

Potential Field Path Planning pada Permainan Robot Sepak Bola Beroda

Danendra Clevero Ananda, Rudy Dikairono, dan Djoko Purwanto
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: rudydikairono@ee.its.ac.id

Abstrak—Robot sepak bola beroda merupakan robot yang berkompetisi pada Kontes Robot Indonesia, yaitu divisi Kontes Robot Sepak Bola Beroda Indonesia. IRIS merupakan salah satu tim robot dari ITS yang melakukan riset pada bidang ini. Robot ini bermain sepak bola menggunakan penggerak utama berupa motor beroda. Saat ini tim IRIS menggunakan metode kondisional dalam path planning dan hindari halangan. Pada penelitian ini ditemukan metode baru bernama Potential Field. Dimana Potential Field akan melakukan komputasi real-time dengan hanya mengandalkan dua rumus yaitu attractive field dan repulsive field yang nantinya hasil dari perhitungan tersebut akan menjadi kecepatan robot yang dikirimkan langsung ke motor. Serta diharapkan metode potential field ini akan dapat diimplementasikan guna mengurangi pekerjaan kondisional pada robot dengan menggantinya menggunakan rumus yang telah diuji serta mengimplementasikan metode ini pada permainan bertahan, menyerang, serta pada permainan nasional pada robot sepak bola beroda. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa metode potential field ini menghabiskan waktu 5068.2 milli sekon hingga 13466.90 milli sekon pada permainan menyerang, 5166.11 milli sekon hingga 7359.78, serta metode potential field dapat menghindari halangan, mencapai tujuan serta dapat menggiring bola hingga ke tujuan yang ditentukan. Implikasinya adalah potensi pengurangan pekerjaan kondisional pada robot sepak bola beroda dengan mengadopsi rumus yang telah teruji dan terimplementasikan secara efektif pada berbagai konteks permainan.

Kata Kunci—*Potential Field, Obstacle Avoidance, Robot, Kontrol Robot.*

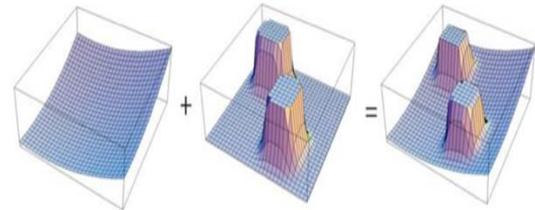
I. PENDAHULUAN

PERMAINAN robot sepak bola beroda merupakan salah satu divisi permainan pada Kontes Robot Indonesia. Permainan ini merupakan permainan yang melibatkan tiga robot dengan permainan sepak bola seperti pada permainan sepak bola asli. Tantangan saat ini pada permainan robot sepak bola beroda Indonesia adalah robot yang tidak mumpuni dalam menghindari halangan atau dalam kasus ini adalah robot lawan. Hal ini mendorong penulis untuk menemukan metode baru yang dapat dengan mudah menjadi sebuah algoritma dalam permainan, sekaligus menjadi sebuah perhitungan yang memakan sedikit waktu komputasi dalam metode obstacle avoidance. Penelitian ini bertujuan agar metode ini dapat menjadi sebuah metode dalam permainan menyerang, bertahan, dan dalam permainan nasional pada umumnya.

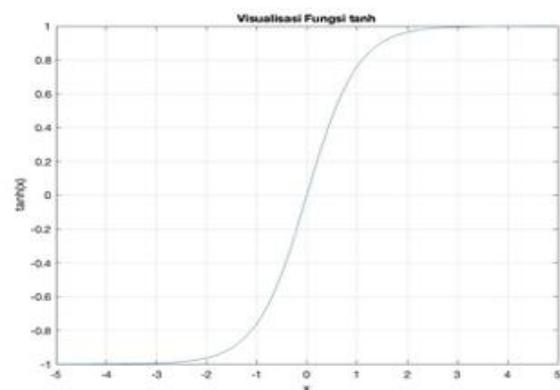
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Salah satu contoh implementasi dari metode *path planning* satu ini adalah penggunaannya di robot UAV atau *Unmanned Air Vehicle* [1]. Algoritma-algoritma perencanaan jalur umumnya dapat diklasifikasikan menurut



Gambar 1. Potential field.



