

Desain Penggerak Robot Beroda dengan Sistem Rocker-Bogie untuk Pencarian Korban Gempa Bumi

Muhammad Hablul Barri¹, Tirta Yudha Hernanda², Aipujana Tiara Santoso³,
Muhammad Nur Faizi⁴, Muhammad Saehata Mahrus⁵, Rafif Rizqullah⁶

^{1,2,3,4,5,6}Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

E-mail: *¹ mhbarri@telkomuniversity.ac.id, ² hernaid@student.telkomuniversity.ac.id,

³ aipujanatiara@student.telkomuniversity.ac.id,

⁴ muhammadfaizi@student.telkomuniversity.ac.id,

⁵ saehata@student.telkomuniversity.ac.id, ⁶ rafifrizqullah@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak – Potensi bencana yang cukup tinggi di Indonesia membuat pemerintah selalu mendukung segala program untuk menanggulangi bencana tersebut. Salah satu kendala yang dihadapi dalam mitigasi bencana adalah mengevakuasi korban sedini mungkin, agar tidak muncul korban berikutnya. Susahnya medan membuat petugas tidak mudah menemukan korban yang tertimpa puing bangunan dan sejenisnya. Sehingga diperlukan robot yang mampu membantu petugas dalam menemukan korban yang tertimpa oleh puing-puing bangunan. Batasan robot yang harus direalisasikan adalah robot harus mampu melewati segala medan dengan standar komunikasi yang memungkinkan untuk diterapkan pada daerah bencana. Dalam paper ini dibahas bagaimana merancang mekanisme robot beroda dengan mekanisme kaki-kaki *rocker-bogie* yang mampu melewati segala medan. Mekanisme *rocker bogie* lebih unggul dibanding dengan sistem rantai, terlebih pada medan yang berupa tangga dengan kemiringan di atas 300. Metode *dynamic window approach* juga diimplementasikan untuk memudahkan robot menuju ke titik tujuan atau titik awal secara mandiri. Dari beberapa pengujian didapatkan hasil robot mampu melewati objek berupa gundukan pasir dengan ketinggian hingga 40 cm dengan kemiringan di atas 300. Sedangkan jangkauan yang mampu dilewati mampu mencapai 7 meter dengan kemiringan kurang dari 100. Dari pengujian juga didapatkan hasil dari 8 jenis peletakan *obstacle* yang berbeda, robot berhasil kembali ke titik awal dengan error rata-rata sebesar 1.0513m.

Kata Kunci — penggerak roda, robot, *rocker-bogie*.

Abstract – *The potential for disasters is quite high in Indonesia, making the government always support all programs to overcome these disasters. One of the obstacles faced in disaster mitigation is evacuating victims as early as possible, so that there are no further victims. The difficulty of the terrain made it difficult for officers to find victims who were hit by building debris and the like. So we need a robot that is able to assist officers in finding victims who were hit by building debris. The limitation of the robot that must be realized is that the robot must be able to pass through all fields with communication standards that allow it to be applied to disaster areas. In this paper, we discuss how to design a wheeled robot mechanism with rocker-bogie legs that can pass through any terrain. The rocker bogie mechanism is superior to the chain system, especially on terrain in the form of stairs with a slope above 300. The dynamic window approach method is also implemented to make it easier for the robot to go to the destination point or starting point independently. From several tests, the results showed that the robot was able to pass through an object in the form of a sand dune with a height of up to 40 cm with a slope above 300. While the range that could be passed was able to reach 7 meters with a slope of less than 100. From the test also obtained results from 8 different types of obstacle laying, the robot managed to return to the starting point with an average error of 1.0513m.*

Keywords — *rocker-boogie, robot, wheel drive*

1. PENDAHULUAN

Berada di antara lingkaran gunung berapi, membuat Indonesia menjadi negara padat bencana khususnya dalam hal gempa bumi, baik gempa bumi tektonik maupun vulkanik. Dari data 2016-2018 didapati intensitas gempa dari 4.4-7.8SR [1]. Dari gempa tersebut jumlah korban tidak kurang dari 1000 orang. Ada beberapa korban yang puing-puing bangunan dengan kondisi masih hidup namun tidak ditemukan dalam beberapa hari sehingga ditemukan dengan kondisi tidak sadarkan diri bahkan ada yang sampai meninggal. Petugas Basarnas juga sudah berusaha semaksimal mungkin untuk mencari korban, namun kurangnya personel membuat kerepotan petugas untuk mencari korban.

Dalam melakukan pencariannya petugas juga dibantu oleh anjing pelacak untuk mendeteksi keberadaan korban yang memungkinkan untuk diselamatkan [2]. Namun anjing pelacak ini juga terbatas keberadaannya karena diperlukan anjing dengan kekhususan yaitu yang sudah pernah menjalani pelatihan sebelumnya. Sehingga anjing pelacak ini juga relatif lebih mahal baik dari segi operasional maupun biaya pengadaannya. Selain itu petugas juga perlu mengantisipasi terjadinya gempa susulan yang mungkin terjadi sehingga akan sangat berbahaya bagi petugas. Dari fakta ini maka dirasa perlu untuk membantu petugas untuk mencari korban bencana gempa bumi dengan biaya operasional yang rendah.

