degree of danger*

Fungsi keanggotaan variabel linguistik keluaran adalah *robot velocity*, mewakili kecepatan *mobile robot* yang ingin dikendalikan. Istilah linguistik dari *robot velocity* harus mewakili baik arah dan besarnya perubahan kecepatan. Oleh karena itu, digunakan *negative large*, *negative small*, *zero*, *positive small*, dan *positive large* untuk variabel keluaran ini. Jumlah variabel keluaran linguistik adalah 2 karena ada 2 kecepatan yang dikontrol yaitu kecepatan linier  $x$  ( $v_x$ ) dan kecepatan linier  $y$  ( $v_y$ ). Fungsi keanggotaan variabel linguistik keluaran juga dirancang menggunakan LabVIEW Fuzzy System Designer yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Fungsi keanggotaan variabel linguistik keluaran dari *robot velocity*

Dalam *fuzzy controller* ini diterapkan aturan *fuzzy controller if-then* karena arsitekturnya yang sederhana dan biaya komputasi yang rendah digambarkan sebagai berikut:

**IF**  $x_1$  is  $A_{i,1}$  and ... and is  $A_{i,j}$  and ... and  $x_n$  is  $A_{i,n}$   
**THEN**  $y_1$  is  $w_{i,1}$  ... and  $y_j$  is  $w_{i,j}$  and ... and  $y_o$  is  $w_{i,o}$

yang mana  $A_{i,j}$  adalah fungsi keanggotaan untuk masukan ke- $j$  ( $x_j$ ) dari aturan ke- $i$ ,  $w_{i,j}$  adalah *singleton* untuk keluaran ke- $j$  dari aturan ke- $i$ , dan  $n$ ,  $o$  dan  $r$  adalah jumlah masukan, keluaran, dan aturan.

Derajat pengaktifan dari aturan ke- $i$  ( $\mu_i$ ) ( $i=1,2,\dots,r$ ) dapat dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$\mu_i = \prod_{j=1}^n \mu_{A_{i,j}}(x_j) \tag{6}$$

Selanjutnya, keluaran yang dihasilkan ke- $j$  ( $y_j$ ) dihitung dengan *weighted average* (defuzzifikasi) pada Persamaan (7).