Gambar 2. Visualisasi blending function.

Tabel 1 sampai Tabel 5. Metode perencanaan berbasis grafik termasuk A*, D*, dan algoritma optimisasinya [2].

B. Kontes Robot Sepak Bola Beroda

Kontes robot sepak bola beroda merupakan salah satu sub lomba yang ada pada Kontes Robot Indonesia.

C. Robot IRIS

IRIS, atau ITS Robot With Intellegence System merupakan salah satu tim robot sepak bola beroda yang telah melakukan penelitian sejak tahun 2017 hingga sekarang. Robot IRIS ini dilengkapi dengan ubuntu 20.04 dan ROS Noetic sebagai framework pemrograman robotnya.

D. Omni Directional Camera

Omni directional camera merupakan kamera yang memiliki *field of view* 360°. Kamera seperti ini dapat diraih dengan mem-projeksikan kamera kea rah atas yang lalu diberikan lensa *fish-eye* sehingga tampilan kamera akan mengarah ke bawah dengan sudut 360°.

E. Potential Field

APF atau (*Artificial Potential Field*) kerap digunakan para peneliti untuk mengembangkan robot yang membutuhkan penentuan rute dikarenakan metode ini memiliki tingkat keamanan yang sangat tinggi [3].

$$U_{attr}(q) = \frac{1}{2}k_a(q - qd)^2 \quad (1)$$

Tabel 1.
Algoritma Motion dengan Potential Field

Algoritma Motion dengan Potential Field

MASUKAN: posisi_target_x, posisi_target_y, sudut_target, kecepatan_trans, kecepatan_ang, akselerasi_maks, dekselerasi_maks, bendera, pointer kecepatan robot
 KELUARAN: kecepatan robot
 MULAI

- 1 INISIALISASI pid_sudut dengan konstanta
- 2 HITUNG kecepatan_sebelumnya berdasarkan kecepatan pada struktur pointer kecepatan robot
- 3 HITUNG gaya_tarik menuju target
- 4 NORMALISASI gaya_tarik berdasarkan kecepatan_trans
- 5 INISIALISASI total_gaya_tolak menjadi nol
- 6 UNTUK SETIAP rintangan terdeteksi di lapangan
 - 7 JIKA rintangan tidak valid MAKA lanjutkan ke rintangan berikutnya
 - 8 HITUNG posisi rintangan berdasarkan posisi robot dan data rintangan
 - 9 HITUNG gaya tolak dari rintangan
 - 10 TAMBAHKAN gaya tolak ke total_gaya_tolak
- 11 AKHIR UNTUK
- 12 GABUNGGAN gaya_tarik dan gaya_tolak untuk mendapatkan gaya_keluaran
- 13 HITUNG kecepatan_sekarang berdasarkan gaya_keluaran
- 14 TENTUKAN perubahan_kecepatan_maks berdasarkan batas akselerasi/dekselerasi
- 15 HITUNG kecepatan_target dalam batas akselerasi/dekselerasi
- 16 SKALA gaya_keluaran untuk mencocokkan kecepatan_target
- 17 SESUAIKAN kesalahan_sudut berdasarkan sudut_target
- 18 GUNAKAN kontrol PID untuk menghitung keluaran sudut
- 19 PERBARUI struktur_pengembalian dengan nilai yang dihitung

SELESAI

Tabel 2.
Algoritma Permainan Menyerang Tunggal

Algoritma Permainan Menyerang Tunggal

Masukan: Posisi Robot, Posisi Bola, Posisi Gawang Lawan, Posisi Robot Lawan
 Keluaran: Pergerakan Robot
 MULAI

- 1 JIKA memegang bola
- 2 SET target = Titik gawang lawan
- 3 SELAIN ITU
- 4 SET target = Posisi Bola
- 5 AKHIR JIKA
- 6 HITUNG attractive_force dengan variabel target
- 7 HITUNG repulsive_force dengan variabel posisi_robot_lawan
- 8 HITUNG total_force = attractive_force + repulsive_force
- 9 DAPATKAN force_x dan force_y dari total_force

