

# PID Trajectory Tracking Control 4 Omni-Wheel Robot

<sup>1</sup>Ghufron Wahyu Kurniawan, <sup>2</sup>Novendra Setyawan, <sup>3</sup> Ermanu Azizul Hakim

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang

<sup>1</sup>Ghufronwahyukurniawan@gmail.com, <sup>2</sup>Novendra@umm.ac.id, <sup>3</sup>Ermanu@umm.ac.id

**Abstract**— This study discusses trajectory tracking in 4 robot omniwheel using PID control (Proportional, Integral, Derivative), the use of this PID control is forced to minimize the error of robot movement, so that when a movement error is expected the robot can return to its trajectory. This is obtained by comparing the results of the tracking trajectory to the trajectory planing so that a different value (error) is obtained as a mass of PID control, the output of this PID is a control signal that is converted into pulse width modulation and used to control speed from each motor connected to the omnidrive wheel.

The test results show an average error of 6.48% on the tracking target value of  $X = -185$  cm and the target  $Y = 260$  cm, and 6.83% on the target tracking value of  $X = 185$  cm and target  $Y = 260$ , while in figure 10 and 11 shows a graph where the path / trajectory planning coincides with the path / trajectory tracking, indicating that the motion pattern of the robot can follow a well-determined planning pattern.

**Keywords**— holonomic, 4 omniwheel, PID control, Trajectory tracking, Robot Trajectory

**Abstrak**— Penelitian ini membahas tentang trajectory tracking pada 4 omniwheel robot menggunakan kontrol PID (Proporsional, Integral, Derivative), penggunaan kontrol PID ini dimaksudkan untuk meminimalisir error pergerakan robot, sehingga saat terjadi error pergerakan diharapkan robot dapat kembali ke lintasannya. Cara kerja dari sistem ini didapatkan dengan cara membandingkan hasil dari *tracking trajectory* terhadap *trajectory planing* sehingga didapatkan nilai beda (error) yang digunakan sebagai masukan dari kontrol PID, keluaran dari PID ini berupa sinyal kontrol yang diubah kedalam besaran nilai PWM (pulse width modulation) dan digunakan untuk mengendalikan kecepatan dari masing motor yang terhubung ke roda *omnidrive*.

Hasil pengujian menunjukkan nilai rata rata error sebesar 6,48% pada tracking target nilai  $X=-185$  cm dan target  $Y =260$  cm, dan 6,83% pada tracking target nilai  $X=185$  cm dan target  $Y =260$ , sedangkan pada gambar 10 dan 11 menunjukkan grafik dimana garis warna biru(path/trajectory planning) berhimpit dengan garis bewarna biru(path/trajectory tracking) hal tersebut menunjukkan bahwa pola gerak robot dapat mengikuti pola planning yang telah ditentukan dengan baik.

**Kata Kunci**— holonomic, 4 omniwheel, kontrol PID, Trajectory tracking, Robot Trajectory

## I. Pendahuluan

Pada era industri 4.0 banyak pekerjaan manusia yang diambil alih oleh robot dimana salah satunya adalah pengantaran barang di gudang produksi, sehingga trajectory planing menjadi sangat penting agar robot dapat bergerak sesuai lintasan yang telah ditentukan. Tanpa trajectory planing, robot akan bergerak secara acak dan tidak beraturan, oleh sebab itu meminimalisir error gerak robot pada penentuan posisi robot dan tracking trajectory adalah suatu hal penting sehingga robot dapat bergerak sesuai rute atau lintasan yang telah dibuat. Trajectory adalah lintasan robot yang akan ditempuh dari satu titik ke titik lainnya berdasarkan fungsi waktu.[1]

Pada sistem pergerakan robot, banyak hal yang dapat membuat nilai error dalam trajectory menjadi besar diantaranya saat roda yang digunakan selip yang mengakibatkan pembelokan rute, sehingga diperlukan suatu kontrol atau algoritma untuk mengurangi error pergerakan robot, disisi lain design robot yang sesuai juga dibutuhkan agar suatu robot dapat bergerak secara bebas ke segala arah untuk mempermudah plath planing dan pengembalian robot ke lintasan yang telah ditentukan.[2]

