

Motion Planning Robot dengan Kontrol Kinematik

M Fahmi Khusnu Awaludin¹, Totok Winarno², Indrazno Siradjudin³

[Submission: 20-07-2021, Accepted: 30-07-2021]

Abstract— In an ABU ROBOCON 2020 competition, robots are required to be able to move quickly and with accurate movement accuracy. So that the robot is designed and controlled to have proper acceleration with robot algorithms. By providing navigation using a rotary encoder sensor, a compass sensor, the robot can maintain the direction towards the robot. In this research, this thesis presents the results of an experiment about a robot designed using 3 omni wheels which are controlled using a kinematic control that can move quickly because the robot is able to move to the desired position by forming a linear trajectory. From the test results, the average error results with an error of 3.7% from the set point within 8 meters which takes 8 s. Based on the results, the robot is able to increase the robot's ability to move quickly in the field.

Keywords: Kinematic control, compass sensor, rotary encoder sensor, Omni wheel 3 wheel robot.

Intisari— Dalam sebuah Pertandingan ABU ROBOCON 2020 ini robot diharuskan mampu bergerak dengan cepat serta dengan akurasi pergerakan yang akurat. Sehingga robot didesign dan dikontrol agar mempunyai akselerasi yang tepat dengan algoritma - algoritma robot. Dengan memberikan navigasi yang dengan menggunakan sensor rotary encoder, sensor kompas, robot dapat mempertahankan arah hadap robot. Dalam penelitian skripsi ini mempersembahkan sebuah hasil percobaan tentang robot yang dirancang dengan menggunakan 3 buah roda omni wheels yang dikontrol menggunakan sebuah kontrol kinematik yang mampu bergerak dengan cepat karena robot mampu bergerak ke posisi yang diinginkan dengan membentuk trajectory yang linier. Dari hasil pengujian dengan hasil error rata rata dengan error 3,7% dari set point berjarak 8 meter yang ditempuh dengan waktu 8 s. Berdasarkan hasil robot mampu meningkatkan kemampuan robot untuk bergerak cepat pada lapangan.

Kata Kunci : Kontrol Kinematik, Sensor kompas, Sensor rotary encoder, Robot 3 roda Omni wheel.

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi robotika berkembang sangat cepat. Pada hal ini, robot memang turut serta dalam kehidupan manusia dalam bentuk yang bermacam macam. Cepatnya perkembangan serta penelitian juga didukung oleh banyaknya tim yang meneliti robot dalam kompetisi tingkat regional, nasional, maupun internasional. Salah satu kontes robot yang paling bergengsi yaitu kompetisi terbesar tingkat Asia adalah

ABU ROBOCON [1]. Lomba tersebut merupakan lomba dengan peserta dari negara-negara anggota *Asia-Pacific Broadcasting Union (ABU) Robot Contest (ROBOCON)*.

Kategori robot yang diperlombakan adalah *mobile robot* [2]. Dimana robot ditargetkan untuk mencapai tujuan dengan melewati rintangan yang telah tersedia dengan kurun waktu tertentu dengan roda yang mampu bergerak kesegala arah [3] tanpa memakan banyak waktu serta banyak manuver yang dilakukan robot.

Pada penelitian robot yang akan dilakukan adalah merancang *mobile robot* otomatis [4] yang dapat bergerak ke *set point* atau posisi yang diinginkan dengan menggunakan roda yang terpasang dikerangka robot dan juga diharuskan bergerak kesegala arah tanpa memakan banyak waktu dan manuver pada robot [5]. Digunakanlah perhitungan yang kompleks dengan kontrol kinematik yang digunakan untuk mengontrol kecepatan semua roda.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang pernah dilakukan pada tahun 2019 tentang pemodelan matematis robot dengan 3 roda *omni wheel* serta algoritma lokalisasi dengan metode *particle filter* menganalisis dan membandingkan hasil simulasi dan eksperimen kinerja kinematik robot beroda. Hasil yang di dapatkan robot mampu berjalan dengan cepat dan melakukan manuver dengan baik [6]. Pada tanggal 14 juli 2019 terdapat penelitian yang memiliki konsep memperkirakan perubahan robot dengan metode analisa kinematik roda 2 yang mendapatkan hasil untuk bermanuver ketitik yang dituju dengan respon waktu rata-rata menuju 1 titik target yaitu 6 detik [7]. Penelitian juga dilakukan bulan Januari 2017 *mobile robot* dapat mengambil arah sebagai sistem navigasi menggunakan sensor kompas CMPS03. Yang bertujuan agar *mobile robot* dapat kembali ke posisi awal. Hasil yang di dapatkan *mobile robot* mampu kembali ke posisi awal dengan tingkat keberhasilan 70% pada setpoint 0 derajat, 90% pada setpoint 45 derajat [8]. Pada tahun 2015 metode kontrol *differential drive* dengan menggunakan empat roda yang diharapkan robot bisa berpindah posisi tanpa merubah arah hadap. dengan metode odometri dengan memadukan metode PID. Hasil pengujian parameter PID didapatkan nilai $K_p = 0,9$, $K_i = 8,04$, dan $K_d = 0,03$. Menggunakan parameter tersebut respon robot menjadi lebih baik dan mendekati

