

KENDALI POSISI ROBOT PENGUMPAN DAN PENERIMA BOLA DENGAN METODE GYRODOMETRY DAN TRIGONOMETRI PADA ROBOT SEPAK BOLA BERODA

Muhammad Imanullah Ashady¹, Rini Indarti², Agus Khumaidi³

¹²³Program Studi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

E-mail : m.ashady@student.ppns.ac.id

Abstrak

Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI-Beroda) merupakan salah satu kategori Kontes Robot Indonesia (KRI) yang diadakan setiap tahun oleh Pusat Prestasi Nasional (Puspresnas). Pelaksanaan KRSBI-Beroda 2020 menunjukkan bahwa banyak robot yang mengalami kegagalan dalam mengumpam. Hal tersebut dikarenakan robot belum mampu mendeteksi posisi robot kawan sehingga tidak terdapat koordinasi antar robot. Pada penelitian ini, metode *gyrodometry* berfungsi untuk memetakan posisi robot di lapangan berdasarkan pembacaan sensor *gyroscope* dan *rotary encoder*. *Gyrodometry* juga berfungsi untuk meningkatkan akurasi sudut arah hadap robot. Hasil pengolahan data metode *gyrodometry* pada robot pengumpam dan robot penerima akan dikirimkan ke *base station* melalui komunikasi *multicast*. Kemudian, *base station* akan mengirimkan data posisi robot satu ke robot lainnya. Perhitungan trigonometri diterapkan untuk mengendalikan posisi arah hadap robot berdasarkan data posisi robot pengumpam dan robot penerima. Robot akan saling berhadapan dan umpan dapat dilakukan. Dari hasil pengujian penerapan metode *gyrodometry* untuk memetakan posisi robot di lapangan didapatkan didapatkan RMS *error* ($x = 25,84$ mm, $y = 26,06$ mm, $\theta = 0,7^\circ$, $s = 2,02$ s) pada robot satu dan ($x = 16,42$ mm, $y = 16$ mm, $\theta = 0,6^\circ$, $s = 1,71$ s) pada robot dua. Pada pengujian perhitungan trigonometri untuk kendali posisi tiap robot diperoleh 90,38% umpan berhasil dengan rentang jarak 1013 mm sampai 3430 mm. Jarak optimal mengumpam yang dilakukan oleh robot adalah 1013 mm sampai 2715 mm.

Keywords : Gyrodometry, Trigonometri, Pemetaan, Kendali Posisi, Mengumpam

1. PENDAHULUAN

Kontes Robot Indonesia (KRI) merupakan kegiatan tahunan yang dilaksanakan oleh Pusat Prestasi Nasional. Salah satu kategori perlombaan yaitu Kontes Robot Sepak Bola Beroda Indonesia (KRSBI) dengan tujuan untuk meningkatkan keilmuan dan kreatifitas mahasiswa di bidang robotika. Penyelenggaran KRSBI Beroda tahun 2020 mewajibkan semua robot untuk dikendalikan secara *remote* dan *autonomous* [1]. Hal tersebut menunjukkan bahwa konsep yang ditekankan pada KRSBI – Beroda 2020 yaitu kemampuan mengumpam robot. Dalam pelaksanaannya hanya terdapat beberapa tim yang berhasil melakukan umpan dengan sempurna tanpa adanya bola yang meleset.

Kegagalan robot dalam mengumpam bola disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya robot tidak mengetahui posisi atau letak robot kawan dan robot itu sendiri sehingga mengumpam hanya dilakukan dengan mengandalkan *counter* pergerakan robot. Hal