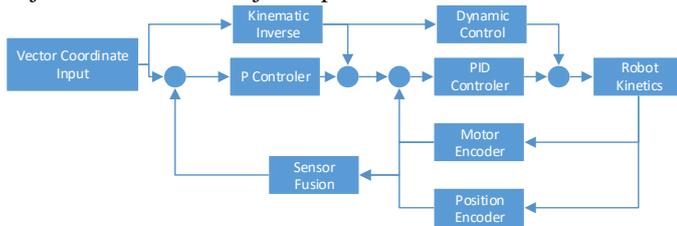
Pada pergerakan mobile robot terbagi menjadi 2 jenis yaitu holonomic dan non holonomic. Pada non holonomic pergerakan robot tidak dapat digerakkan ke segala arah dikarenakan arah gerak bebas robot lebih kecil dari jumlah derajat kebebasan dari setiap roda pada robot tersebut, sehingga dibuatlah jenis pergerakan lain pada robot mobile yaitu pergerakan holonomic dimana arah gerak robot adalah jumlah dari derajat kebebasan setiap roda pada robot sehingga memungkinkan robot dapat bergerak kesegala arah. [3]

Pada sistem pergerakan holonomic diperlukan suatu konfigurasi roda yang meliputi penempatan sudut roda terhadap sumbu pusat base frame, panjang jari-jari roda terhadap titik pusat baseframe, serta jumlah roda yang digunakan. Konfigurasi yang tepat digunakan untuk mendapatkan pengendalian, manuver dan stabilitas yang baik. Pada design robot holonoimic yang terdiri dari 4 roda terdapat empat roda omnidrive dan empat motor penggerak yang dipasangkan dengan sudut 90 derajat antar roda terhadap titik pusat base frame. Konfigurasi ini memiliki velocity autorelation function (V.A.F) yang tinggi pada pada sudut 0, 90, 180 dan 270 derajat yaitu bernilai 1.[4]

Untuk meminimalisir error pergerakan dan untuk mendapatkan performa terbaik dengan design yang sesederhana mungkin digunakan design 4 omniwheel dan 3 buah encoder yang masing masing dipasang antara kedua roda pada 4 omniwheel robot yang digunakan untuk menentukan tracking trajectory atau posisi kordinat robot dari waktu ke waktu dan penggunaan kontrol PID (proporstional, integral, derivative) pada trajectory tracking 4 omniwheel robot dimaksudkan untuk meminimalisir nilai error pergerakan robot

## II. Metode Penelitian

Secara umum sistem trajektori meliputi pengenalan posisi, kinematika terbalik dan kontrol dinamis. Konfigurasi sistem trajektori tersebut ditunjukkan pada Gambar.1.



Gambar.1 Bagan Sistem Trajektori Robot

Pada bagian tersebut kinematika bentuk robot akan mempengaruhi pola pengenalan posisi robot dan kinematika terbalik pada sistem trajektori robot.

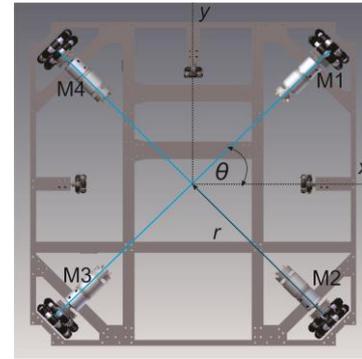
Kinematika robot four wheel omni drive meliputi kinematika *base frame* dan kinematika *rotary encoder* sebagai pengenalan posisi. Kedua bagian tersebut berpengaruh pada sistem trajektori robot sesuai bagan pada Gambar.1. Pada kinematika bentuk *rotary encoder* akan mempengaruhi segi kinematika terbalik robot, sedangkan pada kinematika *base frame* robot berpengaruh pada *robot kinetics* yang berkaitan pula dengan pola pemberian kecepatan pada masing motor.

### A) Perancangan Kinematika Robot

Terdapat 2 kinematika yang digunakan pada robot 4 omni-wheel yaitu kinematika *base frame* dan kinematika *rotary encoder* sebagai pengenalan posisi. Kedua bagian tersebut berpengaruh pada sistem trajektori robot sesuai bagan pada Gambar.1. Pada kinematika bentuk *rotary encoder* akan mempengaruhi segi kinematika terbalik robot, sedangkan pada kinematika *base frame* robot berpengaruh pada *robot kinetics* yang berkaitan pula dengan pola pemberian kecepatan pada masing motor.