Kendala yang dihadapi dalam mendesain sebuah robot khususnya robot mitigasi bencana adalah bagaimana menentukan aktuator yang sesuai dengan medan yang dilalui [3], [4]. Karena medan yang dilalui pada area gempa bumi adalah medan yang tidak teratur maka sistem penggerak yang memungkinkan untuk diaplikasikan adalah sistem penggerak dengan rantai /*chain* seperti pada penggerak *tank*. Namun sistem penggerak seperti ini masih memiliki kelemahan. Diantaranya yaitu, sistem roda seperti ini pada umumnya sulit untuk diaplikasikan untuk menaiki tangga. Sistem ini memudahkan kendaraan hanya untuk medan yang tidak rata. Namun untuk medan yang tinggi seperti tangga dalam gedung akan sedikit menyulitkan. Sehingga diperlukan sistem penggerak roda yang sesuai dengan kondisi tersebut. Sistem penggerak yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem *rocker-bogie*. Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh NASA dengan tujuan menjelajahi permukaan planet MARS [5]. Sistem ini memiliki kelebihan dibanding dengan sistem penggerak yang lainnya, diantaranya yaitu, pergerakan roda yang independen membuat robot lebih leluasa dalam menghadapi medan terjal. Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem mekanik *rocker-bogie* untuk robot pencari korban bencana alam dengan penambahan metode *path planning* yang memudahkan untuk kembali ke asal setelah melakukan penelusuran.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini hanya berfokus pada bagaimana perancangan sistem mekanik khususnya sistem penggerak pada robot segala medan. Sistem penggerak menggunakan sistem *rocker-bogie* dengan penggerak 6 roda yang bergerak secara independen. Pergerakan independen ini yang membuat robot dapat bergerak secara leluasa melewati medan yang sulit dilalui oleh robot lain. Robot juga dilengkapi dengan sistem komunikasi berbasis loRa yang memungkinkan robot dapat mengirimkan koordinat ke pusat komando tanpa membutuhkan jaringan seluler.

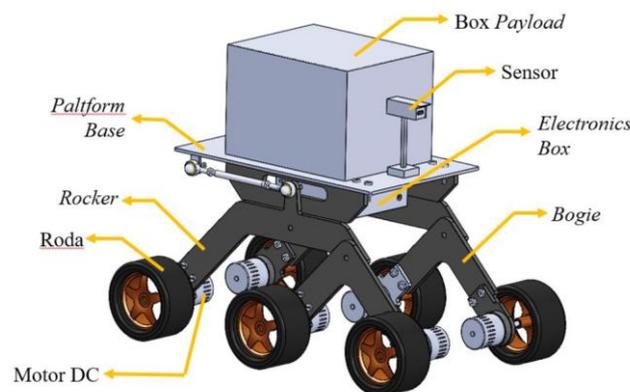
2.1. Desain Mekanik

Rocker bogie adalah jenis sistem suspensi yang dikembangkan oleh NASA untuk mengembangkan sistem yang meminimalkan konsumsi energi, perpindahan vertikal dari pusat massa *rover* dan sudut kemiringannya. Istilah "*rocker*" menggambarkan aspek gerak dari *link* yang lebih besar di setiap sisi sistem suspensi dan menyeimbangkan *bogie* karena *rocker* ini terhubung satu sama lain melalui diferensial yang dimodifikasi secara selektif [5].

Sesuai dengan gerak untuk mempertahankan pusat gravitasi seluruh kendaraan, ketika satu *rocker* bergerak ke atas, yang lainnya turun. Chassis memainkan peran penting untuk mempertahankan sudut *pitch* rata-rata kedua *rocker* dengan memungkinkan kedua *rocker* bergerak

sesuai situasi. Sesuai desain, salah satu ujung *rocker* dilengkapi dengan roda penggerak dan ujung lainnya diputar ke *bogie* yang memberikan gerakan dan tingkat kebebasan yang diperlukan [5]–[7].

Desain *rocker-bogie* tidak menggunakan pegas dan *stub axles* (as roda) di setiap rodanya jadi desain ini memungkinkan untuk melewati rintangan apapun, seperti bebatuan, parit, pasir, dll. Dibandingkan dengan sistem suspensi lainnya, stabilitas kemiringan yang dibatasi oleh COG (*centre of gravity*) pada sistem *rocker-bogie* ini sama di setiap sisinya [8]. Sistem yang menggunakan pegas cenderung lebih tidak stabil karena terdapat salah satu sisi yang terbebani selama melewati rintangan. Karena bergantung dengan pusat massa secara keseluruhan, suspensi *rocker bogie* ini dapat menahan kemiringan setidaknya 50 derajat ke segala arah tanpa terguling[7], [9]. Hal ini merupakan keuntungan untuk *mobile robot* yang akan membawa beban berat nantinya. Sistem ini diimplementasikan pada *vehicle* yang berkecepatan rendah sekitar 10 cm/s sehingga meminimalkan guncangan dan kerusakan pada kendaraan ketika melewati rintangan yang cukup berat. Faktor penting dalam pembuatan mekanisme *rocker-bogie* adalah untuk menentukan dimensi keterkaitan *rocker* dan *bogie* serta sudut diantaranya. Panjang dan sudut mekanisme ini dapat diubah sesuai kebutuhan. Desain mekanik robot dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Desain robot beserta bagian-bagiannya

Dapat dilihat robot terdiri beberapa komponen penting, yaitu:

1. Roda

Seperti halnya roda pada umumnya roda disini berfungsi sebagai komponen utama mobilisasi. Roda yang dibutuhkan terdiri dari 6 buah roda dengan tekanan udara yang sama. Dimensi roda dibuat dengan ketebalan 67.7 mm diameter 176 mm dan lebar 93.28 mm. Dengan ukuran sebesar ini dan ditambah dengan drat karet pengait akan memudahkan robot untuk berjalan di medan berpasir dan sejenisnya. Visualisasi roda dapat dilihat pada gambar 2. Keenam roda ini juga dapat dikontrol secara independen sehingga dapat saling menopang satu sama lain ketika masuk kedalam medan yang sulit dilalui.