$$y_j = \frac{\sum_{i=1}^r \mu_i \cdot w_{i,j}}{\sum_{i=1}^r \mu_i} \tag{7}$$

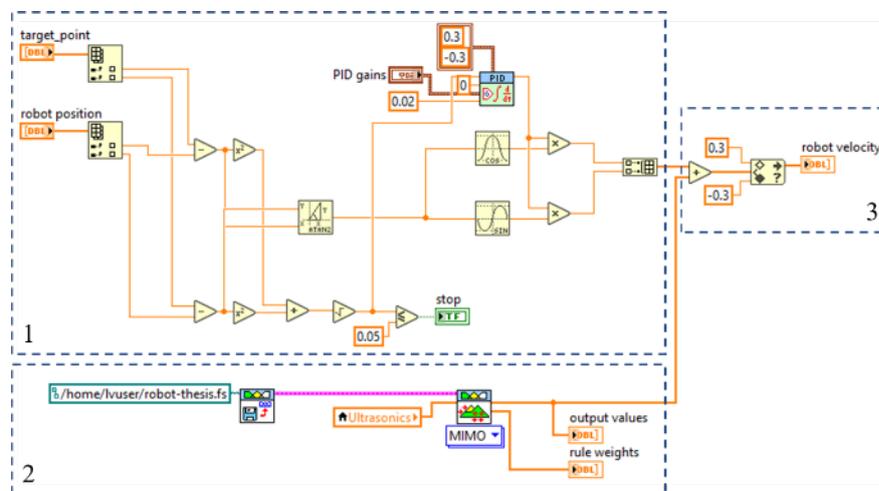
Aturan *fuzzy controller* kemudian dirancang menggunakan LabVIEW Fuzzy System Designer yang bisa dilihat pada Gambar 10. Terdapat 24 aturan yang dibuat sehingga bisa mewakili seluruh reaksi yang tepat berdasarkan masukan yang diterima oleh fuzzy controller untuk mobile robot bisa menghindari halangan.

```

1. IF 'sensor1' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'positive small' ALSO 'velocity2' IS 'negative large'
2. IF 'sensor2' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative small' ALSO 'velocity2' IS 'negative large'
3. IF 'sensor3' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative large' ALSO 'velocity2' IS 'negative small'
4. IF 'sensor4' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative large' ALSO 'velocity2' IS 'positive small'
5. IF 'sensor5' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative small' ALSO 'velocity2' IS 'positive large'
6. IF 'sensor6' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'positive small' ALSO 'velocity2' IS 'positive large'
7. IF 'sensor7' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'positive large' ALSO 'velocity2' IS 'positive small'
8. IF 'sensor8' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'positive large' ALSO 'velocity2' IS 'negative small'
9. IF 'sensor1' IS 'dangerous' AND 'sensor2' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'zero' ALSO 'velocity2' IS 'negative large'
10. IF 'sensor2' IS 'dangerous' AND 'sensor3' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative small' ALSO 'velocity2' IS 'negative small'
11. IF 'sensor3' IS 'dangerous' AND 'sensor4' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative large' ALSO 'velocity2' IS 'zero'
12. IF 'sensor4' IS 'dangerous' AND 'sensor5' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative small' ALSO 'velocity2' IS 'positive small'
13. IF 'sensor5' IS 'dangerous' AND 'sensor6' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'zero' ALSO 'velocity2' IS 'positive large'
14. IF 'sensor6' IS 'dangerous' AND 'sensor7' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'positive small' ALSO 'velocity2' IS 'positive small'
15. IF 'sensor7' IS 'dangerous' AND 'sensor8' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'positive large' ALSO 'velocity2' IS 'zero'
16. IF 'sensor8' IS 'dangerous' AND 'sensor1' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'positive small' ALSO 'velocity2' IS 'negative small'
17. IF 'sensor1' IS 'dangerous' AND 'sensor2' IS 'dangerous' AND 'sensor3' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative small' ALSO 'velocity2' IS 'negative large'
18. IF 'sensor2' IS 'dangerous' AND 'sensor3' IS 'dangerous' AND 'sensor4' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative large' ALSO 'velocity2' IS 'negative small'
19. IF 'sensor3' IS 'dangerous' AND 'sensor4' IS 'dangerous' AND 'sensor5' IS 'dangerous' THEN 'velocity1' IS 'negative large' ALSO 'velocity2' IS 'positive small'
    
```

Gambar 10. Aturan fuzzy controller

Berdasarkan proses melalui persamaan-persamaan dari sistem navigasi yang telah dijelaskan, sistem navigasi dirancang pada *block diagram* di LabVIEW yang bisa dilihat pada Gambar 11.



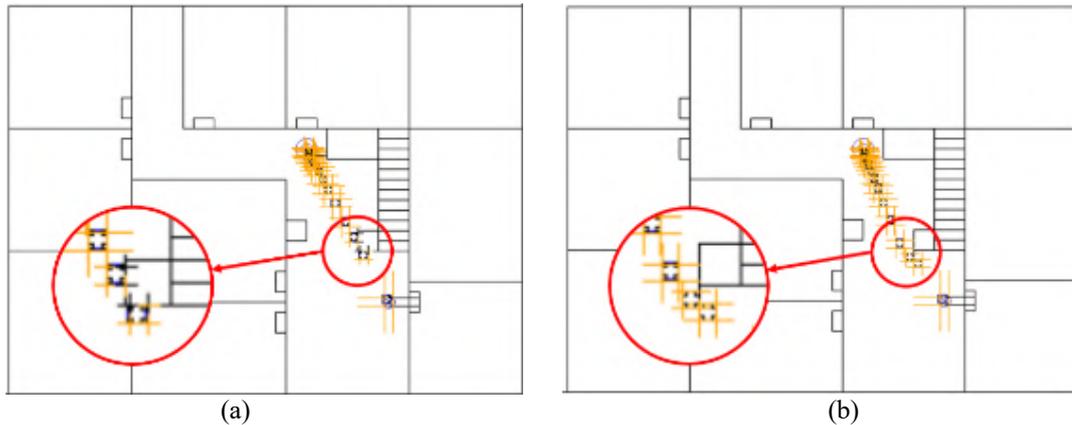
Gambar 11. Rancangan sistem navigasi di LabVIEW

Fungsi pada bagian nomor 1 merupakan rancangan untuk perilaku *position driver*. Fungsi pada bagian nomor 2 merupakan rancangan untuk perilaku *obstacle avoidance*. Terakhir, fungsi pada bagian nomor 3 merupakan hasil dari penjumlahan dari kedua perilaku sebelumnya.