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195

¹Mahasiswa, Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang , Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang.
e-mail: fahmi.khusnu45@gmail.com

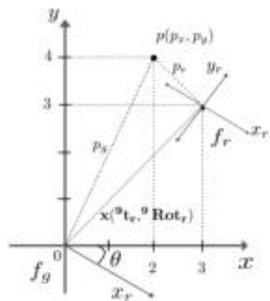
^{2,3}Dosen, Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang , Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang.
e-mail: totok.winarno@polinema.ac.id, indrazno@polinema.ac.id



setpoint[9]. Pada tahun 2015 membuat sistem kendali robot yang mampu bergerak menuju sasaran yang diinginkan pengguna dengan dua tingkat pengontrolan, yaitu kendali posisi dan kendali kecepatan. didapatkan bahwa kendali *close loop* kecepatan aktual robot dapat meningkatkan unjuk kerja robot mobil dalam mencapai sasaran. Robot berhenti pada jarak 3cm-5.8cm dari sasaran. Secara keseluruhan robot mobil mampu mencapai sasaran dengan lebih baik pada jarak relatif dekat. [10].

A. Transformasi geometri posisi pada bidang 2 dimensi.

Secara umum, gerak merupakan perpindahan posisi atau kedudukan suatu titik terhadap titik tertentu [11]. Benda atau objek yang bergerak pada bidang 2 dimensi memiliki gerak translasi dan rotasi. Translasi dilakukan dengan penambahan titik koordinat (koordinat x dan koordinat y), terjadinya rotasi karena objek berputar pada titik pusat (*frame*). Pada dasarnya dalam sebuah transformasi terdapat *frame* yang dijadikan acuan.



Gambar 1. Transformasi Geometri 2 Dimensi

Terlebih dahulu harus mengetahui variabel yang terdapat pada Gambar 1 yaitu posisi benda p terhadap f_r dinotasikan $p_r [x_p, y_p]$ dan posisi benda p terhadap f_g dinotasikan dengan $p_g [x_p, y_p]$. Sama halnya dengan f_g , f_r juga memiliki titik pusat sumbunya sendiri dan arah hadap yang berbeda berbeda dengan f_g sehingga, f_r memiliki nilai translasi terhadap f_g (${}^g t_r$) dan rotasi terhadap f_g (${}^g Rot_r$) dan menghasilkan nilai sudut θ yang dinotasikan ${}^g x_r ({}^g t_r, {}^g Rot_r)$ sehingga didapatkan persamaan :

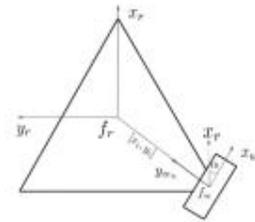
$$p_g = {}^g Rot_r \cdot p_r + {}^g t_r \tag{1}$$

Dikarenakan pada persamaan terdapat rotasi dan translasi maka dapat diubah ke persamaan matriks sehingga menjadi :

$$\begin{bmatrix} {}^g x_p \\ {}^g y_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^r x_p \\ {}^r y_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} {}^g x_r \\ {}^g y_r \end{bmatrix} \tag{2}$$

Dengan persamaan tersebut maka kita dapat menemukan titik koordinat titik p terhadap f_g dengan data dari f_r .

B. Dasar forward kinematic robot terhadap referensi tubuh robot.

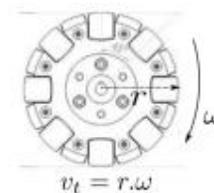


Gambar 2. Referensi Tubuh Robot

Posisi titik tengah robot terhadap robot itu sendiri (f_r) dapat dinotasikan dengan ${}^R x_R$. Sehingga kecepatan robot bisa dihitung dengan nilai kecepatan perpindahan robot terhadap *frame* (x, y) serta arah hadapnya (θ) dapat dibuat persamaan :

$${}^R x_R = \begin{bmatrix} {}^R x_R \\ {}^R y_R \\ {}^R \theta_R \end{bmatrix} \tag{3}$$

Robot masing-masing roda memiliki *framennya* masing-masing dan mampu bergerak terhadap sumbunya sehingga robot bisa kesegala arah [12].



Gambar 3. Roda Omni wheels



Dimana n adalah jumlah roda yang digunakan. Tidak menutup kemungkinan menggunakan roda lebih dari satu maka persamaannya menjadi :

$$x_R = r(\omega_1 \cos \alpha_1 + \omega_2 \cos \alpha_2 + \dots + \omega_n \cos \alpha_n) \quad (4)$$

$$y_R = r(\omega_1 \sin \alpha_1 + \omega_2 \sin \alpha_2 + \dots + \omega_n \sin \alpha_n) \quad (5)$$

$$\theta_R = r\left(\frac{1}{k}\omega_1 + \frac{1}{k}\omega_2 + \dots + \frac{1}{k}\omega_n\right) \quad (6)$$

Nilai k adalah posisi titik tengah roda terhadap titik tengah robot. Rumus dasar nilai k adalah :