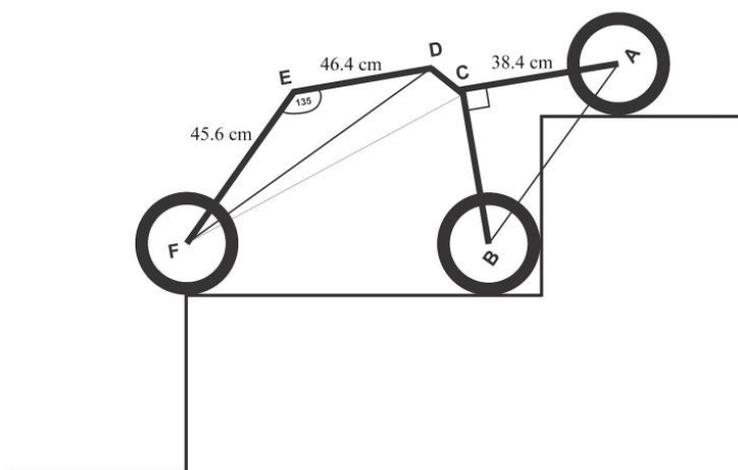
Gambar 2. Desain robot beserta bagian-bagiannya

2. Sensor.

Blok sensor terdiri dari empat bagian yaitu sensor suara, sensor kamera, sensor jarak dan GPS. Sensor suara digunakan sebagai masukan untuk pengenalan suara. Pengenalan suara ini digunakan robot untuk memudahkan dalam mengenali indikasi-indikasi di lapangan yang menandakan adanya korban. Begitu juga sama halnya pada sensor kamera. Kamera ini digunakan sebagai masukan dalam melakukan pengenalan secara visual jika terdapat indikasi korban yang harus ditolong di lapangan. Sensor jarak dalam hal ini menggunakan sensor ultrasonik digunakan untuk membantu navigasi robot dalam menghindari rintangan. Terdapat 5 buah sensor ultrasonik yang terpasang dengan konfigurasi 2 di kanan dan kiri, dua di depan dan satu di belakang. Navigasi robot juga dibantu oleh sebuah sensor GPS dalam menentukan area mana yang harus di eksplorasi oleh robot. GPS yang dipasang berupa GPS *outdoor*.

3. *Rocker Bogie*.

Rocker bogie ini adalah sistem kaki robot. *Rocker bogie* ini dirancang dengan menggunakan sebuah plat baja dengan ketebalan 3mm. Pada *joint*-nya dihungkan dengan tuas pengait yang dipasang dengan sebuah *bearing* yang memudahkan pergerakan *rocker bogie* dalam meredam getaran dan memudahkan robot melewati segala jenis medan. Desain sistem kaki kaki dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi sistem kaki robot dalam menaiki tangga

Untuk mendapatkan tinggi minimal *obstacle* yang dapat dilalui, panjang AB dapat dihitung dengan persamaan segitiga pada persamaan 1.

$$AB^2 = AC^2 + BC^2 \quad (1)$$

Dimana AB adalah jarak antara roda A dan B, AC adalah jarak antara roda A dengan *joint* C dan BC adalah jarak antara roda B dengan *joint* C. Sehingga didapatkan jarak AB sepanjang 54.3 cm.

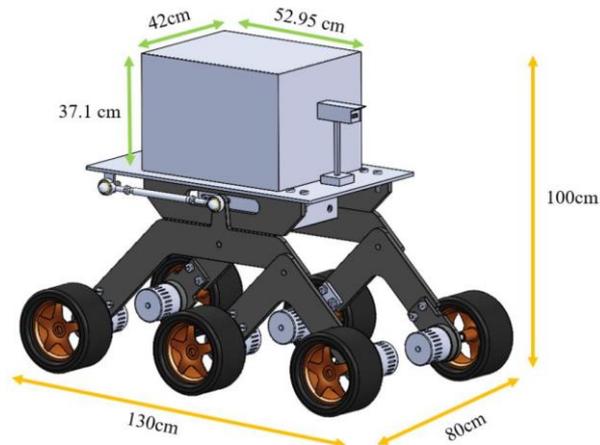
Sedangkan untuk mendapatkan jangkauan maksimum dari robot, dapat ditinjau dari segitiga DEF. Jarak DF maksimum agar tidak tersangkut *obstacle*. Maka DF dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$DF^2 = DE^2 + EF^2 - 2DE \times EF \cos \alpha \quad (2)$$

Dimana DE merupakan jarak antara *joint* D dan *joint* E, EF adalah jarak antara *joint* E dan roda F dan DF merupakan jarak antara roda F dengan *joint* D. Dalam kasus pada medan dalam bentuk tangga DF adalah jarak anak tangga maksimum yang dapat dicapai adalah sebesar 7,2 m. Dari spesifikasi ini maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *obstacle* yang dapat dilalui cukup untuk menjelajahi puing-puing bangunan dalam hal ini direpresentasikan oleh sebuah tangga dengan ketinggian 54.3 cm dengan panjang maksimal 7.2 m.

