

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/380185354>

Potential Field Path Planning Pada Permainan Robot Sepak Bola Beroda

Thesis · January 2024

DOI: 10.13140/RG.2.2.29120.96007/1

CITATIONS

0

READS

249

3 authors:



Danendra Clevero Ananda

Sepuluh Nopember Institute of Technology

6 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Rudy Dikairono

Sepuluh Nopember Institute of Technology

44 PUBLICATIONS 91 CITATIONS

SEE PROFILE



Djoko Purwanto

Sepuluh Nopember Institute of Technology

73 PUBLICATIONS 709 CITATIONS

SEE PROFILE

Potential Field Path Planning Pada Permainan Robot Sepak Bola Beroda

Danendra Clevero Ananda, Dr. Rudy Dikairono, S.T., M.T., M.Sc., Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng.
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi
Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: 5022201123@student.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 Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang melakukan riset pada bidang ini. Robot ini bermain sepak bola menggunakan penggerak utama berupa motor beroda. Untuk menunjang pertandingan tersebut, robot harus memiliki kemampuan seorang pemain sepak bola, salah satunya adalah menghindari halangan yang menghalangi gerak robot serta pergerakan yang dinamis. 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 ERMAINAN 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*. Algoritma-algoritma perencanaan jalur umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut. Metode perencanaan berbasis grafik termasuk A*, D*, dan algoritma optimisasinya[6].

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 Intelligence System merupakan salah satu tim robot sepak bola beroda yang telah melakukan penelitian sejak tahun 2017 hingga sekarang [4]. Robot IRIS ini dilengkapi dengan ubuntu 20.04 dan ROS Noetic sebagai framework pemrograman robotnya [3].

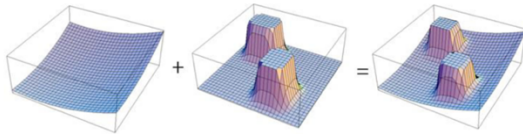
D. Omni Directional Camera

Omni directional camera merupakan kamera yang memiliki *field of view* 360°. Kamera seperti ini dapat diraih dengan memproyeksikan kamera kea rah atas yang lalu diberikan lensa *fish-eye* sehingga tampilan kamera akan mengarah ke bawah dengan sudut 360°[9].

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 [2].

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



Gambar 1 Potential Field

Persamaan potential field ini nantinya dibutuhkan untuk diturunkan menjadi potential force, yang nantinya akan menjadi vektor arah serta kecepatan dari robot. Vektor gaya ini sama dengan kecepatan dari robot yang mana ini merupakan analogi dalam mekanika klasik [5].

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 sumbunya vertikal. Dalam sistem koordinat yang sesuai dengan tiga sumbu x, y, dan z, ini dapat diwakili oleh persamaan pertama [12].

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

H. Persamaan Linear

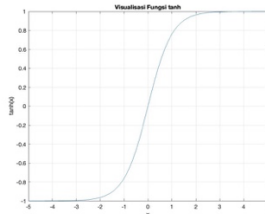
Persamaan linear adalah persamaan matematika yang menggambarkan hubungan linier atau segaris dari dua buah titik atau variable.

Di mana m adalah konstanta gradien dan b adalah perpotongan dengan sumbu y atau *y-intercept* [7]

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 [8].

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



Gambar 2 Visualisasi Blending Function

III. METODOLOGI

A. Attractive Field

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

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

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.

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

$$\begin{aligned} &+ \sigma(d) \cdot m \cdot \frac{dd}{dq_1} \cdot U_{trans} \\ \frac{U_{attractive}}{dq_2} &= \frac{d}{dq_2} \left([1 - \sigma(d)] \cdot K_{att} \cdot c \cdot \frac{(q_2 - q_{d2})^2}{b^2} \right) \\ &+ \frac{d\sigma}{dq_2} \cdot m \cdot (d - rad_{thr}) \cdot U_{trans} \\ &+ \sigma(d) \cdot m \cdot \frac{dd}{dq_2} \cdot U_{trans} \end{aligned} \quad (6)$$

C. Repulsive Field dan Repulsive Force

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

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

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

Algoritma 1 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 GABUNGKAN 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

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 berikut

Algoritma 2 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

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 adalah sebagai berikut

Algoritma 3 Algoritma Permainan Menyerang 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