SELESAI

Tabel 3.
Algoritma Permainan Menyerang Ganda Pembantu

Algoritma Permainan Menyerang Ganda Pembantu

Masukan: Posisi Robot, Posisi Bola, Posisi Gawang Lawan, Posisi Robot Lawan
 Keluaran: Pergerakan Robot
 MULAI

- 1 SET target robot $\leftarrow \frac{1}{2}$ (posisi bola + posisi gawang tim)
- 2 SET halangan robot \leftarrow teman + lawan + gawang tim
- 3 HITUNG attractive dengan variabel target
- 4 HITUNG repulsive dengan variabel halangan robot
- 5 JUMLAHKAN attractive dan repulsive untuk mendapatkan total_force
- 6 DAPATKAN force_x dan force_y dari total_force
- 7 SET Tujuan Robot berdasarkan force_x dan target_y

SELESAI

Persamaan potential field ini nantinya dibutuhkan untuk diturunkan menjadi potential force, yang nantinya akan menjadi vektor arah serta kecepatan dari robot (Gambar 1). Vektor gaya ini sama dengan kecepatan dari robot yang mana ini merupakan analogi dalam mekanika klasik [4].

F. Persamaan Parabola

Persamaan parabola merupakan persamaan yang membuat sebuah grafik berbentuk seperti lengkungan yang terbuka.

G. Persamaan Paraboloid Eliptik

Paraboloid eliptik berbentuk seperti cangkir oval dan memiliki titik maksimum atau minimum ketika sumbu nya vertikal. Dalam sistem koordinat yang sesuai dengan tiga sumbu x, y, dan z, ini dapat diwakili oleh persamaan pertama [5].

$$\frac{z}{c} = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \quad (2)$$

Tabel 4.
Algoritma Permainan Bertahan Tunggal

Algoritma Permainan Bertahan Tunggal	
Masukan: Posisi Robot, Posisi Bola, Posisi Gawang Lawan, Posisi Robot Lawan	
Keluaran: Pergerakan Robot	
MULAI	
1	SET target robot ← bola
2	SET halangan robot ← lawan yang tidak memegang bola
3	HITUNG attractive dengan variabel target
4	HITUNG repulsive dengan variabel halangan robot
5	JUMLAHKAN attractive dan repulsive untuk mendapatkan total_force
6	DAPATKAN force_x dan force_y dari total_force
7	SET Tujuan Robot berdasarkan force_x dan target_y
SELESAI	

Tabel 5.
Algoritma Permainan Bertahan Ganda Pembantu

Algoritma Permainan Bertahan Ganda Pembantu	
Masukan: Posisi Robot, Posisi Bola, Posisi Gawang Lawan, Posisi Robot Lawan	
Keluaran: Pergerakan Robot	
MULAI	
1	SET target robot ← ½ (posisi bola + posisi gawang tim)
2	SET halangan robot ← teman + lawan + gawang tim
3	HITUNG attractive dengan variabel target
4	HITUNG repulsive dengan variabel halangan robot
5	JUMLAHKAN attractive dan repulsive untuk mendapatkan total_force
6	DAPATKAN force_x dan force_y dari total_force
7	SET Tujuan Robot berdasarkan force_x dan target_y
SELESAI	

Tabel 6.
Hasil Data Potential Field

Blending Width	Tipe Potential	Posisi (x, y)	Nilai Potential (1200 x 1200)
1	Linear	(591, 499)	226.130916
1	Blending	(592, 499)	223.664386
1	Paraboloid	(591, 500)	176.624759
10	Linear	(591, 499)	187.702432
10	Blending	(592, 499)	187.057197
10	Paraboloid	(591, 500)	179.554648
50	Linear	(591, 499)	183.207510
50	Blending	(592, 499)	182.937263
50	Paraboloid	(591, 500)	179.815364
100	Linear	(591, 499)	182.643697
100	Blending	(592, 499)	182.420774
100	Paraboloid	(591, 500)	179.847953

Tabel 7.
Variasi Halangan Pertama

Variasi	X	Y
1	200	750
2	200	750
3	200	900
4	200	450

Tabel 8.
Hasil Halangan Kedua

Variasi	X	Y
1	200	750
2	200	750
3	200	900
4	200	450

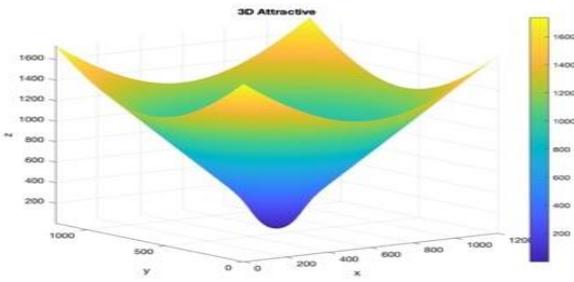
H. Persamaan Linear

Persamaan linear adalah persamaan matematika yang menggambarkan hubungan linier atau segaris dari dua buah titik atau variable.