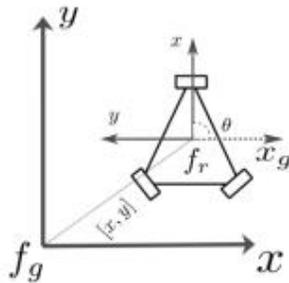
$$k = x_i(\sin \alpha_i + \cos \alpha_i \tan \beta_i) + y_i(\sin \alpha_i \tan \beta_i - \cos \alpha_i) \quad (7)$$

Rumus matrik kinematik terhadap robot itu sendiri yaitu :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_R \\ \dot{y}_R \\ \dot{\theta}_R \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos \alpha_1 & \cos \alpha_2 & \dots & \cos \alpha_n \\ \sin \alpha_1 & \sin \alpha_2 & \dots & \sin \alpha_n \\ \frac{1}{k} & \frac{1}{k} & \dots & \frac{1}{k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

Dimana J adalah Jacobian dan ω adalah perputaran kecepatan roda.

C. Persamaan kinematik robot terhadap referensi global frame



Gambar 4. Referensi Robot Terhadap Lingkungannya.

Robot dikendalikan berdasarkan letak posisi robot terhadap lingkungannya. Sehingga dapat dibuat persamaan :

$${}^g \dot{x}_R = \begin{bmatrix} \dot{x}_R \\ \dot{y}_R \\ \dot{\theta}_R \end{bmatrix}$$

Nilai kecepatan perubahan posisi terhadap *frame global* seperti pada Gambar 4 Sehingga persamaan dasarnya dapat dituliskan :

$${}^g \dot{x}_R(t) = {}^g Rot_R(t) \cdot \dot{x}_R(t) \quad (9)$$

$$r \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \cos \alpha_1 & \omega_2 \cos \alpha_2 & \dots & \omega_n \cos \alpha_n \\ \omega_1 \sin \alpha_1 & \omega_2 \sin \alpha_2 & \dots & \omega_n \sin \alpha_n \\ \omega_1 \frac{1}{k} & \omega_2 \frac{1}{k} & \dots & \omega_n \frac{1}{k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

Disederhanakan, sehingga akan mendapatkan rumus :

$${}^g \dot{x}_R(t) = J_R(t) \cdot \omega_R(t) \quad (11)$$

D. Dasar Kontrol Inverse Kinematic.

Berdasarkan pengontrolan kinematik terdapat beberapa permasalahan diantaranya set point yang digunakan adalah posisi sedangkan tidak tahu berapa kecepatan yang digunakan. Maka digunakan rumus *invers kinematic* yang diperoleh dari rumus *global frame* (${}^g \dot{x}_R$) untuk mencari kecepatan yang digunakan yang mana hasil kecepatan tersebut akan digunakan sebagai rumus *forward kinematic*. Rumus kecepatan *inverse kinematic*:

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & k_1 \\ \cos \theta_2 & \sin \theta_2 & k_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \cos \theta_n & \sin \theta_n & k_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_R \\ \dot{y}_R \\ \dot{\theta}_R \end{bmatrix} \quad (12)$$

Digunakanlah pendekatan error (PV-SP) yang dinotasikan dengan E yaitu dengan menghitung nilai error posisi antara posisi tujuan dengan posisi robot yang terhadap satuan waktu (t).

$$E(t) = {}^g x_R(t) - {}^g x_R^*(t) \quad (14)$$

$$\omega_R(t) = \lambda J_R^{-1}(t) ({}^g x_R^*(t) - {}^g x_R(t)) \quad (15)$$

E. Sistem kendali

Pada sebuah *mobile robot* ini dibutuhkan beberapa inputan seperti sensor kompas BNO055. Fungsi dari sensor tersebut sangat penting bagi *mobile robot* dikarenakan sensor



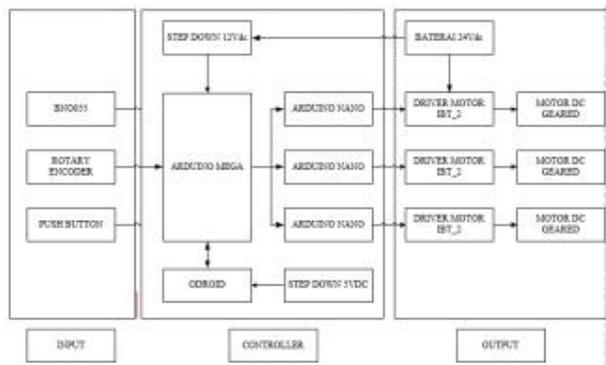
ini dapat mendeteksi percepatan dan arah hadap [13] serta rotary encoder tipe *incremental*.

Mikrokontroler menggunakan Arduino Mega (*Master*) dan Arduino nano (*Slave*) yang menggunakan sistem master slave (I2C)[14]. Dan juga menggunakan mini pc yaitu odroid (Komunikasi Serial) yang mendukung sumber *board linux* untuk pemrograman ROS (*Robot Operating Sistem*) untuk perhitungan kinematiknya sifat dari ROS ini sangatlah terbuka (*Open Source*) dengan bahasa pemrograman python.