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 berikut ini

Algoritma 4 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

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 berikut

Algoritma 5 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

I. Implementasi Permainan Nasional

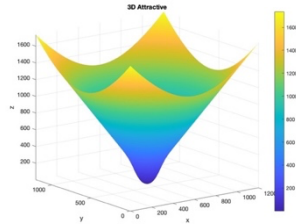
Permainan nasional ini nantinya adalah permainan yang menggabungkan permainan bertahan dan menyerang, baik

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 berikut

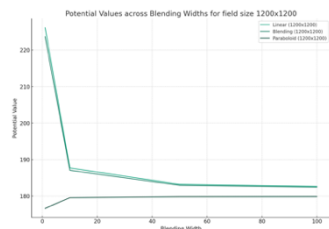


Gambar 3 Visualisasi Attractive Field

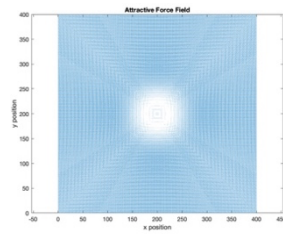
Visualisasi dari gambar tersebut dapat terlihat pada tabel berikut

Tabel 1 Tabel Hasil Data Potential Field

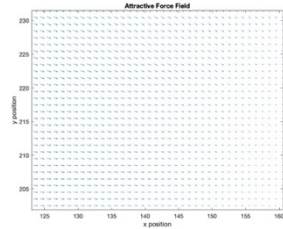
Blending Width	Tipe Potential	Posisi (x, y)	Nilai Potential (1200 x 1200)
1	Linear	(591, 499)	226.130916
1	Blending	(592, 499)	223.664386
1	Paraboloid	(591, 500)	176.624759
10	Linear	(591, 499)	187.702432
10	Blending	(592, 499)	187.057197
10	Paraboloid	(591, 500)	179.554648
50	Linear	(591, 499)	183.207510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



Gambar 4 Perbandingan Masing Masing Blending Width terhadap Keluaran Potential Field
Berikut adalah hasil attractive force



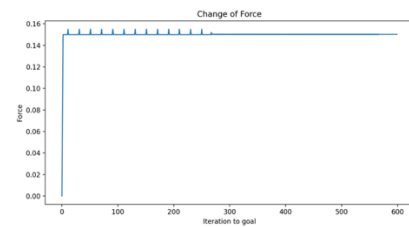
Gambar 5 Hasil Attractive Force



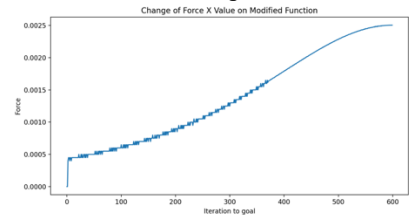
Gambar 6 Hasil Attractive Force (diperbesar)

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 hingga 8



Gambar 7 Perubahan Kecepatan Persamaan Asli

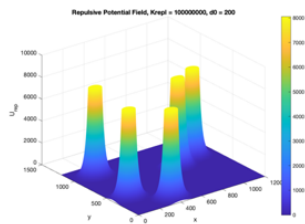


Gambar 8 Perubahan Kecepatan Persamaan Modifikasi

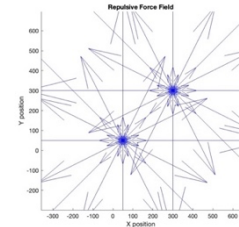
Dari gambar, kita dapat mengetahui bahwa persamaan modifikasi dapat menghasilkan percepatan yang lebih halus dibandingkan persamaan asli, hal ini dikarenakan persamaan modifikasi mempertimbangkan kecepatan maksimal serta translasi maksimal yang diizinkan, sehingga kecepatan tidak akan berubah secara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

C. Hasil Repulsive Field dan Repulsive Force

Hasil visualisasi dari persamaan sebelumnya dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 9 Hasil Repulsive Force

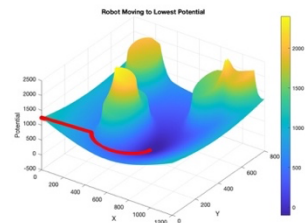


Gambar 10 Hasil Repulsive Force (diperbesar)

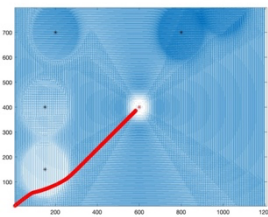
Persamaan *repulsive* ini akan memberikan vektor dengan arah yang berlawanan dengan *attractive* dimana artinya, robot akan menjauhi benda yang memiliki gaya tolakan tersebut.

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.