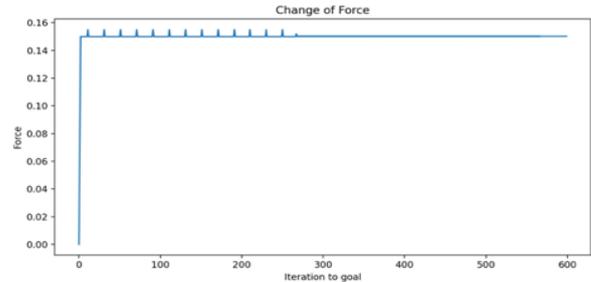
Di mana m adalah konstanta gradien dan b adalah perpotongan dengan sumbu y atau *y-intercept* [6].

I. Persamaan Blending Function

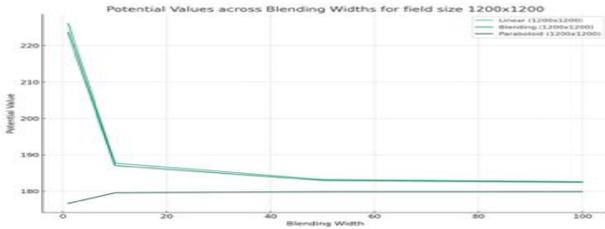
Fungsi *blending* pada penelitian ini merupakan fungsi sigmoid dimana fungsi ini berguna untuk mengubah nilai ke *range* -1 hingga 1. Pada penelitian ini fungsi ini akan berguna untuk membuat sebuah transisi yang lebih halus pada *attractive field* nantinya (Gambar 2) [7].



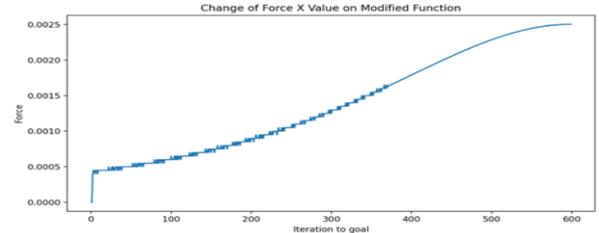
Gambar 3. Visualisasi attractive field.



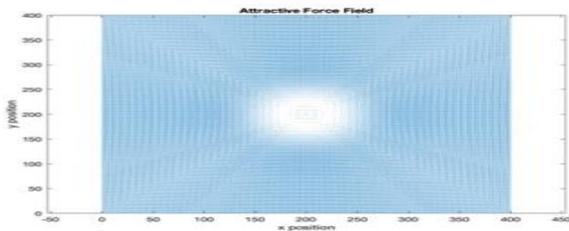
Gambar 7. Perubahan kecepatan persamaan asli.



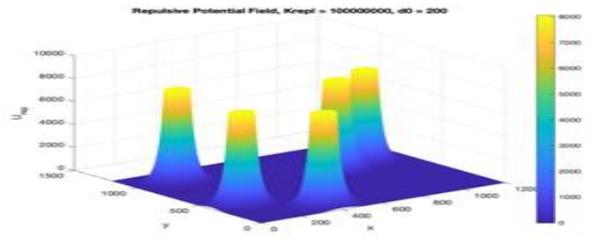
Gambar 4. Perbandingan masing masing blending width terhadap keluaran potential field.



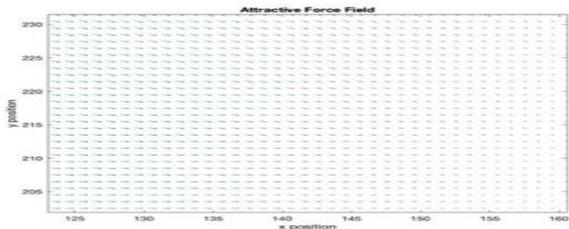
Gambar 8. Perubahan kecepatan persamaan modifikasi.