## B. Hasil Pengujian

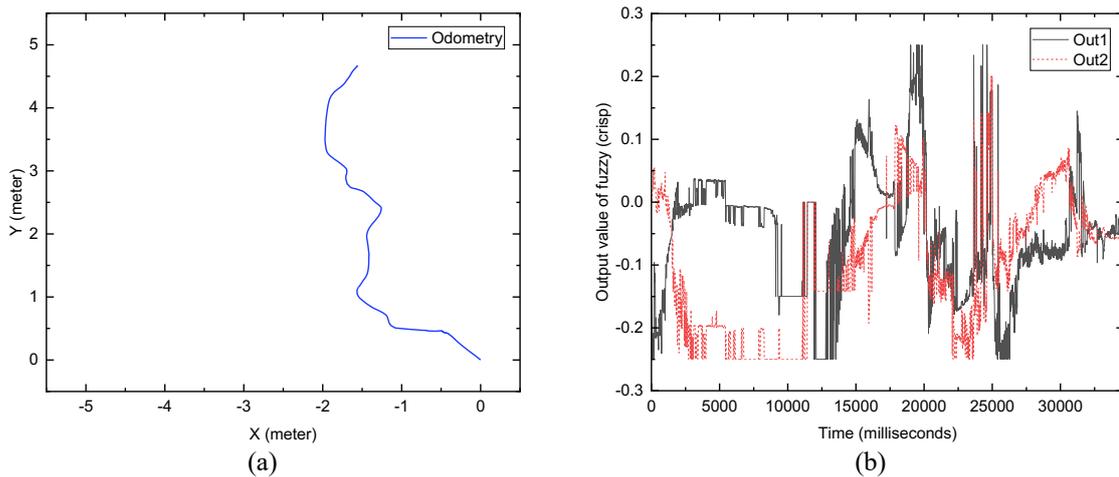
### 1. Pengujian Sistem Navigasi

Sebelum menguji pada keadaan sebenarnya. Sistem navigasi diuji terlebih dahulu pada simulasi. Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi yang mana ukuran ruang kerja adalah  $380 \times 500$  dalam satuan piksel yang mana 1 piksel pada simulasi mewakili 2 cm pada ruang kerja sebenarnya. Posisi awal dan target adalah (140, 100) dan (220, 250), masing-masing. Pada gambar, *mobile robot* digambarkan setiap 30 langkah waktu diskrit. Dari Gambar 12(a) dapat dilihat bahwa *mobile robot* menabrak halangan ketika menuju target apabila *obstacle avoidance* tidak diterapkan pada algoritma navigasi, tentunya hal ini sangat berbahaya ketika diterapkan di *mobile robot* asli. Namun, pada Gambar 12(b) dapat dilihat bahwa *mobile robot* berhasil menghindari halangan ketika menuju target apabila *obstacle avoidance* diterapkan pada sistem navigasi. Jadi *obstacle avoidance* memainkan peran penting bagi *mobile robot* untuk mencapai titik target tanpa menabrak halangan atau dinding yang ada.