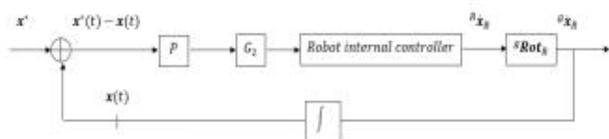
III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada dasarnya dilakukan dengan cara menggunakan *experimental* (teknik observasi) dengan melakukan pencatatan secara sistematis terhadap gejala tampak pada objek penelitian untuk mendapatkan informasi dengan tujuan dan manfaat tertentu, dengan variabel bebas: Koordinat posisi awal robot dan *set point* / posisi tujuan yang dituju. Variabel terikat : Kecepatan motor, referensi *frame global* dan analisa kinematik.

Analisa yang dilakukan yaitu dan Pengaruh kecepatan motor terhadap titik tujuan dan Pengoptimalan *Motion Planning* pada *mobile robot*. Diagram blok untuk mempetakan alur kerja sebuah sistem yang akan di rancang diantara terdapat Sistem input yang merupakan sensor yang digunakan, sistem Kontroler yang akan digunakan untuk pengolahan data dari sensor dan terdapat juga sistem outpt yang digunakan untuk menampilkan data yang telah diolah

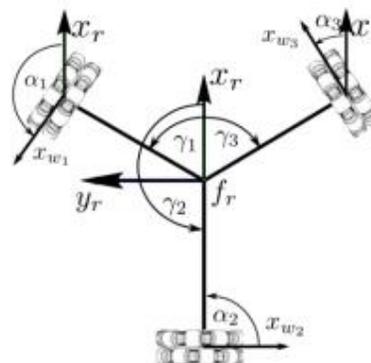


Gambar 5. Diagram Blok Diagram



Gambar 6. Diagram Blok Kontrol

A. Perancangan Kontrol pemodelan Kinematik beroda dengan 3 roda omniwheels.



Gambar 7. Pemodelan 3 Omniwheels

Diketahui $\gamma_1 = 60^\circ$, $\gamma_2 = -60^\circ$, $\gamma_3 = 180^\circ$,
 $\alpha_1 = 150^\circ$, $\alpha_2 = -90^\circ$, $\alpha_3 = 30^\circ$, $l = 0.3\text{ m}$,
 $r = 0.075\text{ m}$

Sehingga rumus general persamaan 2.33 bisa disubstitusikan dengan variabel yang ada pada robot tersebut. Maka persamaannya :

$${}^R\dot{x}_R(t) = {}^R J_R(t) \cdot \omega_R(t) \quad (16)$$

Perlu diketahui bahwa satuan sudut dalam bidang adalah radian [15].

$$= 0.075 \begin{bmatrix} \cos^{5/6}\pi & \cos^{-1/2}\pi & \cos^{1/6}\pi \\ \sin^{5/6}\pi & \sin^{-1/2}\pi & \sin^{1/6}\pi \\ 1/0.3 & 1/0.3 & 1/0.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1(t) \\ \omega_2(t) \\ \omega_3(t) \end{bmatrix} \quad (17)$$

B. Posisi robot terhadap global frame.

Robot bergerak dan memiliki posisi terhadap *global frame* dari lingkungannya atau arenanya.

$${}^g\dot{x}_R(t) = {}^g Rot_R(t) \cdot {}^R J_R(t) \cdot \omega_R(t) \quad (18)$$

C. Konfigurasi Data Encoder Untuk Odometry

Pada robot ini mempunyai sensor encoder yang digunakan untuk input odometry [16]. Odometry digunakan untuk memperkirakan posisi tujuan terhadap posisi awal.

$$kd = \frac{\text{kelilingroda}}{\text{resolusiencoder}} \quad (19)$$

Nilai *kd* akan digunakan untuk menghitung nilai odometry antara data encoder sekarang dengan data encoder sebelumnya terhadap waktu.



$$\Delta data = \frac{data - data_{old}}{\Delta t} kd \quad (20)$$

D. Estimasi posisi berdasarkan odometry.

Kinematik memiliki tujuan untuk memberikan data berupa posisi dan orientasi dari robot. Dengan nilai persamaan yang didapatkan dari ${}^g \dot{x}_R(t)$, maka dapat dilakukan proses update terhadap posisi robot. setelah didapatkan nilai kecepatan perubahan posisi robot terhadap peta atau lingkungannya persamaan (2.38), maka dapat diketahui posisi robot pada waktu ke t . ω merupakan kecepatan putar dari masing masing roda, dalam hal ini untuk melakukan update terhadap posisi, nilai ω bisa didapatkan melalui data dari sensor rotary encoder yang terbaca pada masing masing rotasi roda [17].