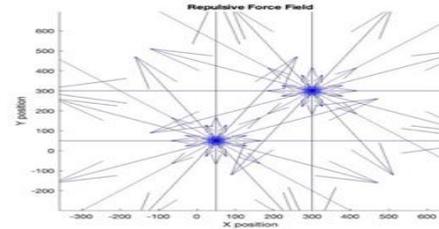
Gambar 5. Hasil attractive force.



Gambar 9. Hasil repulsive force.



Gambar 6. Hasil attractive force (diperbesar).



Gambar 10. Hasil repulsive force (diperbesar).

$$\sigma(d) = \frac{1}{2} \left[\tanh\left(\frac{d - rad_{thr}}{\omega}\right) + 1 \right] \quad (3)$$

III. METODOLOGI

A. Attractive Field

Dalam hal ini, persamaan yang digunakan tidak seperti persamaan pada umumnya, dimana persamaan yang digunakan adalah

$$U_{attractive} = [1 - \sigma(d)].K_{att}.c \left(\frac{(q_1 - q_{d1})^2}{a^2} + \frac{(q_2 - q_{d2})^2}{b^2} \right) + \sigma(d).[m.(d - rad_{thr}).U_{trans}] \quad (4)$$

Keterangan:

- $\sigma(d)$: Blending Function
- K_{att} : Konstanta pengali
- c : Konstanta kelengkungan
- q_1 : Posisi sumbu x
- q_2 : Posisi sumbu y
- m : Kecepatan robot (gradien)
- rad_{thr} : Konstanta batas radius

U_{trans} : Konstanta translasi

B. Attractive Force

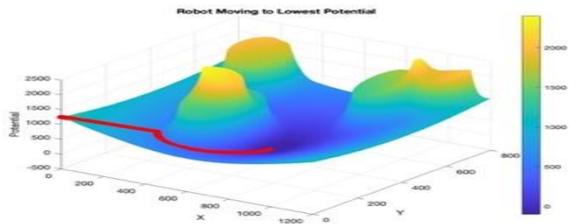
Persamaan attractive field perlu kita turunkan sehingga mendapatkan gradien untuk menjadi kecepatan robot.

$$\frac{U_{attractive}}{dq_1} = \frac{d}{dq_1} \left([1 - \sigma(d)] . K_{att} . c . \frac{(q_1 - q_{d1})^2}{a^2} \right) + \frac{d\sigma}{dq_1} . m . (d - rad_{thr}) . U_{trans} + \sigma(d) . m . \frac{dd}{dq_1} . U_{trans} \quad (5)$$

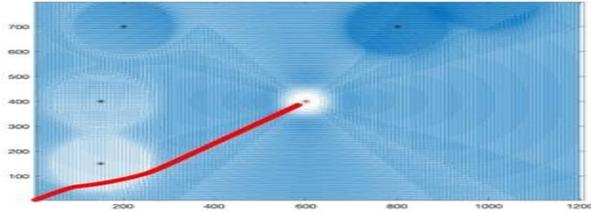
$$\frac{U_{attractive}}{dq_2} = \frac{d}{dq_2} \left([1 - \sigma(d)] . K_{att} . c . \frac{(q_2 - q_{d2})^2}{b^2} \right) + \frac{d\sigma}{dq_2} . m . (d - rad_{thr}) . U_{trans} + \sigma(d) . m . \frac{dd}{dq_2} . U_{trans} \quad (6)$$

C. Repulsive Field dan Repulsive Force

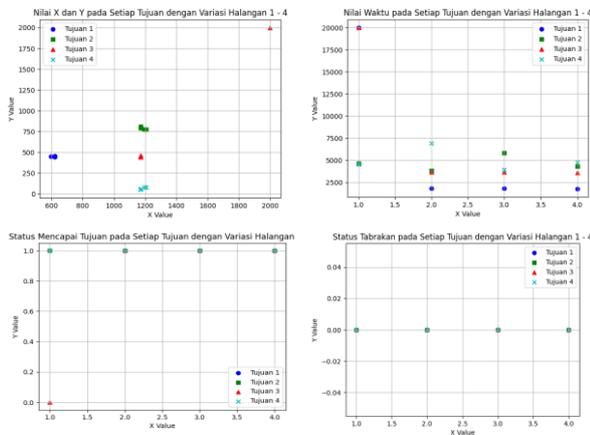
Persamaan repulsive field atau gaya tolakan ini dapat dilihat pada persamaan berikut:



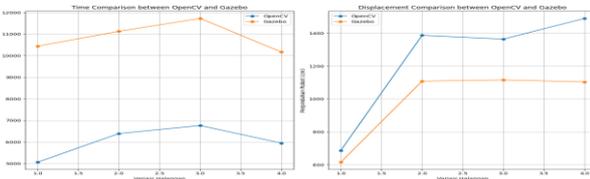
Gambar 11. Visualisasi hasil potential field.



Gambar 12. Visualisasi hasil potential force.



Gambar 13. Hasil obstacle avoidance dengan potential field.



Gambar 14. Hasil perbandingan menyerang tunggal.

$$U_{repulsive}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} k_{repulsive} \left(\frac{1}{d(q)} - \frac{1}{d_0} \right)^2, & d(q) \leq d_0 \\ 0, & d(q) > d_0 \end{cases} \quad (7)$$

Serta bila kita menurunkannya, maka persamaan akan menjadi seperti ini

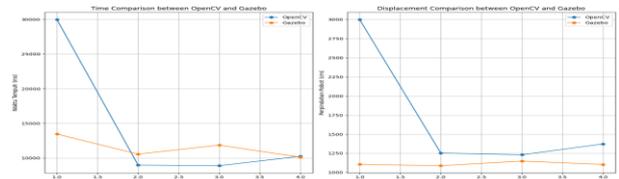
$$F_{repulsive}(q) = \begin{cases} k_{repulsive} x \left(\frac{1}{d(q)} - \frac{1}{d_0} \right) x \left(\frac{1}{d(q)} \right)^2 x \left(\frac{q - q_c}{\|q - q_c\|} \right), & d(q) \leq d_0 \\ 0, & d(q) > d_0 \end{cases} \quad (8)$$

D. Potential Field Sebagai Motion Robot dan Obstacle Avoidance

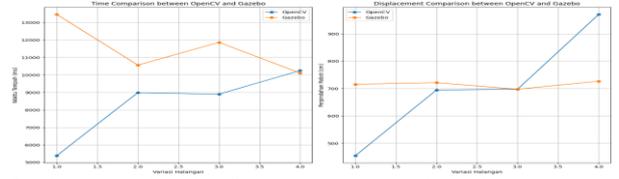
Potential field sebagai motion robot dan obstacle avoidance ditunjukkan melalui Tabel 1.

E. Permainan Menyerang Tunggal

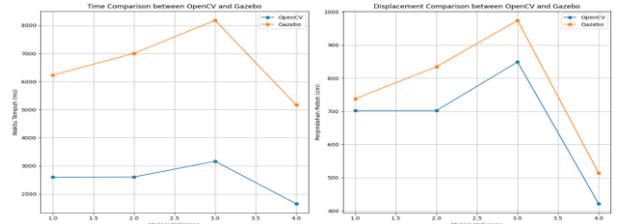
Pada permainan menyerang tunggal ini, kita hanya perlu mengubah-ubah definisi tujuan serta definisi halangannya. Pada menyerang tunggal definisi masing-masing komponen dapat dilihat pada algoritma pada Tabel 2.



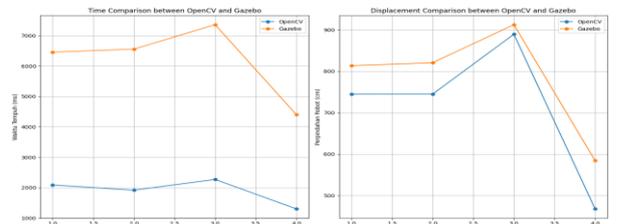
Gambar 15. Hasil perbandingan menyerang ganda penyerang.