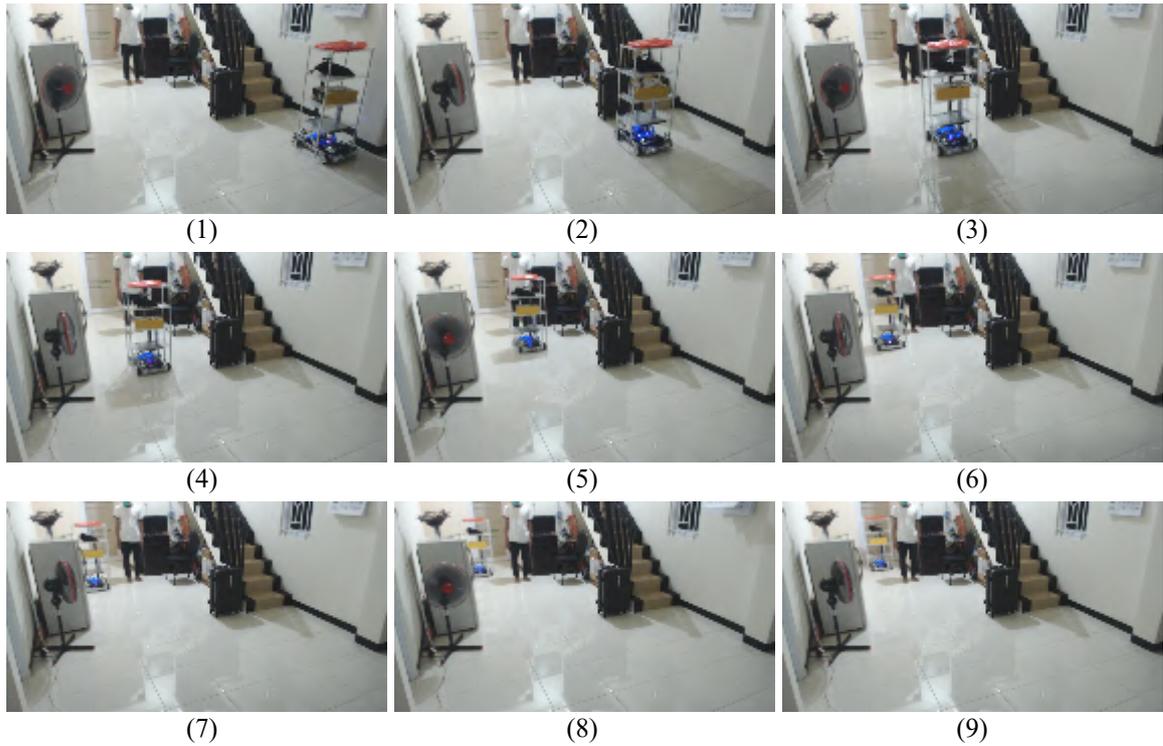
Gambar 12. Hasil simulasi sistem navigasi (a) tanpa *obstacle avoidance* (b) dengan *obstacle avoidance*

Kemudian sistem navigasi diuji pada keadaan sebenarnya. Pada pengujian ini, *mobile robot* dijalankan dari posisi awal ke posisi target pada lingkungan yang diberi beberapa halangan berupa benda dan manusia. Bisa lihat dari Gambar 13(a) yang merupakan grafik data *odometry*, bahwa *mobile robot* tidak bergerak lurus dari posisi awal ke target karena harus menghindari beberapa halangan yang ada ketika bergerak lurus. Gambar 13(b) menunjukkan grafik nilai keluaran dari *fuzzy controller* yaitu berupa keluaran 1 (*Out 1*) dan keluaran 2 (*Out 2*) yang merupakan nilai *crisp* dari fungsi keanggotaan variabel linguistik keluaran *robot velocity* pada Gambar 9 yang mewakili kecepatan linear *mobile robot* di koordinat  $x$  ( $v_x$ ) dan kecepatan linear *mobile robot* di koordinat  $y$  ( $v_y$ ), terlihat bahwa keluaran dari *fuzzy controller* terus berubah-ubah berdasarkan dengan kondisi lingkungan.



Gambar 13. Grafik data pengujian *real* sistem navigasi (a) *odometry* (b) nilai keluaran *fuzzy controller*