4. *Box payload.*

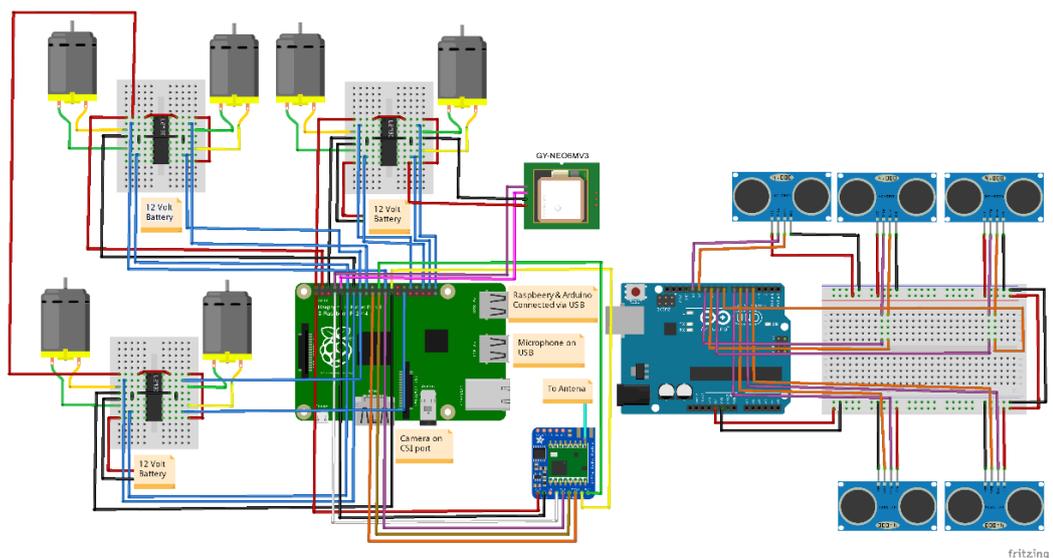
Box payload ini diisi dengan perlengkapan pokok dan P3K. Ini bertujuan untuk memberikan pertolongan pertama pada korban yang belum makan/minum dalam waktu tertentu serta mengalami luka berat yang harus ditangani. Ukuran kotak ini tidak terlalu lebar yaitu dengan ukuran 42 cm x 52,95 cm x 37cm. Kotak *payload* di rancang tidak terlalu besar karena untuk menjaga agar dimensi robot tidak terlalu besar dan memudahkan memasuki area-area sempit yang sulit dijangkau. Ilustrasi dimensi *box payload* dan robot secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Dimensi *box payload* dan robot keseluruhan

2.2. *Desain perangkat lunak*

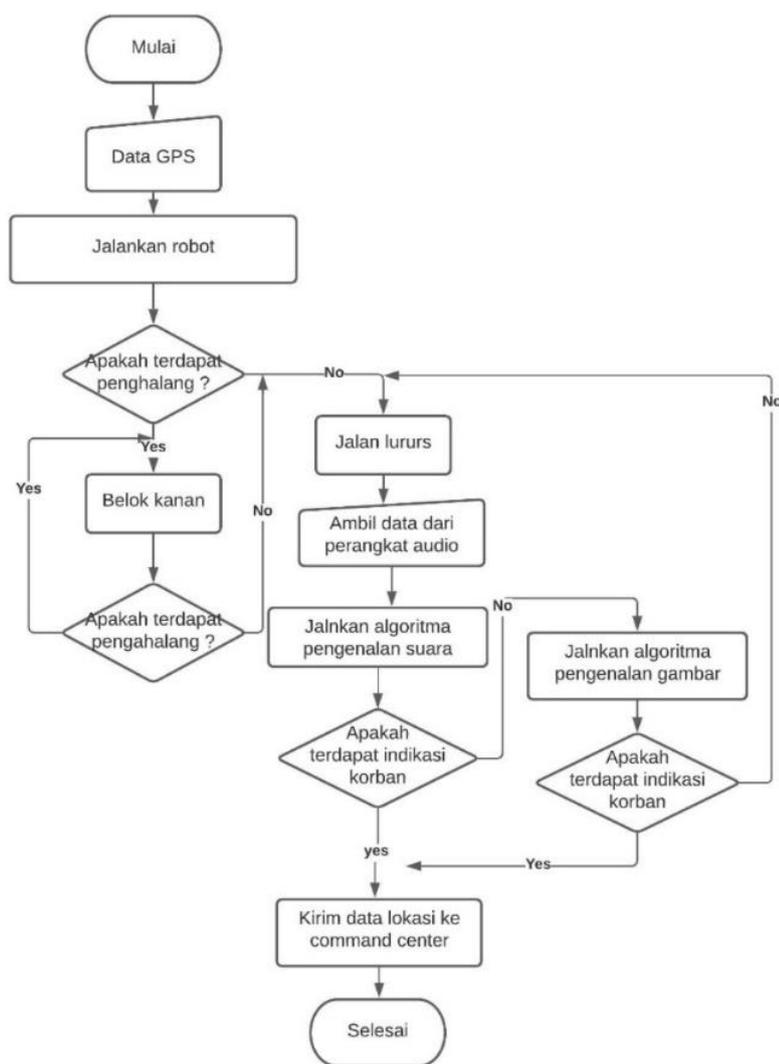
Robot ini dirancang memiliki komponen yang mampu dimanfaatkan ketika menyusuri medan bencana. Untuk komunikasi robot dilengkapi dengan loRa yang mampu mengirimkan data sejauh 10 km. Secara keseluruhan komponen elektronik yang terpasang pada robot dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Skema eletronika