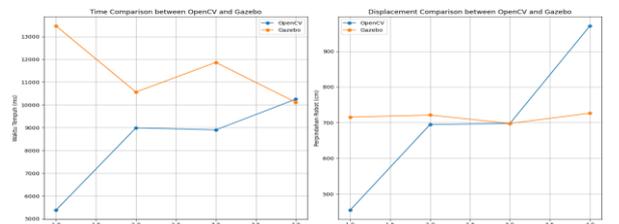
Gambar 16. Hasil perbandingan menyerang ganda pembantu.



Gambar 17. Hasil perbandingan bertahan tunggal.



Gambar 18. Hasil permainan bertahan ganda penyerang.



Gambar 19. Hasil permainan bertahan ganda pembantu.

F. Permainan Menyerang Ganda

Pada menyerang ganda, aka nada dua peran yaitu penyerang dan pembantu, untuk penyerang, algoritma yang digunakan masih sama, akan tetapi untuk pembantu, algoritma yang digunakan yaitu pada Tabel 3.

G. Permainan Bertahan Tunggal

Dalam permainan bertahan, ini berarti robot sedang tidak memegang bola dan juga bola sedang berada pada lawan. Permainan bertahan tunggal dapat dilihat pada algoritma Tabel 4.

H. Permainan Bertahan Ganda

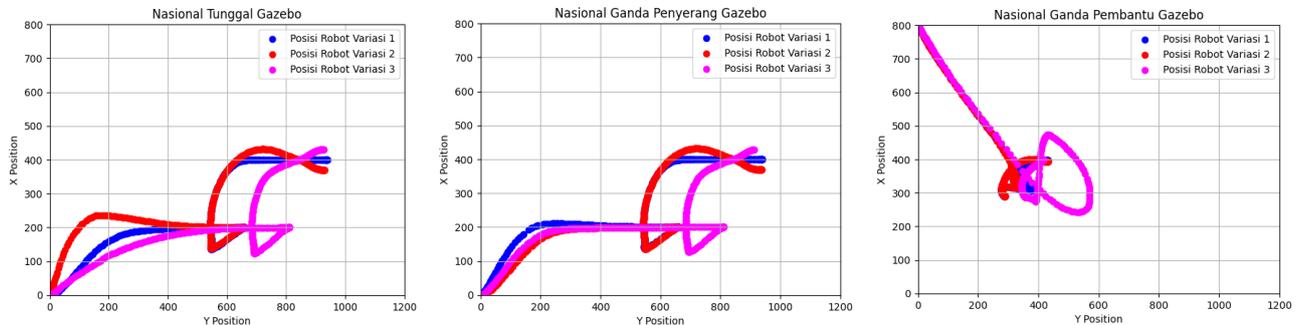
Pada permainan bertahan ganda ini, algoritma penyerang sama seperti pada permainan bertahan tunggal. Untuk permainan dari robot pembantu dapat dilihat pada algoritma Tabel 5.

I. Implementasi Permainan Nasional

Permainan nasional ini nantinya adalah permainan yang



Gambar 20. Variasi halangan pada gazebo.



Gambar 21. Hasil visualisasi perpindahan robot.

menggabungkan permainan bertahan dan menyerang, baik bertahan tunggal dan ganda, maupun menyerang tunggal dan ganda.

Nantinya pada implementasi ini akan dicoba kondisi robot pada saat kondisi tunggal dan ganda. Setelahnya akan dilihat, apakah robot dapat mendapatkan bola serta menggiring ke daerah gawang lawan tanpa menabrak halangan atau tidak

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Attractive Field dan Attractive Force

Dari persamaan yang telah penulis jabarkan diatas, kita dapat mendapatkan hasil *field* seperti pada Gambar 3. Visualisasi dari Gambar 3 dapat terlihat pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Tabel 6.

B. Hasil Repulsive Field dan Repulsive Force

Persamaan *attractive field* asli dengan persamaan yang telah dimodifikasi berbeda, sehingga perlu untuk menguji persamaan modifikasi tersebut. Parameter perbandingan yang akan digunakan adalah perubahan kecepatan dari kedua metode, perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Kita dapat mengetahui bahwa persamaan modifikasi dapat menghasilkan percepatan yang lebih halus dibandingkan persamaan asli, hal ini dikarenakan persamaan modifikasi mempertimbangkan kecepatan maksimal serta translasi maksimal yang diizinkan, sehingga kecepatan tidak akan berubah secara tiba tiba.