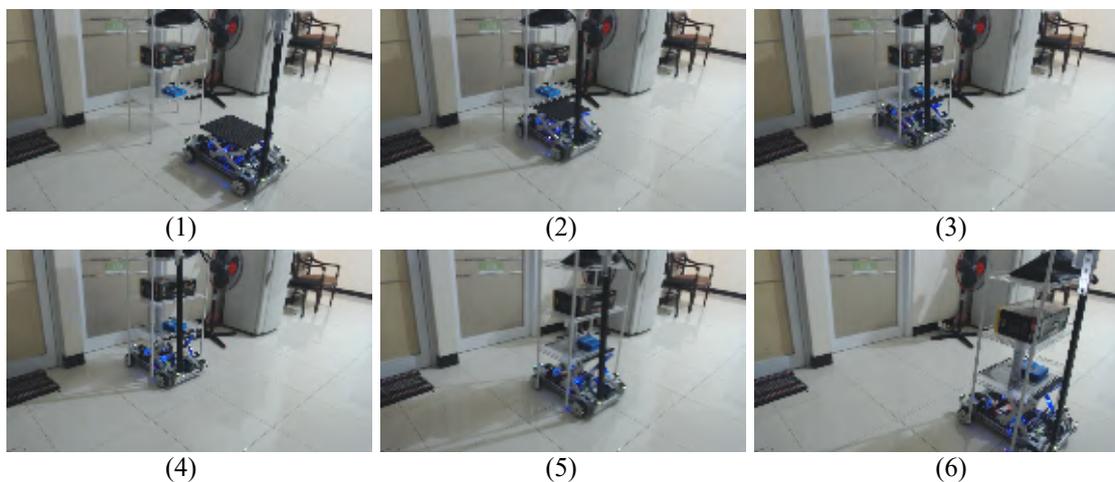
Gambar 14 menunjukkan *snapshot* dari urutan gambar ketika pengujian sistem navigasi di *real mobile robot*. Bisa dilihat bahwa ketika *mobile robot* bergerak menuju target, *mobile robot* mampu menghindari halangan pertama yaitu sebuah koper dengan cara bergerak ke arah kiri, kemudian *mobile robot* mampu bergerak ke jalur yang aman yaitu tepat di tengah-tengah antara koper dan lemari pendingin sebagai halangan kedua, selanjutnya *mobile robot* mampu menghindari tidak hanya berupa benda namun manusia sebagai halangan ketiga dengan cara bergerak ke arah kiri dan mengitari manusia karena target posisi berada tepat di belakang manusia atau di depan pintu.



Gambar 14. Snapshot pengujian *real* sistem navigasi

## 2. Pengujian Tugas Pengiriman Logistik

Bagian ini menjelaskan pengujian tugas pengiriman logistik *mobile robot* yaitu untuk bergerak mengambil rak, membawanya, hingga mengantarkannya ke tempat yang ditargetkan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa *mobile robot* mampu menjalankan tugas pengiriman logistik yaitu berupa pengiriman rak berisi barang-barang keperluan pasien.



Gambar 15. Pengujian tugas pengiriman logistik

Gambar 15 menunjukkan *snapshot* dari urutan proses tugas *mobile robot*. Dapat dilihat bahwa *mobile robot* mampu untuk menjalankan fungsinya mulai dari menghampiri rak, masuk ke dalam rak dengan cara bergerak ke arah belakang karena, mengangkat rak menggunakan *scissor lift*, membawa rak yaitu bergerak sembari rak tetap diangkat, dan mengantarkan rak ke target yang diinginkan yaitu di depan pintu ruangan pasien.

#### IV. KESIMPULAN

Sistem navigasi yang diusulkan menggunakan *position driver* yang telah mampu membuat *mobile robot* menuju dan mencapai target posisi yang diinginkan dan menggunakan *obstacle avoidance* dengan *fuzzy controller* yang diterapkan yang telah berhasil membuat *mobile robot* juga mampu menghindari halangan yang ada di sekitarnya. *Mobile robot* yang diusulkan memiliki sistem manajemen pergerakan berupa model pergerakan *holonomic* yang mampu melakukan pergerakan secara bebas ke segala arah dan berfungsi di area yang sempit dan memiliki sistem manajemen objek yang mampu mengangkat rak berisi barang-barang logistik keperluan pasien sehingga *mobile robot* dapat melakukan tugas pengiriman logistik yang akan meminimalkan kontak antara pasien COVID-19 dengan tenaga kesehatan.