#### a) Kinematika Base Frame Robot

*Base Frame Robot* erat kaitannya dengan kestabilan robot karena akan menentukan pembaigan gaya motor yang diberikan pada robot. Pada *base frame* dengan model 4 *wheel omni drive* didesain seperti pada gambar 2



Gambar 2 desain base frame dan pemasangan roda

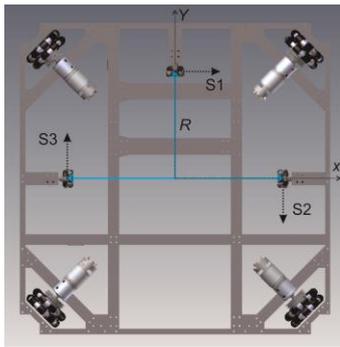
Pada gambar (2) motor dilambangkan dengan variable M1,M2,M3 dan M4, sedangkan  $r$  adalah jari jari atau jarak ujung roda terhadap titik tengah baseframe. Sudut  $\theta$  memiliki nilai  $45^0$  terhadap sumbu X/Y.

Kecepatan pergerakan robot pada sumbu X,Y didefinisikan dengan variable  $V_x$  dan  $V_y$  dan kecepatan motor 1, 2,3 dan 4 masing masing di definisikan dengan nama variable  $V_1, V_2, V_3$  dan  $V_4$ . Untuk mencari nilai dari  $V_1, V_2, V_3$  dan  $V_4$  berdasarkan nilai dari  $V_x, V_y$ , dan  $V_w$  maka digunakan kinematika terbalik, persamaan kinematika terbalik pada 4 omniwheel robot ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.3536 & 0.3536 & 0.1481 \\ 0.3536 & 0.3536 & 0.1481 \\ 0.3536 & -0.3536 & 0.1481 \\ -0.3536 & -0.3536 & 0.1481 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_w \end{bmatrix} \quad (1)$$

### b) Perancangan Kinematika Rotary Posisi Robot

Pada robot *four wheel omni drive* digunakan sebuah sistem rotari posisi yang digunakan sebagai pengenalan posisi yang juga digunakan sebagai umpan balik pada sistem trajektori. Sistem rotari posisi tersebut terdiri dari tiga buah incremental rotari encoder dengan roda omni 48 mm pada poros. Ketiga buah rotari tersebut disusun dengan pola tertentu untuk mendapatkan posisi berupa jarak atau kordinat pada sumbu x dan sumbu y berdasarkan pemetaan kordinat lapangan atau arena pertandingan. Selain data posisi x dan y terdapat sudut orientasi robot yang dilambangkan dengan  $\theta$ .



Gambar 3 Pola Kinematika Rotary Posisi

Gambar merupakan pola kinematika *rotary* posisi pada koordinat robot. Pada pola tersebut jarak yang diukur oleh *rotary encoder* dilambangkan dengan (*S*). Selain itu jarak antara titik tengah roda *rotary encoder* terhadap titik pusat robot dilambangkan dengan *R*. Sama halnya dengan kinematika base frame arah putar roda dianggap positif jika berputar searah jarum jam (CW).

Pada pola *rotary* posisi diatas diterapkan persamaan kinematika maju untuk mendapatkan data berupa data posisi koordinat yang dilambangkan dengan *Sx* untuk jarak pada sumbu *x* dan *Sy* untuk jarak pada sumbu *y*. Untuk menyatakan sudut orientasi robot terhadap arena dilambangkan dengan *theta*( $\theta$ ).

$$Sx = S_1 \tag{3}$$

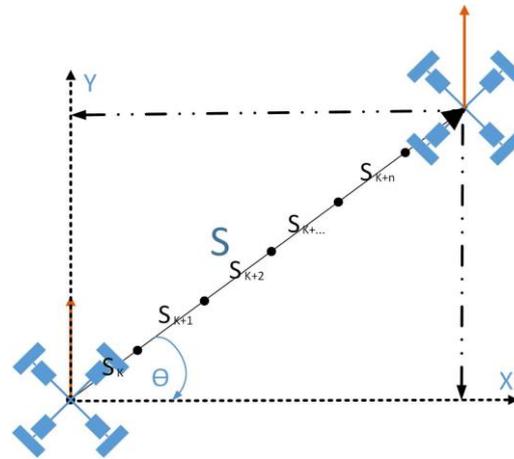
$$Sy = -S_2 + S_3 \tag{4}$$

$$\theta = \frac{(S_1 + S_2 + S_3)}{3R} \tag{5}$$

Pada persamaan diatas *theta*( $\theta$ ) dalam posisi radian, dikarenakan dalam mendapatkan jarak tempuh rotari posisi digunakan kecepatan dalam satuan radian/s yang kemudian diubah dalam m/s dan dibagi waktu sampling sehingga didapatkan jarak pengukuran dalam satuan meter(m).