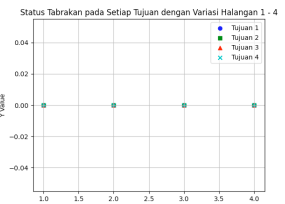
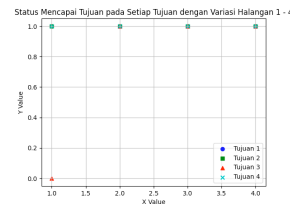
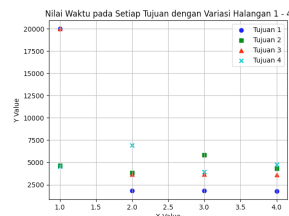
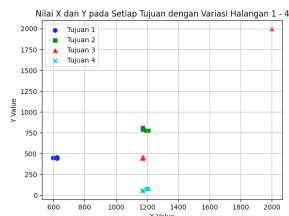
Gambar 11 Visualisasi Hasil Potential Field



Gambar 12 Visualisasi Hasil Potential Force

E. Hasil Obstacle Avoidance

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



Gambar 13 Hasil Obstacle Avoidance dengan Potential Field

F. Hasil Permainan Menyerang

Pada permainan menyerang dan bertahan nantinya akan dilakukan beberapa variasi sebagai pada tabel 2

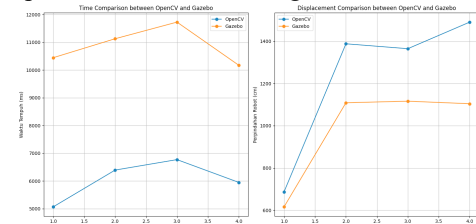
Tabel 2 Variasi Halangan Pertama

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

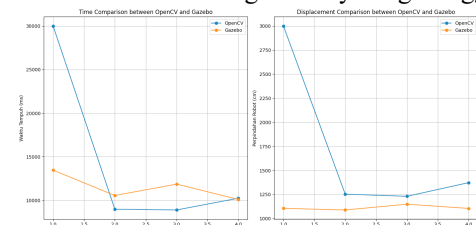
Tabel 3 Hasil Halangan Kedua

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

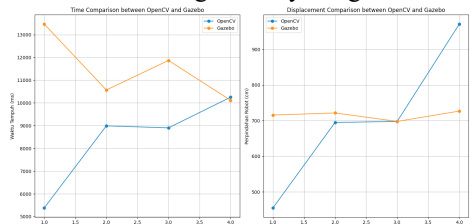
Masing masing variasi akan diuji pada simulasi dengan OpenCV dan juga Gazebo, dengan gazebo sebagai sistim yang sangatlah dekat dengan sistim asli. Hasil perbandingan keduanya dapat divisualisasikan sebagai berikut



Gambar 14 Hasil Perbandingan Menyerang Tunggal



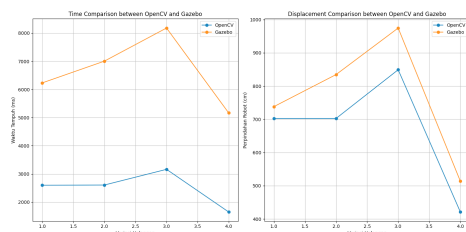
Gambar 15 Hasil Perbandingan Menyerang Ganda Penyerang



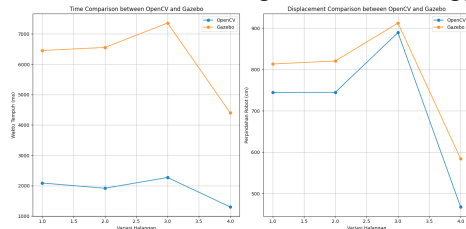
Gambar 16 Hasil Perbandingan Menyerang Ganda Pembantu

G. Hasil Permainan Bertahan

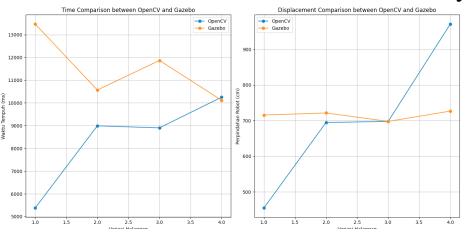
Hasil dari permainan dapat dilihat pada gambar 15 hingga gambar 17