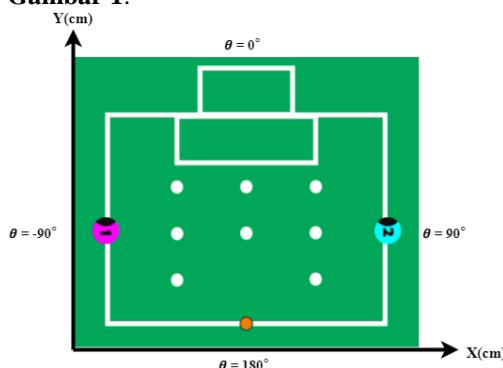
tersebut menyebabkan robot tidak berkoordinasi dan posisi tidak saling berhadapan sehingga terjadi kegagalan umpan. Berdasarkan penelitian yang oleh Khumaidi menyebutkan bahwa penggunaan metode *gyrodometry* yang berfungsi untuk memetakan posisi robot terhadap gawang sehingga dapat menentukan sudut tendangan bola [2]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan *gyrodometry* bekerja dengan efektif dan rata - rata *error* yang dihasilkan sebesar $x = 2.34$ cm, $y = 3.47$ cm, dan $\theta = 1^\circ$. Keberhasilan penerapan perhitungan trigonometri dalam deteksi sudut robot terhadap gawang lawan serta terciptanya gol sebesar 91,7% atau termasuk dalam kategori baik. Menurut penelitian Rokhim, menyebutkan bahwa metode *gyrodometry* dapat digunakan untuk memetakan posisi robot sehingga robot bergerak sesuai dengan *plan* [3].

Penelitian ini menerapkan metode *gyrodometry* untuk menentukan posisi robot

dalam strategi mengumpam. Robot pengumpam ataupun robot penerima melakukan deteksi posisi serta penentuan sudut antara keduanya menggunakan perhitungan trigonometri. Hal tersebut menyebabkan kedua robot pada posisi saling berhadapan untuk mengumpam ataupun menerima umpan. Posisi antar kedua robot dapat diketahui apabila terdapat sistem komunikasi yang baik yaitu melalui *base station* dan menggunakan protokol komunikasi IP *multicast*. Penggunaan metode *gyrodometry* dan trigonometri juga dapat menentukan jarak optimal antar kedua robot dalam strategi mengumpam. Penelitian ini menggunakan sensor *rotary encoder* dan *gyroscope* untuk mendeteksi posisi robot. Berdasarkan penelitian Rachmawan menyebutkan bahwa penggunaan sensor *rotary encoder* dan *gyroscope* dapat mendeteksi posisi robot dengan tingkat *error* yang relatif kecil [4].

2. METODOLOGI

Penelitian ini terdiri dari beberapa langkah meliputi analisis kebutuhan sistem, desain sistem mekanik, perancangan *hardware* dan *software*, perancangan sistem gerak robot, serta pengujian sistem pada robot untuk memetakan posisi robot pengumpam dan penerima. Alur pemrograman untuk pemetaan posisi robot diawali dengan inisialisasi titik x dan y sama dengan nol dan $\theta = 90^\circ$. Y merupakan posisi robot pada pojok kiri bawah dan x sama dengan lebar lapangan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Sumbu x dan y pada Lapangan

Setelah proses inisialisasi, sensor *rotary encoder* dan *gyroscope* dapat dinyalakan untuk membaca sensor. Pembacaan sensor dilakukan dengan menggerakkan robot maju searah dengan sumbu y hingga ujung sumbu y sehingga dapat ditemukan panjang sumbu y. Hal tersebut juga berlaku pada pembacaan sensor untuk sumbu x. Pada saat bersamaan,

data yang dibaca oleh sensor akan dikonversi untuk memperkirakan posisi relatif robot. Estimasi tersebut menggunakan perhitungan jumlah pulsa yang dihasilkan oleh sensor *rotary encoder* tiap satuan ukuran dan dikonversikan menjadi satuan milimeter dengan persamaan rumus sebagai berikut.

$$K_{roda} = 2\pi r \quad (1)$$

$$Pulse_{per_mm} = \frac{resolusi_{enc}}{K_{roda}} \quad (2)$$

Dimana :

K_{roda} = keliling roda omni
(mm)