Untuk pengenalan citra robot dilengkapi dengan kamera usb yang dihubungkan dengan raspberry sebagai pengolah citra. Dan untuk menangani navigasi robot dipasang GPS outdoor dan

sensor ultrasonik untuk membantu robot dalam menghindari penghalang disekitar robot. Sensor ultrasonik dihubungkan ke arduino untuk diolah kemudian data dikirimkan ke *raspberry* melalui komunikasi serial. Data ini yang digunakan oleh *raspberry* untuk menentukan arah gerak robot dan memberitahukan apakah terdapat obstacle disekitar robot. Terdapat 5 buah ultrasonik yang peletakannya berada 2 di depan, 1 di samping kanan dan 1 di samping kiri dan 1 lagi dibelakang. Peletakan ini dengan asumsi medan robot ketika terjadi bencana, tidak banyak terdapat manusia yang lalu lalang. Unsur diagram alur dari robot dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir dari sistem

Robot dimulai dengan mencatat koordinat *home*/ titik mulai dari robot. Koordinat ini yang dijadikan acuan robot untuk kembali ke *home*. Ketika robot mulai berjalan, mobilitas robot bergerak secara acak ke area yang sudah ditentukan. Dalam melakukan penyusuran robot dibantu oleh sensor ultrasonik untuk menghindari *obstacle*. Bersamaan dengan penyusuran, robot mengenali suara-suara yang mengindikasikan terdapat korban. Sebelumnya robot telah dibekali dengan dataset suara yang mengindikasikan korban. Data suara didapat dari mic kondensor yang terhubung ke *jack* audio *raspberry pi*. Jika tidak terdapat suara, maka dilakukan pengenalan citra untuk pengenal objek terindikasi korban tertimpa. Jika terdapat citra maupun suara yang mengindikasikan terdapat objek/korban, robot akan mengirimkan data koordinat *gps* dimana korban ditemukan. Pengiriman

data koordinat melalui LoRa agar jarak jangkauan mencapai 10 km, mengingat di lokasi bencana sulit ditumukan sinyal internet maupun karena aliran listrik yang terputus. Setelah robot mengirimkan koordinat ke stasiun pusat, tim akan ke lokasi untuk melakukan pengecekan pada lokasi yang ditandai. Dilain sisi robot terus melakukan tugasnya untuk mencari korban yang memungkinkan untuk diselamatkan.

2.2.1. Metode path planning

Dynamic windows approach adalah sebuah teknik sebuah robot untuk menghindari rintangan yang menggunakan *constraint* dinamika dan kinematika dari *mobile robot*. Perintah yang digunakan untuk mengontrol robot dilakukan dalam ruang kecepatan. Dinamika robot dimasukkan ke dalam metode dengan mengurangi ruang pencarian menjadi kecepatan yang dapat dicapai di bawah *constraint* dinamika [10].

Interval pengambilan sampel Δt dapat dicari dengan pengurangan dari \mathcal{B} olynom kinematika dan dinamika dari robot ke interval kecepatan \mathcal{B} olyno (v_c, ω_c) Perkiraan kemungkinan kecepatan yang didapat didefinisikan sebagai persamaan 3.

$$V_d = \{(v, \omega) | v \in [v_c - \dot{v}_b \Delta t, v_c + \dot{v}_a \Delta t] \wedge \omega \in [\omega_c - \dot{\omega}_b \Delta t, \omega_c + \dot{\omega}_a \Delta t]\} \quad (3)$$

Dimana \dot{v}_a adalah kecepatan translasi dan $\dot{\omega}_a$ adalah dan kecepatan sudut maksimal motor. Sedangkan \dot{v}_b dan $\dot{\omega}_b$ merupakan pengurangan kecepatan translasi dan rotasi motor.

Kecepatan translasi dan rotasi (v, ω) dari V_d diasumsikan sebagai kecepatan yang aman jika robot dapat berhenti di lintasan yang telah ditentukan oleh (v, ω) sebelum menabrak objek lain yang mungkin dapat ditemui di sepanjang jalur tersebut. V_a dari kecepatan yang dapat diterima didapat dari:

$$V_a = \{v, \omega \leq \sqrt{2\rho_{min}(v, \omega)\dot{v}_b} \wedge \sqrt{2\rho_{min}(v, \omega)\dot{\omega}_b}\} \quad (4)$$