Gambar 17 Hasil Perbandingan Bertahan Tunggai



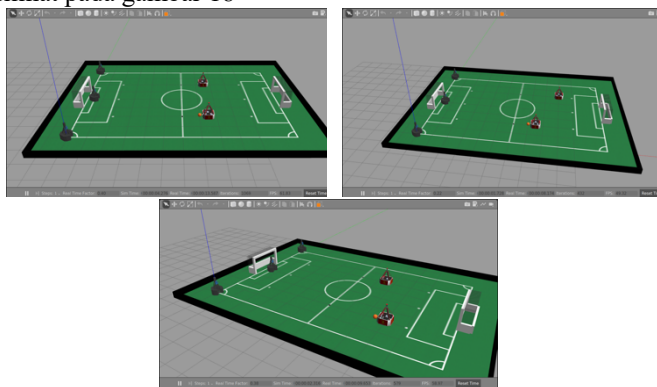
Gambar 18 Hasil Permainan Bertahan Ganda Penyerang



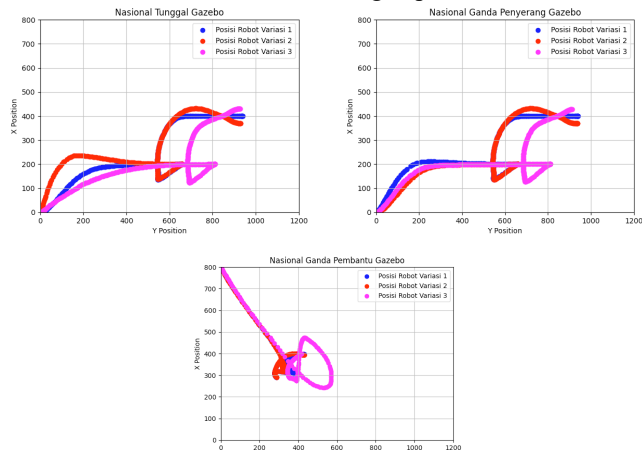
Gambar 19 Hasil Permainan Bertahan Ganda Pembantu

H. Implementasi Pada Permainan Nasional

Variasi yang digunakan pada permainan nasional dapat dilihat pada gambar 18



Gambar 20 Variasi Halangan pada Gazebo



Gambar 21 Hasil Visualisasi Perpindahan Robot
Dari hasil visualisasi, 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] Blitzler, R. (2010). *Algebra and trigonometry* (4e ed.). Prentice Hall.
- [2] Borenstein, J., & Koren, Y. (1991). The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7(3), 278–288. <https://doi.org/10.1109/70.88137>
- [3] Dikairono, R., Baiturrochman, F., Dentawyanjana, B. S., Haq, M. F. I., Hidayat, T., Amin, A. H. A., Ramadhani, A. F., Fauzi, A. J., Maulana, A. W., Ananda, D. C., Fahrizal, H. Z., Wibowo, H. A., Gavriel, I., Merdiansyah, I., Yafi, M. A., Arianti, N. S., Putra, R. P., & Nurrahman, S. (2022). *Team Description Paper: IRIS Team 2022*.
- [4] Dikairono, R., Maulana, A. W., Ananda, D. C., & Zain, H. (2023). *Team Description Paper: IRIS Team 2023*.
- [5] elia nadira, S., Omar, R., & Hailma, C. K. N. (2016). *Potential field methods and their inherent approaches for path planning*. 11, 10801–10805.
- [6] Huang, T., Fan, K., Sun, W., Li, W., & Guo, H. (2023). Potential-Field-RRT: A Path-Planning Algorithm for UAVs Based on Potential-Field-Oriented Greedy Strategy to Extend Random Tree. *Drones*, 7(5), 331. <https://doi.org/10.3390/drones7050331>
- [7] Larson, R., & Falvo, D. C. (2011). *College algebra alternate: With enhanced WebAssign* (Eighth edition). Brooks/Cole, Cengage Learning.
- [8] Ngah, S., Bakar, R. A., Embong, A., & Razali, S. (2016). *TWO-STEPS IMPLEMENTATION OF SIGMOID FUNCTION FOR ARTIFICIAL NEURAL NETWORK IN FIELD PROGRAMMABLE GATE*. 11(7).
- [9] Scaramuzza, D. (2020). *Omnidirectional camera*. https://rpg.ifi.uzh.ch/docs/omnidirectional_camera.pdf
- [10] Sullivan, M. (2016). *Algebra & trigonometry* (Tenth edition). Pearson.
- [11] Swokowski, E. W., & Cole, J. A. (2012). *Algebra and trigonometry with analytic geometry* (13th ed). Brooks/Cole Cengage Learning.
- [12] Weir, M. D., Hass, J., Giordano, F. R., & Finney, R. L. (2005). *Thomas' calculus* (11th ed.). Pearson Addison Wesley.