$Pulse_{per_mm}$ = konversi jumlah pulsa
ke millimeter (mm)

r = jari-jari roda (mm)

Sedangkan, besar nilai sudut orientasi dapat diketahui dengan persamaan berikut.

$$\theta = \theta_0 + \omega \cdot t \quad (3)$$

Dengan :

θ = sudut yang terbentuk ($^\circ$)

θ_0 = sudut awal yang terbentuk ($^\circ$)

ω = kecepatan sudut ($^\circ/\text{s}$)

t = waktu tempuh (s)

Setelah dikonversi maka data akan dihitung hingga menemukan nilai posisi x, y, dan θ yang diawali dengan menghitung perubahan nilai V_x , V_y , dan V_θ pada *rotary encoder*. Sensor *rotary encoder* pada robot sebanyak 3 buah yang disusun membentuk sebuah segitiga dengan besar sudut 120° . Maka akan berlaku persamaan 4 hingga 6.

$$V_x = -S_3 \cos(\theta_1) + S_2 \cos(\theta_2) \quad (4)$$

$$V_y = S_1 \cos(\theta_1) - S_2 \cos(\theta_2) \quad (5)$$

$$V_\theta = \frac{S_1}{L} + \frac{S_2}{L} + \frac{S_3}{L} \quad (6)$$

Dengan :

$S_{i(1,2,3)}$ = jarak tempuh dari masing-masing roda (mm)

L = jari-jari robot (mm)

Setelah diperoleh kecepatan pada tiap sumbu maka perlu untuk diubah ke koordinat dan arah hadap aktual pada lapangan dengan menggunakan matriks transformasi sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} Ypos \\ Xpos \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(V_\theta) & -\sin(V_\theta) & 0 \\ \sin(V_\theta) & \cos(V_\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vy \\ Vx \\ V\theta \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dimana :

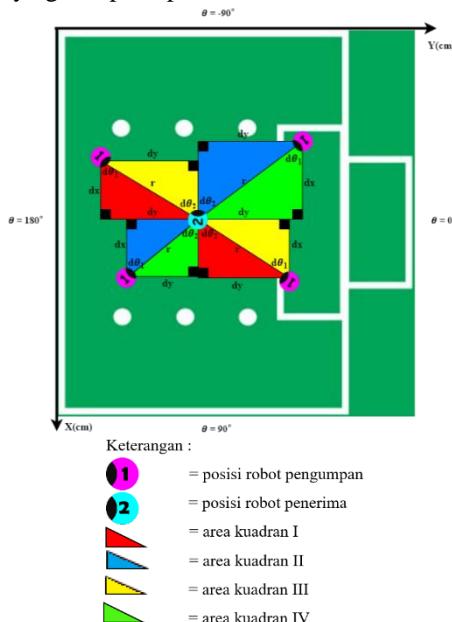
$Ypos$ = posisi x robot dalam koordinat kartesian (mm)

$Xpos$ = posisi y robot dalam koordinat kartesian (mm)

θ = arah hadap robot ($^{\circ}$)

Algoritma Penentuan Posisi Robot Pengumpulan dan Robot Penerima Bola

Penentuan posisi robot pengumpulan dan robot penerima dibedakan menjadi empat kuadran yang terdiri atas beberapa blok seperti pada **Gambar 2**. Sistem penentuan posisi robot pengumpulan dan penerima diawali dengan penerimaan titik koordinat dan arah hadap robot melalui *base station* yang akan diolah dengan metode *gyrodometry*. Data tersebut akan dikirimkan ke robot sehingga robot dapat mengetahui posisi masing - masing. Setelah penetapan data koordinat maka selanjutnya menghitung selisih antara titik x robot pengumpulan (x_1) dan robot penerima (x_2), serta menghitung pula selisih antara titik y robot pengumpulan (y_1) dan robot penerima (y_2). Penentuan nilai dx dan dy terdapat pada persamaan 8 dan 9 yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai r melalui teorema phytagoras pada persamaan 10.