E. Perancangan kontrol kinematik terhadap posisi tujuan.

Robot bergerak memiliki kecepatan perubahan posisi terhadap global frame f_g , akan membuat jarak antara posisi robot dengan tujuan akan semakin kecil. Maka dibutuhkan sebuah kontrol yang mampu mengendalikan kecepatan ketiga roda penggerak tersebut.

$$\omega_R = J_R^{-1} \cdot {}^g \dot{x}_R \quad (21)$$

Untuk mendapatkan persamaan akhir dari kontrol *inverse kinematic* untuk mencari nilai kecepatan roda robot agar bisa sampai ke posisi tujuan.

$$\omega_R(t) = \lambda J_R^{-1}(t) ({}^g \dot{x}_R^*(t) - {}^g \dot{x}_R(t)) \quad (22)$$

F. Prinsip Kerja.

Prinsip kerja dari pergerakan robot menggunakan kinematik dengan mengetahui posisi awal robot dan mengetahui *set point* tujuan robot. Setelah mengetahui variabel yang dibutuhkan robot, dan *set point* yang berupa posisi maka dapat diinputkan ke kontroler, kontroler tersebut adalah Arduino mega, Arduino nano dan Odroid. Ketika pengolahan data pada kontroler sudah ditentukan, maka motor sebagai aktuator akan bergerak menuju *set point* yang diinputkan. Pergerakan roda robot akan dideteksi dengan menggunakan sensor rotary encoder [18] dan sensor kompas. Pergerakan motor akan dikontrol menggunakan kontrol kinematik sehingga robot akan lebih stabil dan meminimalisir manuver yang terjadi.

G. Perancangan Mekanik.



Gambar 8 Base Robot

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian dan Analisa Subscriber dan Publisher Arduino.

Dimana datanya berupa Integer, cara kerja program tersebut adalah ketika tombol satu ditekan maka akan memublish sebuah data satu dan apabila tombol dua ditekan maka akan memublish sebuah data dua. Hasil dari publis ketika diketik di terminator *rostopic echo /send_message* maka akan menampilkan data pada keseluruhan program yang dijalankan publisher dan subscriber juga digunakan untuk agar mempermudah dalam penulisan program dikarenakan program sangat banyak. Untuk meminimalisir tersebut yaitu dengan menggunakan subscriber dan publisher.

B. Pengujian dan Analisa Pengujian kalibrasi threshold sensor kompas.

Pengkalibrasian kompas BNO055 dilakukan agar mendapatkan nilai yang akurat untuk kompas. Perlu diketahui bahwa sensor ini mempunyai sudut absolut yaitu $0^\circ - 360^\circ$ secara tetap.

TABEL 1
DATA PENGUJIAN ORIENTASI KOMPAS DENGAN THRESHOLD
YANG BERBEDA BEDA



No.	Thershold	Data Kompas	Data perhitungan	Data pengujian	Error
1.	0°	0°	0°	0.02°	-0.02°
2.	0°	51°	51°	51.01°	-0.01°
3.	0°	304°	-56°	-55.69°	0.04°
4.	30°	120°	90°	89.89°	0.11°
5.	40°	190°	-170°	-169.7°	0.03°
6.	170°	170°	0°	0.01°	-0.01°
7.	170°	30°	160°	159.9°	-0.9°
8.	170°	300°	130°	129.9°	-0.1°
9.	270°	270°	0°	-0.03°	-0.03°
10.	315°	335°	20°	20.01°	0.01°

Berdasarkan hasil pengujian Tabel 1 yang telah dilakukan nilai data absoulut kompas bisa diganti dengan nilai yang dibutuhkan oleh robot, dimana data kompas dengan range $0^0 - 360^0$ bisa diubah menjadi 180^0 hingga -180^0

C. Pengujian dan Analisa Pengkalibrasian Odometry.

Pengujian data dilakukan dengan mengukur pergerakan masing masing pada masing sumbu robot terhadap sumbu theta . Ketika program dijalankan dan kemudian diuji untuk bergerak pada sumbu x, data sebenarnya. Berikut adalah data setelah pengkalibrasian :

TABEL 2
 DATA REAL DAN DATA ODOMETRY SESUDAH KALIBRASI.

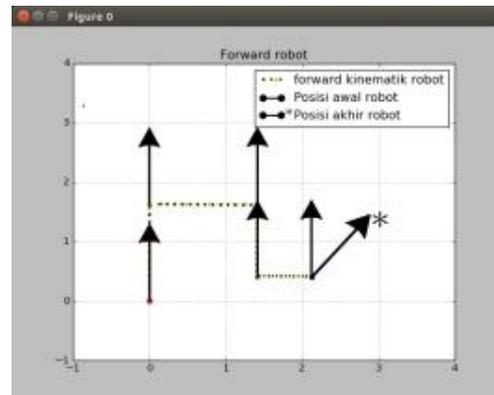
Pergerakan x(m) real.	Pergerakan y(m) real.	Pergerakan θ(m) real.	Odometry x(m)	Odometry y(m)	Odometry θ(m)
1.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.01
4.0	0.0	0.0	3.98	0.0	-0.01
6.0	0.0	0.0	6.01	0.0	0.0
0.0	-1	0.0	0.0	-1.3	0.01
0.0	-4	0.0	0.0	-4.2	0.0
0.0	-7	0.0	0.0	-7.1	0.0
0.0	0.0	1.68	0.0	0.0	1.7
0.0	0.0	-4.98	0.0	0.0	-5.01
0.0	0.0	0.21	0.0	0.0	0.22

Setelah dikalibrasi, Tabel 2 menunjukkan output dari data sensor odometry menjadi lebih akurat. sehingga odometry bisa dapat digunakan sebagai input data dari kinematik serta input data untuk algoritma.