#### REFERENSI

- [1] Ghebreyesus T. *WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19-2020*. World Health Organization. 2020.
- [2] COVID-19 Data Repository by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University. *Daily new confirmed COVID-19 deaths*. Our World in Data. Tersedia di: <https://ourworldindata.org/covid-deaths>. Diakses 25 Juli 2021.
- [3] Calderon C. A. A., Mohan R. E., Zhou C. *Elderly Tele-care in the Singapore Context*. International Conference on Human-Robot Interaction. Lausanne. 2011.
- [4] International Federation of Robotics. *Executive Summary World Robotics 2020 Industrial Robots*. 2020.
- [5] Gul F., Rahiman W., Alhady S. S. N. A comprehensive study for robot navigation techniques. *Cogent Engineering*. 2019; 6(1): 1-25.
- [6] Li W., Xiong R. Dynamical Obstacle Avoidance of Task Constrained Mobile Manipulation Using Model Predictive Control. *IEEE Access*. 2019; 7: 88301-88311.
- [7] Rostami S. M. H., Sangaiah A. K., Wang J., Liu X. Obstacle avoidance of mobile robots using modified artificial potential field algorithm. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2019; 70: 1-19.
- [8] Hong Z., Chun-Long S., Zi-Jun Z., Wei A., De-Qiang Z., Jing-Jing W. *A Modified Dynamic Window Approach to Obstacle Avoidance Combined with Fuzzy Logic*. 2015 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES). Guiyang. 2015; 523-526.
- [9] Herwin K., Harianto, Wibawa C. K. Robot Auto Pointing sebagai Media Pencarian Sinyal Terbaik p ada Instalasi Radio Wireless Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Inovtek Polbeng - Seri Informatika*. 2019; 4(1): 66-75.
- [10] Tzafestas S. G. Mobile Robot Control and Navigation: A Global Overview. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2018; 91(1): 35-38.
- [11] Tzafestas S. G. Introduction to Mobile Robot Control. Athens: Elsevier. 2014: 1-663.
- [12] Wang D., Hu Y., Ma T. Mobile robot navigation with the combination of supervised learning in cerebellum and reward-based learning in basal ganglia. *Cognitive Systems Research*. 2020; 59: 1-14.
- [13] Pedrycz W. Fuzzy control and fuzzy system. 2 ed. Devon: Research Studies Press Ltd. 1993: 1-350.

- [14] Hajek P. *Metamathematics of fuzzy logic*. 4. Berlin: Springer Science & Business Media. 1998: 1-299.
- [15] Zadeh L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965; 8(3): 338-353.
- [16] Zadeh L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*. 7(3): 199-249.
- [17] Lee C. C. Fuzzy logic in control systems: A Fuzzy controller-Part I & Part II. *IEEE Trans. System, Man, Cybern.* 1975; 20: 404-435.
- [18] Parallax Inc. *PING)))™ Ultrasonic Distance Sensor (#28015)*. Parallax Inc. 2009.
- [19] MRI. *PG36 24V 1:50.9k 7ppr Encoder 200rpm*. Tokopedia. Tersedia di: <https://www.tokopedia.com/mri/pg36-24v-1-50-9k-7ppr-encoder-200rpm>. Diakses 4 Agustus 2021.
- [20] Changzhou Songyang Machinery & Electronics. *High Torque Hybrid Stepping Motor Specifications*. Changzhou Songyang Machinery & Electronics. 2012.
- [21] Hitec RCD. *HS-785HB Karbonite, 3.5 Turn Winch Servo*. Hitec RCD. Tersedia di: <https://hitecred.com/products/servos/analog/boat-analog/hs-785hb-3.5/product>. Diakses 4 Agustus 2021.
- [22] Travis J., Kring J. *LabVIEW for everyone: graphical programming made easy and fun*. 3 ed. Upper Saddle River. New Jersey: Prentice Hall. 2007: 1-981.
- [23] Brooks R. A. A robust layered control system for a mobile robot. *IEEE Trans. Robot. Automat.* 1986; 2: 14-23.
- [24] Sulistijono I. A., Kuswadi S., Setiaji O., Salfikar I., Kubota N. A Study on Fuzzy Control of Humanoid Soccer Robot EFuRIO for Vision Control System and Walking Movement. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*. 2012; 16(3): 444-452.
- [25] Nurlaili R., Sulistijono I. A., Risnumawan A. *Mobile Robot Position Control Using Computer Vision*. International Electronics Symposium (IES). Surabaya. 2019.
- [26] Affandi I., Sulistijono I. A., Ardilla F. *Kontrol Posisi Robot Omni-Direksional Menggunakan Metode Gyrodometry*. Surabaya. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya; 2014.