Gambar 2. Ilustrasi Pencarian Posisi Arah Hadap Robot

$$dx = |x_1 - x_2| \quad (8)$$

$$dy = |y_1 - y_2| \quad (9)$$

$$r = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (10)$$

Dengan :

dx = panjang sisi samping segitiga siku-siku (mm)

dy = panjang sisi depan segitiga siku-siku (mm)

r = panjang sisi miring segitiga siku-siku (mm)

Setelah perhitungan semua sisi segitiga siku - siku maka dilakukan perhitungan sudut

$$\sin\theta_1 = \frac{dy}{r} \quad (17)$$

$$d\theta_1 = 90 + \arcsin(\sin\theta_1) \quad (18)$$

$$d\theta_2 = -90 + \arcsin(\sin\theta_1) \quad (19)$$

arah hadap antar robot sehingga robot dapat saling berhadapan menggunakan perhitungan trigonometri. Perhitungan trigonometri berdasarkan kuadran posisi robot pengumpulan dan penerima. Berikut beberapa ketentuan serta persamaan dalam perhitungan $d\theta_1$ dan $d\theta_2$.

- a. $x_1 < x_2$ dan $y_1 < y_2$ maka perhitungan berdasarkan pembagian diagram kartesius pada kuadran I untuk $d\theta_1$ dan kuadran III untuk $d\theta_2$

$$\sin\theta_1 = \frac{dy}{r} \quad (11)$$

$$d\theta_1 = 90 - \arcsin(\sin\theta_1) \quad (12)$$

$$d\theta_2 = -90 - \arcsin(\sin\theta_1) \quad (13)$$

- b. $x_1 > x_2$ dan $y_1 < y_2$ maka perhitungan berdasarkan pembagian diagram kartesius pada kuadran II untuk $d\theta_1$ dan kuadran IV untuk $d\theta_2$

$$\sin\theta_1 = \frac{dy}{r} \quad (14)$$

$$d\theta_1 = -90 + \arcsin(\sin\theta_1) \quad (15)$$

$$d\theta_2 = 90 + \arcsin(\sin\theta_1) \quad (16)$$

- c. $x_1 > x_2$ dan $y_1 > y_2$ maka perhitungan berdasarkan pembagian diagram kartesius pada kuadran III untuk $d\theta_1$ dan kuadran I untuk $d\theta_2$

- d. $x_1 < x_2$ dan $y_1 > y_2$ maka perhitungan berdasarkan pembagian diagram kartesius pada kuadran IV untuk $d\theta_1$ dan kuadran II untuk $d\theta_2$

Tiap robot telah mengolah data posisi dari *base station* selanjutnya robot pengumpulan akan berputar menuju sudut $d\theta_1$ dan robot penerima akan menuju sudut $d\theta_2$. Dengan begitu robot pengumpulan dan robot penerima sudah saling berhadapan dan proses mengumpulan dapat dilakukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian odometry terbagi menjadi beberapa tahap yang pertama yaitu pengujian posisi robot yang dilakukan dengan menggerakkan robot dari posisi $x = 0$ dan $y = 0$ menuju ke posisi yang sudah ditentukan. Hasil pengujian tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data Hasil Pengujian Posisi Robot

Hasil Pengujian Posisi Robot	RMS			
	Error (mm)		r (mm)	s (s)
	x	y		
Robot Satu pada Sumbu X	32,49	23,58	1638,16	2,55
Robot Dua pada Sumbu X	22,07	8,33	1627,44	1,89
Robot Satu pada Sumbu Y	22,07	8,33	1635,91	1,84
Robot Dua pada Sumbu Y	18,57	17,32	1617,30	1,61
Robot Satu pada Sumbu X dan Sumbu Y	24,33	26,93	1120,52	1,66
Robot Dua pada Sumbu X dan Sumbu Y	8,62	22,36	1117,06	1,63