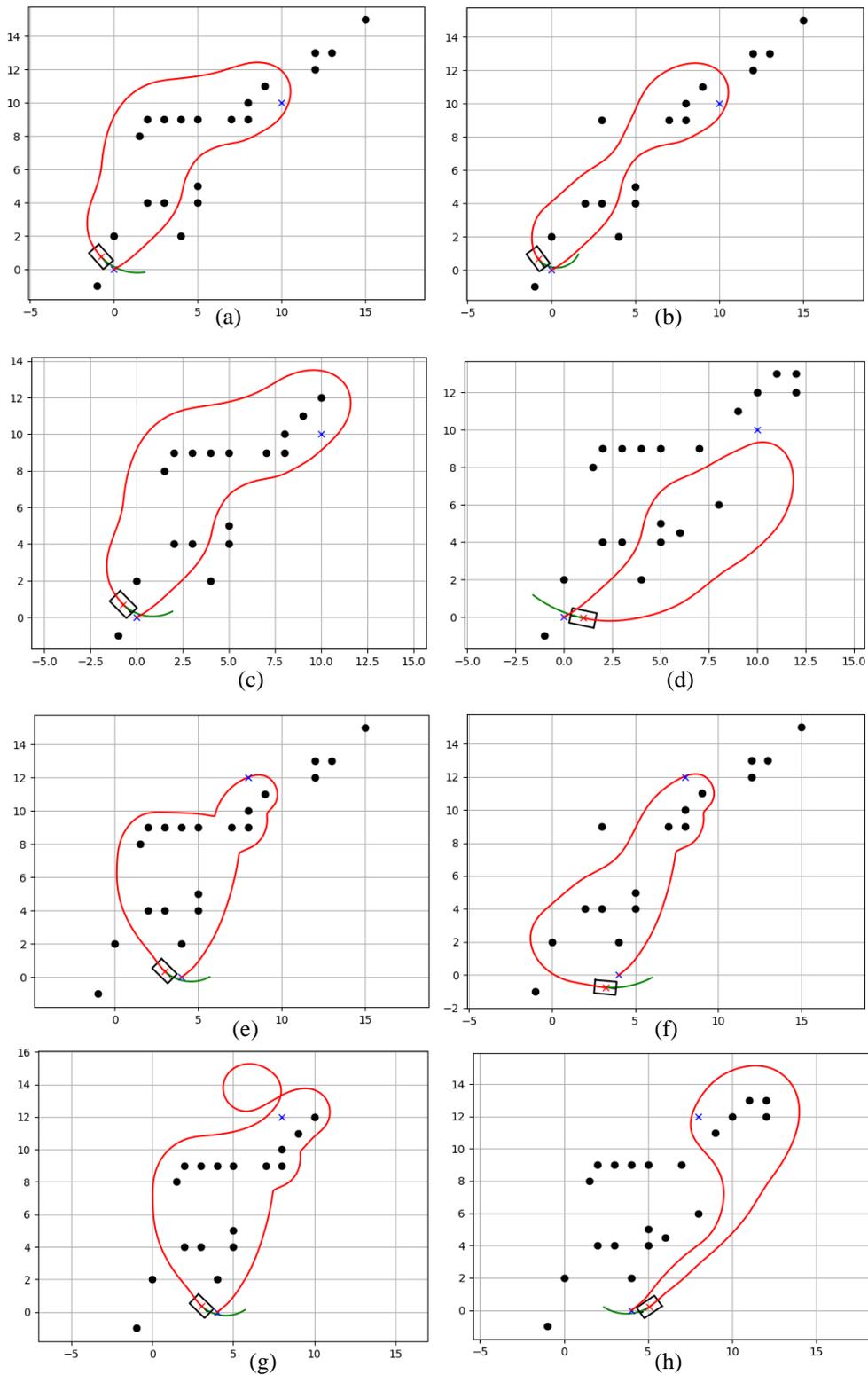
Dimana jarak rintangan terdekat terhadap lengkungan ditunjukkan dengan $\rho_{min}(v, \omega)$.

Untuk membuat kemungkinan yang sesuai dari sebuah pencarian kecepatan dengan respon relatif cepat, pendekatan dinamika *window* mempertimbangkan beberapa faktor. Faktor tersebut diantaranya adalah faktor kecepatan optimal dengan asumsi bahwa kecepatan interval pengambilan sampel $n - 1$ yang tersisa adalah konstan [11]. Ruang pencarian yang direduksi merupakan ruang dua dimensi dari kecepatan translasi dan rotasi (v, ω) . Hal ini sesuai dengan pencarian waktu dengan teknik polynomial. Setiap interval, pencarian diulang terus-menerus untuk melakukan pengambilan sampel dan secara otomatis kecepatan akan konstan jika tidak ada perintah baru yang diberikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan dua prosedur pengujian. Pengujain pertama dilakukan untuk menguji apakah robot dapat kembali ke titik home ketika sudah menjalankan misinya. Sedangkan pada pengujian ke dua dilakukan pengujian ketahanan robot ketika melewati sebuah *obstacle*. Pengujain ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi simulasi yaitu *CopeliaSim-EDU*.

Pada pengujian pertama prosedur dilakukan dengan membuat rintangan /*obstacle* dengan 8 konfigurasi koordinat yang berbeda. Selain koordinat penghalang yang diubah, koordinat tujuan juga diubah. Adapun konfigurasi penghalang dan *history path* yang dilalui dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Visualisasi letak obstacle pada medan yang dilalui robot

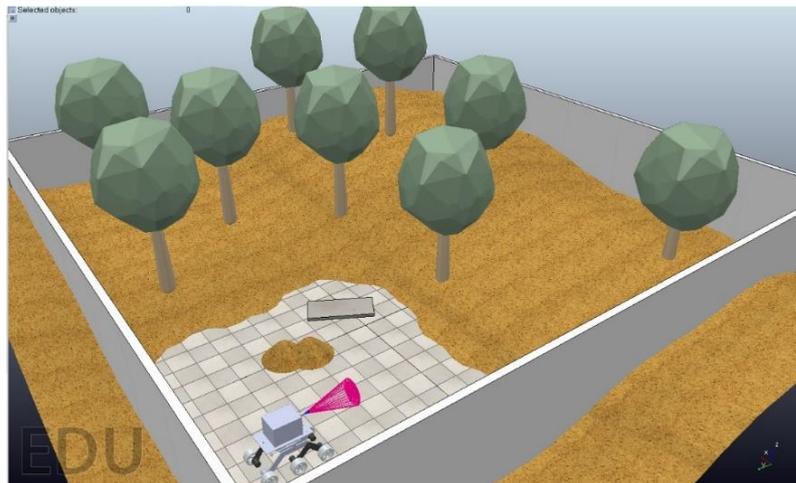
Tanda silang biru merepresentasikan titik awal dan titik akhir dari robot. Sedangkan titik hitam merupakan posisi penghalang. Dapat dilihat bahwa dengan metoda *Dynamic window*