D. Pengujian Simulasi Forward Kinematic.

Data sensor rotary encoder akan diolah untuk menghitung berapa kali data sensor rotary encoder pada satu kali putaran motor. Untuk mencari jarak tempuh robot [20].

$$\frac{dataenc}{pulseperrotation} = \frac{jarak(m)}{kelilingligkaran} \quad (23)$$

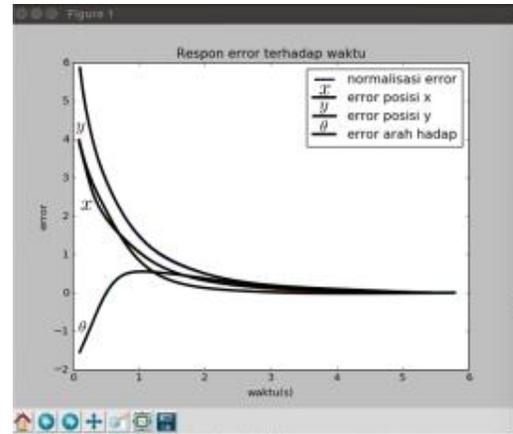


Gambar 9. Hasil Plot Dari Pergerakan Forward Kinematic.

Hasil dari simulasi Gambar 9 sangat akurat dikarenakan tidak memperhitungkan keadaan lapangan. Dikarenakan dilapangan terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan error pada jarak threshold nya.

E. Pengujian dan Analisa Real-Time Inverse Kinematic Simulasi.

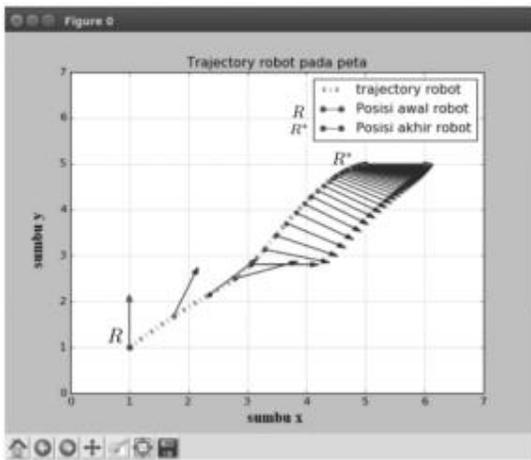
Dari simulasi tersebut robot digerakkan, posisi awal robot adalah diberikan koordinat posisi tujuan Kemudian diuji dengan percobaan yang sama dengan arah hadap:



Gambar 10. Respon Simulasi Tujuan $x = 5, y = 5, \theta = 90^0$

Gambar 10 menandakan bahwa error pada pergerakan robot menuju titik koordinat menurun drastis. Dan akan membuat robot lebih stabil. Hasil pergerakan sebagai berikut :





Gambar 11 Simulasi Pergerakan Dengan Tujuan

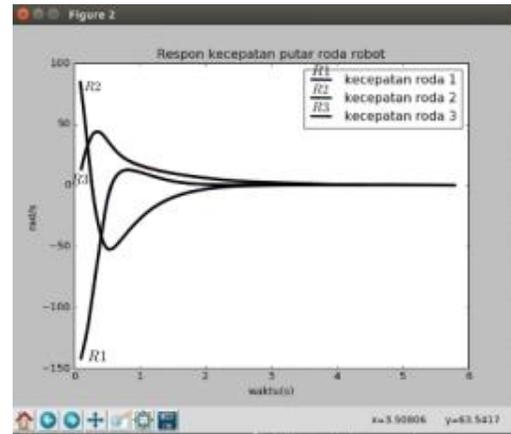
Pada Gambar 11 menunjukkan bahwa pergerakan robot dari posisi awal robot $(1, 1, 0^\circ)$ untuk menuju titik koordinat tujuan $(5, 5, 90^\circ)$ dan Gambar 10 adalah untuk mengetahui pergerakan eror yang terjadi. Warna hijau pada Gambar menandakan pergerakan dari robot.

```

fahmi@fahmi-K45SLF:~/ros_ws/src/skripsi/geany$ python lovers_velocity_kinematics.py
x_start : [[ 1.
  1.
  1.57079633]]
x_star : [[ 5.
  5.
  0.]]
x_now : [[ 4.99673986
  5.00007173
  0.00920388]]
time : 22,7
  
```

Gambar 12. Hasil Data Dari Terminator $x = 5, y = 5, \theta = 90^\circ$

Gambar 12 adalah terminator untuk mengetahui nilai data yang keluar pada percobaan Gambar 11. Waktu yang ditempuh adalah 5.8 detik. Waktu terdapat karena robot dijalankan dalam bentuk simulasinya. robot bergerak sampai dengan titik koordinat tujuan. x_{star} adalah posisi awal pada robot. x_{star} adalah titik tujuan yang di tujuan. Dan x_{now} adalah posisi robot sekarang.

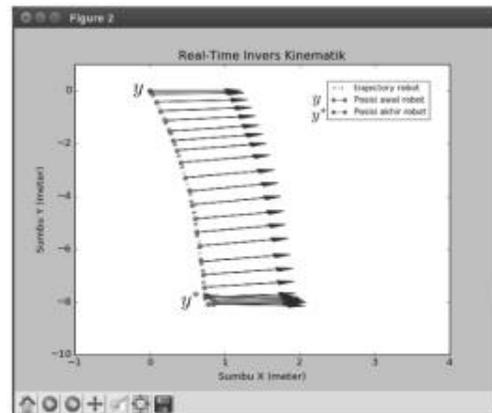


Gambar 13. Pergerakan 3 Roda Omniwheel Terhadap Tujuan

Dari Gambar 13 merekam pergerakan roda yang kemudian akan diplot kan untuk mengetahui pergerakan robot yang terjadi.