C. Hasil Repulsive Field dan Repulsive Force

Hasil visualisasi dari persamaan sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10. Persamaan *repulsive* ini akan memberikan vektor dengan arah yang berlawanan dengan *attractive* dimana artinya, robot akan menjauhi benda yang memiliki gaya tolakan tersebut.

D. Hasil Potential Field dan Potential Force

Hasil potential field dan potential force ini dapat dikatakan berhasil apabila robot dapat menghindari halangan dan mencapai tujuan (Gambar 11 dan Gambar 12).

E. Hasil Obstacle Avoidance

Hasil dari obstacle avoidance ini dapat dilihat dengan beberapa parameter, seperti apakah hasil tujuan masing masing robot (Gambar 13).

F. Hasil Permainan Menyerang

Pada permainan menyerang dan bertahan nantinya akan dilakukan beberapa variasi sebagai pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Masing masing variasi akan diuji pada simulasi dengan OpenCV dan juga Gazebo, dengan gazebo sebagai sistim yang sangatlah dekat dengan sistim asli. Hasil perbandingan keduanya dapat divisualisasikan pada Gambar 14, Gambar 15, dan Gambar 16.

G. Hasil Permainan Bertahan

Hasil dari permainan dapat dilihat pada Gambar 17, Gambar 18, dan Gambar 19.

H. Implementasi pada Permainan Nasional

Dari hasil visualisasi Gambar 20 dan Gambar 21, dapat dilihat bahwa robot selalu mencapai tujuan, tidak menabrak robot lain, serta dapat menggiring bola menuju tujuan.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Berdasarkan hasil percobaan permainan menyerang, didapatkan bahwa robot dapat mencapai tujuan dan menghindari halangan dengan waktu tempuh pada rentang 5068.2 hingga 13466.90. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode potential field dapat digunakan pada permainan menyerang robot sepak bola beroda nasional. (2) Berdasarkan hasil percobaan permainan bertahan, didapatkan bahwa robot dapat mencapai tujuan dan menghindari halangan dengan waktu tempuh pada rentang 5166.11 hingga 7359.78. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode potential field dapat digunakan pada permainan bertahan robot sepak bola beroda nasional. (3) Berdasarkan hasil percobaan permainan nasional, didapatkan bahwa robot dapat mencapai tujuan, menghindari halangan tanpa menabrak dan dapat menggiring bola, sehingga dapat

disimpulkan bahwa metode potential field dapat digunakan pada permainan nasional robot sepak bola beroda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Yavuz Mumcu, "Examining mathematics department students' views on the use of mathematics in daily life.," *Int. Online J. Educ. Teach.*, vol. 5, no. 1, pp. 61–80, 2018, [Online]. Available: <https://iojet.org/index.php/IOJET>
- [2] T. Huang, K. Fan, W. Sun, W. Li, and H. Guo, "Potential-field-RRT: A path-planning algorithm for UAVs based on potential-field-oriented greedy strategy to extend random tree," *Drones*, vol. 7, no. 5, p. 331, 2023, doi: 10.3390/drones7050331.
- [3] J. Borenstein, Y. Koren, and others, "The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 7, no. 3, pp. 278–288, 1991, doi: 10.1109/70.88137.
- [4] R. Omar, E. N. Sabudin, C. K. M. CK, and others, "Potential field methods and their inherent approaches for path planning," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 18, pp. 10801–10805, 2016, [Online]. Available: <http://eprints.uthm.edu.my/id/eprint/4496>
- [5] G. B. Thomas, R. L. Finney, M. D. Weir, and F. R. Giordano, *Thomas' Calculus*, 11th ed. Boston: Pearson Addison Wesley, 2008. ISSN: 0321185587.
- [6] D. Serhan and F. Almeqdadi, "Students' perceptions of using mymathlab and webassign in mathematics classroom.," *Int. J. Technol. Educ. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 12–17, 2020, [Online]. Available: <http://www.ijtes.net>
- [7] S. Ngah, R. A. Bakar, A. Embong, S. Razali, and others, "Two-steps implementation of sigmoid function for artificial neural network in field programmable gate array," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 11, pp. 4882–4888, 2016.