approach robot dapat kemabal ke titik awal walupun dengan jalur yang berbeda. Karena tidak ada batasan waktu dalam ketika kembali ke *home*, maka metode ini sangat cocok diimplementasikan. Dari 8 percobaan semua misi dapat diselesaikan dengan baik. Pada percobaan ini batasan eror yang diperbolehkan maksimal adalah 1 meter dari titik yang sudah sitentukan. Pada Tabel 1 dapat dilihat rata-rata eror pada titik *home* sebesar 1.0513 m dan pada titik tujuan sebesar 1.0445 meter. Besarnya batasan kesalahan ini dapat disesuaikan pada saat inisialisasi. Semakin kecil toleransi kesalahan maka waktu yang dibutuhkan akan semakin lama. Karena sistem navigasi tidak mengedepankan waktu tempuh maka, robot tidak memperhitungkan waktu optimum untuk sampai ke target. Sehingga dapat dilihat pada gambar (8.g) robot berjalan memutar menjauhi target. Dari simulasi ini menunjukkan bahwa robot dapat diimplementasikan ke medan bencana dan dapat kembali ke tempat asal ketika misi sudah selesai.

Tabel 1

No	Koordinat		Nilai eror antara titik awal dan akhir(m)	
	Home	Goal	Home	Goal
1	0,0	10,10	1.0812	1.0192
2	0,0	10,10	1.0407	1.0192
3	0,0	10,10	1.009	1.035
4	0,0	10,10	1.0029	1.0851
5	4,0	8,12	1.0657	1.072
6	4,0	8,12	1.0882	1.072
7	4,0	8,12	1.0248	1.0164
8	4,0	8,12	1.0979	1.0371
Rata-rata eror			1.0513	1.0445

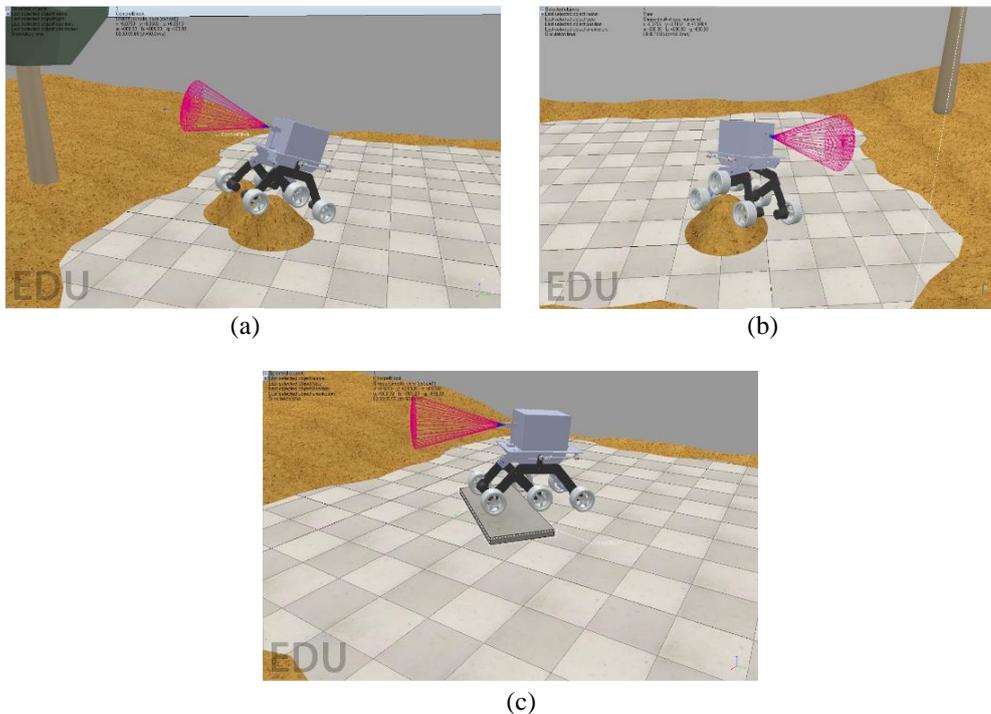
Pengujian yang kedua bertujuan untuk mengetahui kemampuan robot dalam melewati medan yang tidak tentu. Pada pengujian ini juga digunakan *software Coppeliasim Edu*, dengan cara *import* file desain yang telah disesuaikan kemudian diciptakan *obstacle-obstacle* yang menyerupai kondisi aslinya. Pada gambar 8 dapat dilihat medan simulasi yang dilalui oleh robot dengan *obstacle* berupa potongan balok dan gundukan tanah..



Gambar 8. Simulasi keseluruhan

Karena pada simulasi ini berfokus pada bagaimana robot mampu melewati *obstacle* seperti gundukan tanah dan potongan blok maka sensor belum diaktifkan dalam program tersebut. Program tersebut akan memicu pergerakan pada setiap roda yang sudah di set dengan *revolute joint* serta torsi sebesar 5 N*m, dengan pengaturan nilai kecepatan antara 0.872 m/s hingga 5.23 m/s.