F. Pengujian respon robot secara real time.

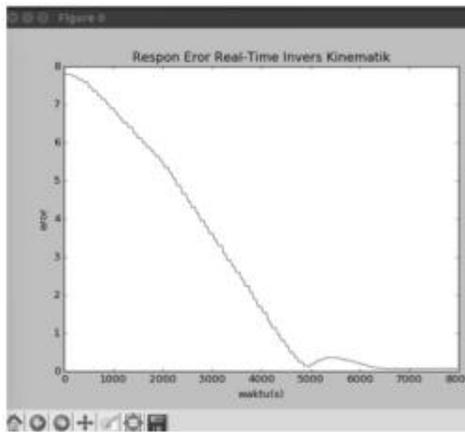
Respon kinematiknya target tujuan adalah posisi awal $(x, y, z) = (0, 0, 0^\circ)$ dan posisi tujuan yang dituju $(x, y, z) = (7.8, 0.8, 0^\circ)$ berikut hasil pengujian dari robot secara *real time* untuk target tersebut :



Gambar 14. Pergerakan Robot Dilapangan.

Hasil Gambar 14 pergerakan robot pada lapangan pengujian yang kemudian plot dalam sebuah Gambar, respon untuk percobaan secara *real time* membutuhkan waktu 8 detik untuk sampai ditujuan.





Gambar 15. Hasil Respon Error Pergerakan Real-Time.

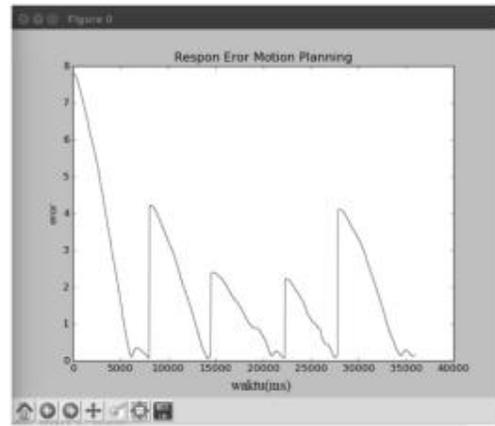
Gambar 15 respon erornya hasil pengujian pada alat dengan implementasi kontrol kinematik sesuai dengan pemodelan matematisnya, memiliki hasil yang bagus.

G. Pengujian Real-Time dan Analisa Motion Planning Robot



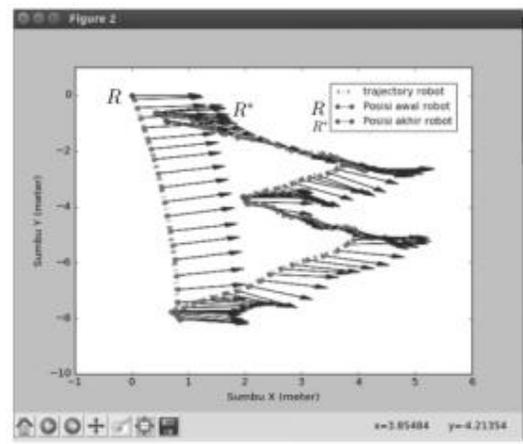
Gambar 16 Lapangan Yang Akan Diuji

Pada Gambar 16 adalah pengujian yang akan dilakukan untuk robot melewati rintangan tiang tiang tersebut dengan menginputkan tujuan setiap koordinatnya. Tujuan yang akan dititik koordinatkan terdapat lima posisi tujuan. Perpindahan posisi satu tujuan ketujuan yang lain dan nilai erornya.



Gambar 17 Error Motion Planning Robot Secara Real Time

Dari Gambar 16, selanjutnya akan diplot pergerakan *real-time motion planning robot* dengan data logging yang merekam pergerakan robot saat posisi pergerakan yang direncanakan dengan grafik perubahan erornya.



Gambar 18. Hasil Real Time Motion Planning Terhadap Lapangan

Hasil pengujian *real time* Gambar 18 adalah hasil dari pergerakan robot pada Gambar 16 robot menggunakan kontrol kinematik, menunjukkan bahwa robot mampu bergerak menuju posisi yang telah ditentukan dengan cepat dan benar, dengan menggunakan kontrol kinematik yang sudah didesain.

V.PENUTUP

A. Kesimpulan.

Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut :



1. Berdasarkan hasil simulasi dan hasil pengujian secara real time dari pergerakan robot menggunakan 3 roda *omni wheel* yang dikendalikan pergerakannya dengan kontrol kinematik, robot mampu berpindah ketitik tujuan yang diinginkan dengan membentuk sebuah jalur lintasan yang telah diset point kan.
2. Posisi robot dengan posisi tujuan kurang dari 25 cm dari titik tengah robot. dengan waktu penurunan eror yang sangat cepat.
3. *Threshold* yang dirancang adalah 25 cm.
4. Robot mampu mempertahankan posisinya saat dipindah ke posisi lain dengan paksa.
5. Kontrol yang digunakan adalah kontrol proportional.
6. Percobaan *motion planning* lebih dari 3 kali akan menyebabkan pergeseran pada sensor rotary. Sehingga kurang maksimal pergerakannya.
7. Distribusi data dengan menggunakan *platform Robot Operating System*.