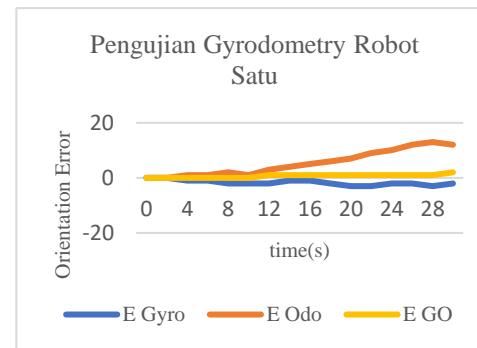
Dari hasil pengujian sebanyak 26 kali pada masing-masing robot menunjukkan bahwa RMS *error* robot satu pada sumbu x sebesar 25,84 mm dan 26,06 mm pada sumbu y. Sedangkan, RMS *error* robot dua pada sumbu x sebesar 16,42 mm dan 16,00 mm pada sumbu y. Waktu rata-rata robot satu untuk bergerak atau waktu transient adalah 2,02 s dan 1,71 s untuk robot dua. *Error* tersebut disebabkan oleh *slip* roda pada *rotary encoder* atau permukaan lapangan yang tidak rata.

Selanjutnya yaitu pengujian *gyrodometry* dengan menggerakkan robot menyamping searah sumbu x dengan sudut 90° selama 30 detik. Pada rentang waktu tersebut akan dicatat hasil pembacaan sensor *gyroscope*, *rotary encoder*, dan hasil proses *complementary filter*. Hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan pembuatan grafik yang terdapat pada Gambar 3a dan 3b yang sesuai dengan teori dari [5]. Hasil pada grafik tersebut mendekati nol yang berarti bahwa tingkat akurasi yang dihasilkan baik. Sebagai upaya untuk meningkatkan efektivitas pengumpulan maka robot perlu memiliki sistem komunikasi yang baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem komunikasi multicast antar robot bekerja dengan baik.

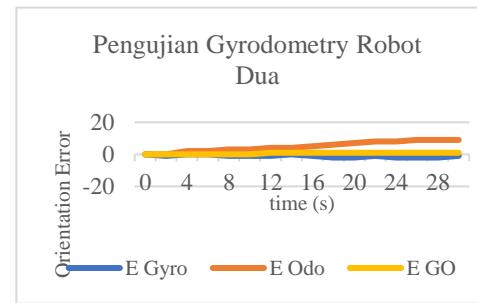
$$\sin\theta_1 = \frac{dy}{r} \quad (20)$$

$$d\theta_1 = -90 - \arcsin(\sin\theta_1) \quad (21)$$

$$d\theta_2 = 90 - \arcsin(\sin\theta_1) \quad (22)$$



a) Babak Satu



b) Babak Dua

Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Gyrodometry

Pengujian kendali posisi robot dengan trigonometri bertujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan umpan bola antara robot pengumpulan dan robot penerima. Selain itu, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak

optimal saat terjadi umpan. *Set point* awal untuk robot satu adalah $x = 200$, $y = 2200$, dan $\theta = 90$ sedangkan *set point* awal untuk robot dua adalah $x = 5800$, $y = 2200$, dan $\theta = -90$. Pelaksanaan pengujian menggunakan empat kondisi robot yang terdapat pada **Gambar 4a** hingga 4d.



a) Pengujian pada Kondisi Pertama



b) Pengujian pada Kondisi Kedua



c) Pengujian pada Kondisi Ketiga



d) Pengujian pada Kondisi Keempat

Gambar 4. Pengujian Kendali Posisi Robot

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan umpan antar robot sebesar 90,83%. Robot satu mengumpan saat posisi x kurang dari setengah lapangan dan robot dua megumpan saat posisi x lebih dari setengah lapangan. Masing-masing robot mengumpan sebanyak 30 kali dengan persentase keberhasilan 91,03 % untuk robot satu dan 89,74 % untuk robot dua dengan jarak antar robot 1013 mm sampai 3430 mm. Jadi robot dua lebih optimal dari pada robot satu dalam mengumpan. Penentuan jarak optimal melalui pengelompokan rentang jarak pada beberapa interval yang terdapat pada Tabel 3.2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak

optimal antar robot untuk mengumpan yaitu 1013 mm hingga 2715 mm.