Pada pengujian ini dilakukan pengujian dengan 3 jenis *obstacle*. *Obstacle* pertama yaitu 2 buah gundukan tanah (gambar 9.a), *obstacle* kedua berupa 1 buah gundukan tanah (gambar 9.b) dan *obstacle* yang terakhir berupa potongan serpihan puing berupa balok (gambar 9.c). Semua *obstacle* ini akan disesuaikan ketinggiannya untuk mengetahui kemampuan robot dalam melewati *obstacle* tersebut.



Gambar 9. Visualisasi medan yang dilalui robot

Hasil pengujian dengan kondisi kecepatan maksimum dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil uji simulasi robot dapat melewati *obstacle-obstacle* dengan baik namun memiliki batasan-batasan tertentu. Robot dapat melewati *obstacle* bukit dengan tinggi maksimum 40 cm sedangkan untuk *obstacle* blok dengan tinggi maksimum 8 cm.

Tabel 2. Hasil pengujian robot terhadap beberapa *obstacle*

No	Jenis <i>Obstacle</i>	Tinggi <i>Obstacle</i> (cm)	Hasil
1	Dua gundukan tanah	30	Berhasil
2	Satu gundukan tanah	30	Berhasil
3	Puing balok	5	Berhasil
4	Dua gundukan tanah	35	Berhasil
5	Satu gundukan tanah	35	Berhasil
6	Puing balok	7	Berhasil
7	Dua gundukan tanah	40	Berhasil
8	Satu gundukan tanah	40	Berhasil
9	Puing balok	9	Berhasil
10	Dua gundukan tanah	45	Gagal
11	Satu gundukan tanah	45	Gagal
12	Puing balok	11	Gagal

Pada tabel pengujian robot tidak mampu melewati balok dengan ketinggian 11 cm. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah torsi motor DC dan *grid* pada roda. Pada penelitian ini yang terjadi adalah roda slip diantara tanjakan, karena *rubber* belum dipasang pada

enam roda. Torsi pada motor DC sangat berpengaruh pada gaya dorong robot. Pada beberapa kondisi, tidak semua roda menyentuh permukaan sehingga robot kekurangan gaya dorong yang membuat robot tak mampu melewati rintangan tersebut. Selain itu *grid* roda mampu meningkatkan gaya gesek roda dengan permukaan sehingga tidak kehilangan gaya dorong pada robot.

4. KESIMPULAN

Dari desain yang diusulkan didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Robot mampu melewati jalur yang berbeda dengan *obstacle* yang acak dengan rata-rata kesalahan 1,015 m
2. Robot mampu melewati medan yang berupa hundukan tanah dan puing-puing balok dengan ketinggian maksimum 40 cm
3. Robot dapat melaju dengan stabil pada kecepatan maksimum 5.23 m/s
4. Desain robot optimal dengan dimensi 130 cm x 80 cm x 100cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Setiyono, I. Gunawan, and T. Yatimantoro, "Katalog Gempa Bumi signifikan dan merusak 1821-2018," Jakarta, 2019.
- [2] S. Haryati and Z. Rusli, "Efektifitas BASARNAS Dalam Penanggulangan Bencana dan Musibah di Pekanbaru," *Ef. BASARNAS Dalam Penanggulangan Bencana dan Musibah di Pekanbaru*, no. 0761, pp. 1–10, 2015.
- [3] G. A. Pratt, "Robot to the rescue," *Bull. At. Sci.*, vol. 70, no. 1, pp. 63–69, 2014, doi: 10.1177/0096340213516742.
- [4] N. SYAFITRI *et al.*, "The Autonomous Disaster Victim Search Robot using the Waypoint Method," *Sp. 2002 Robot. 2002*, vol. 8, no. 1, pp. 1558–1564, 2002, doi: 10.1061/40625(203)54.
- [5] R. Volpe, J. Balaram, T. Ohm, and R. Ivlev, "The Rocky 7 Mars rover prototype," pp. 1558–1564, 2002, doi: 10.1109/iros.1996.569020.
- [6] F. A. Hamim, I. A. Probal, A. S. Ahmed, M. A. Islam, and M. A. B. Siddik, "An Enhanced Prototype of Rover for Space Exploration," *Adv. Astronaut. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 75–96, 2020, doi: 10.1007/s42423-020-00060-3.
- [7] S. Wang and Y. Li, "Dynamic Rocker-Bogie: Kinematical Analysis in a High-Speed Traversal Stability Enhancement," *Int. J. Aerosp. Eng.*, vol. 2016, p. 5181097, 2016, doi: 10.1155/2016/5181097.
- [8] S. Habibian *et al.*, "Design and implementation of a maxi-sized mobile robot (Karo) for rescue missions," *ROBOMECH J.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–33, 2021, doi: 10.1186/s40648-020-00188-9.
- [9] D. P. Miller and T. L. Lee, "High-speed traversal of rough terrain using a Rocker-Bogie mobility system," *Sp. 2002 Robot. 2002*, vol. 40625, no. June 2002, pp. 428–434, 2002, doi: 10.1061/40625(203)54.
- [10] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 4, no. 1, pp. 23–33, 1997, doi: 10.1109/100.580977.
- [11] M. Seder and I. Petrovic, "Dynamic window based approach to mobile robot motion control in the presence of moving obstacles," in *Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2007, pp. 1986–1991, doi: 10.1109/ROBOT.2007.363613..