B. Saran.

Ada beberapa saran yang dapat diaplikasikan dengan *mobile robot* :

1. Selain digunakan dengan roda *omni wheel*, kontrol kinematik juga bisa digunakan dengan roda mekanum.
2. Sebaiknya jika digunakan dalam perlombaan maka digunakan mini pc yang lebih bagus dan lebih cepat akan pemrosesan data lebih cepat, dan didukung dengan koneksi yang cepat.
3. Gunakan kompas yang lebih optimal yang khusus digunakan untuk robot.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dikti 2020. Panduan Kontes Robot Indonesia 2020. Jakarta: DIKTI
- [2] Al-Ammri, Salamdan Iman Ahmed. 2010. Control of Omni – Directional Mobile Robot Motion. Baghdad: Al-Khwarizmi Engineering Journal.
- [3] SARI, SARTIKA and Nurmaini, Siti and Rendyansyah, Rendyansyah (2019), PEMODELAN SISTEM KONTROL ROBOT OMNI-DIRECTIONAL WHEEL BERDASARKAN KINEMATIK MENGGUNAKAN SISTEM METODE LOGIKA FUZZY. Undergraduate thesis, Sriwijaya University.
- [4] Rachmawan, Adnan (2017). Penentuan Posisi Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Rotary Encoder dan Kamera. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [5] Muhamad Kamaludin, Wahyu Sapto Aji, Manuver Robot Manual Menggunakan PID pada Robot Manual KRAI 2018, [Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan](#)
- [6] Al Azhar, Gilang 2019. Implementasi Kontrol Kinematik dan Algoritma Lokalisasi Robot pada Robot Sepak bola. Malang : Politeknik Negeri Malang.
- [7] Zamronan Riemza 2018. Kontrol Posisi Sistem Pergerakan *Mobile robot* Berbasis Analisa Kinematik. Malang : Politeknik Negeri Malang
- [8] Ma'arif, M. Nur Hidayat (2017) TA : Sistem Navigasi pada Mobile robot Menggunakan Sensor Kompas. Undergraduate thesis, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya.
- [9] Lukman, Riza Putra. 2015. Pemodelan dan Analisa Kontrol Kinematik Omnidirectional pada Robot. Malang : Politeknik Negeri Malang.
- [10] Kurniawan, R. Indra L. 2015. Pengendalian Robot Mobil Pencari Target Dengan Kemampuan Menghindari Rintangan. Semarang : Universitas Ponorogo.
- [11] Dermawan, Ahmad Zubair S, Abdul Kadir M. “Uji Getaran Robot Manipulator yang bergerak Translasi dan Rotasi” Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) 2018 (pp. 194-199). Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang Makasar.
- [12] Nasir, Moh. (2020) TA : Penerapan Gyrodometry pada Three Omni wheels untuk Robot Sepak Bola Beroda. Undergraduate thesis, Universitas Dinamika.
- [13] S.D Ermansyah (2016) Implementasi System Voice Recognition dan Rotary Encoder pada *Mobile robot* Sebagai Navigasi dan Perhitungan Posisi Robot. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Negeri Jember.
- [14] Raditya Artha Rochamnto, 2014 IMPLEMENTASI ROBOT THREE OMNI-DIRECTIONAL MENGGUNAKAN KONTROLER PID PADA ROBOT KONTES ROBOT ABU INDONESIA (KRAI). Teknik Elektronika, Universitas Brawijaya
- [15] Gufron Wahyu K, Novendra S, Ermanu Azizul H.” PID Trajectory Tracking Control 4 Omni-wheel Robot” Seminar Nasional Fortei Regional 7. Teknik Elektro, Universitas MUhammadiyah Malang, Malang.
- [16] Slamet Basori.”Implementasi Odometri Pada Robot Otomatis Kontes Robot ABU Indonesia”.Universitas Brawijaya,Malang,2014.
- [17] Bayu Sandi M, Fernando A, A.R. Anom B “ Path Tracking Pada *Mobile robot* Dengan Umpan Balik Odometry” Program studi Teknik Komputer, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [18] Arga Dwi Pambudi (2015) Sistem Navigasi dengan Kontrol PID pada Three Wheel Omni Directional *Mobile robot* Menggunakan Metode Odometry. S1 Fakultas Teknik Universitas Dian Nuswantoro
- [19] Affandi, Indra, Ardilla. 2014. “Kontrol Posisi Robot Omni-Directional Menggunakan Metode Gyrodometry”. Departemen Teknik Mekanika dan Energi. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [20] N. A. Ahmad, P. Endra 2011. “Implementasi Metode Kontrol Berbasis Proporsional Integral Untuk Kontrol Gerak *Mobile robot* berpernggerak Differensial : Studi Simulasi.” Jurusan Teknik Elektronika, Mketronika Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