Tabel 3.2 Frekuensi Keberhasilan Mengumpan

Jarak Robot (mm)	Jumlah Pengujian (n)	Jumlah Berhasil (n)	Persentase Keberhasilan (%)
1013-1050	12	12	100,0
1404-1435	12	12	100,0
1488-1548	12	12	100,0
1718-1890	12	12	100,0
1969-2035	12	12	100,0
1983-2022	12	12	100,0
2207-2251	12	12	100,0
2298-2327	12	12	100,0
2502-2644	12	11	91,7
2575-2644	12	11	91,7
2697-2715	12	11	91,7
3024-3069	12	7	58,3
3384-3430	12	5	41,7
Jumlah Keberhasilan (n)			141
Rata – Rata Persentase Keberhasilan (%)			90,38

4. KESIMPULAN

Penerapan metode *gyrodometry* pada robot untuk memetakan posisi robot bekerja dengan baik dengan RMS *error* $x = 25,84$ mm, $y = 26,06$ mm dan $\theta = 0,7^\circ$ pada robot satu dengan rata-rata waktu bergerak robot sebesar 2,02 s. Sedangkan pada robot dua dengan RMS *error* $x = 16,42$ mm, $y = 16$ mm dan $\theta = 0,6^\circ$ dengan rata-rata waktu bergerak robot sebesar 1,71 s. Berdasarkan perhitungan trigonometri pada robot dalam kendali posisi robot pengumpulan dan robot penerima mendapatkan persentase keberhasilan sebesar 90,38% dengan rentang jarak 1013 mm hingga 3430 mm. Selain itu, jarak optimal antara robot pengumpulan dan robot penerima agar dapat saling mengumpan adalah 1013 mm sampai dengan 2715 mm.

5. DAFTAR NOTASI

K_{roda}	= keliling roda omni (mm)
$Pulse_{per_mm}$	= konversi jumlah pulsa ke millimeter (mm)
r	= jari-jari roda (mm)
θ	= sudut yang terbentuk ($^{\circ}$)
θ_0	= sudut awal yang terbentuk ($^{\circ}$)
ω	= kecepatan sudut ($^{\circ}/s$)
t	= waktu tempuh (s)
$S_{i(1,2,3)}$	= jarak tempuh dari masing-masing roda (mm)
L	= jari-jari robot (mm)
Y_{pos}	= posisi x robot dalam koordinat kartesian (mm)
X_{pos}	= posisi y robot dalam koordinat kartesian (mm)
θ	= arah hadap robot ($^{\circ}$)
dx	= panjang sisi samping segitiga siku-siku (mm)
dy	= panjang sisi depan segitiga siku-siku (mm)
r	= panjang sisi miring segitiga siku-siku (mm)

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] RISTEKDIKTI, “Panduan Umum Kontes Robot Indonesia (KRI) Tahun 2019,” 2019.
- [2] A. Khumaidi *et al.*, “Pemetaan Posisi Robot Soccer Menggunakan Gyrodometry,” vol. 19, no. 3, 2021.
- [3] A. Rokhim, “IMPLEMENTASI GYRODOMETRY FOUR OMNI-DIRECTIONAL ROBOT PADA ROBOT HYBRID KONTES ROBOT ABU INDONESIA 2016,” Universitas Negeri Jember, 2017.
- [4] A. Rachmawan, “Penentuan Posisi Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Rotary Encoder dan Kamera,” Institut Teknologi Sepuluh November, 2017.
- [5] J. Borenstein and L. Feng, “Gyrodometry: a new method for combining data from gyros and odometry in mobile robots,” in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1996, vol. 1, no. April, pp. 423–428, doi: 10.1109/robot.1996.503813.