B) Pengenalan Global Posisi (Field Position) dan Tracking Path

Prespektif global posisi diperlukan untuk memetakan perpindahan dan hadap robot terhadap arena atau lintasan. Pada pemetaan global posisi dapat kita tentukan jarak titik awal robot dan titik tujuan (*goal*). Selain itu dalam pergerakannya dapat diketahui heading error terhadap sumbu koordinat lintasan dan target. Pada pemetaan posisi global, posisi robot dipetakan dengan koordinat lintasan pada sumbu *x* dan *y* lintasan. Pada setiap perpindahan robot pada lapangan akan diketahui jarak perpindahan pada sumbu *x* dan *y* lapangan dan sudut heading robot terhadap sumbu koordinat lintasan. Pada tahapan selanjutnya parameter parameter tersebut dapat digunakan untuk menentukan perkiraan *path* yang akan dilalui robot.



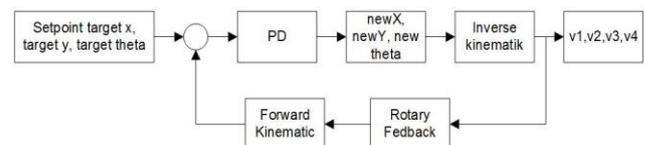
Gambar 4 Path Planning

Setelah mengetahui *path*-nya pada pergerakannya, untuk mengetahui *error* posisi digunakan persamaan selisih koordinat pada *path* dan koordinat posisi robot pada *real time*.

$$\begin{aligned} e_x &= x_{k+n} - x(t) \\ e_y &= y_{k+n} - y(t) \\ e_\theta &= \theta_n - \theta(t) \end{aligned} \tag{6}$$

C) Kontroler PD Pada Tracking Path

PD kontroler digunakan untuk mengurangi *error* pada *tracking path*. Proses ini dilakukan setelah didapatkan perhitungan *path* yang kemudian dilakukan perbandingan dengan posisi robot dalam kawasan waktu secara periodikal. Terdapat setpoint berbeda pada masukan PD kontroler, yaitu target *x*, target *y*, dan target *theta*. Ketiga masukan itu akan menghasilkan nilai *error* setelah dibandingkan data posisi robot pada sampling waktu tertentu.



Gambar 5 Diagram PD Controller pada Tracking

Setelah melalui PD kontroler maka akan mendapatkan pembetulan dengan *x*, *y*, dan *theta* baru yang selanjutnya dilakukan konversi kinematika balik yang kemudian akan menghasilkan *setpoint* pada masing masing motor. Tuning PD kontroler pada trajektori tidak bisa dilakukan dengan metode zigler nicols karena tidak dapat membentuk kurva *S*. Untuk itu hal yang bisa dilakukan adalah dengan metode *tunning try and error* yang memang akan membutuhkan waktu yang lama. Tuning tersebut dilakukan dengan mengamati pola pergerakan pada grafik dan mengamati tingkat *error* koordinat posisi robot saat mencapai target.

### III. Hasil dan Pembahasan

#### A) Pengujian dan hasil PID motor

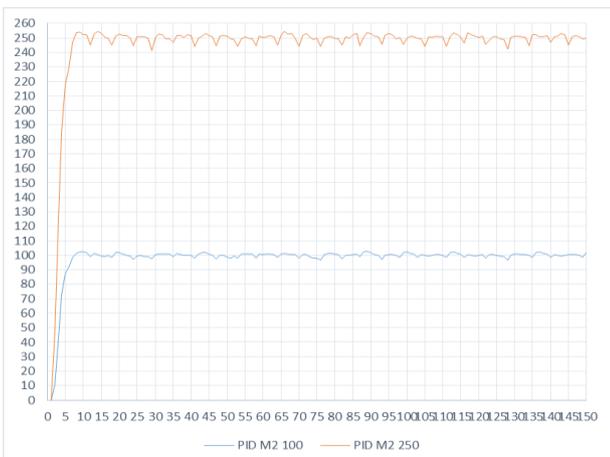
Pada pengujian pengendali Proporsional Integral Derivative (PID) pada motor data kecepatan didapat berdasarkan waktu sampling pada rotary encoder dan pengendali. Pengujian pertama kali dilakukan tanpa menggunakan pengendali PID dan kemudian dilakukan dengan menggunakan pengendali.

Lama waktu setiap pengujian dilakukan hingga posisi motor dalam keadaan steady state. Prilaku tersebut dapat diamati setelah data tersebut sudah dalam bentuk grafik. Pada pengujian tersebut menggunakan *time sampling* 50 miliseconds.

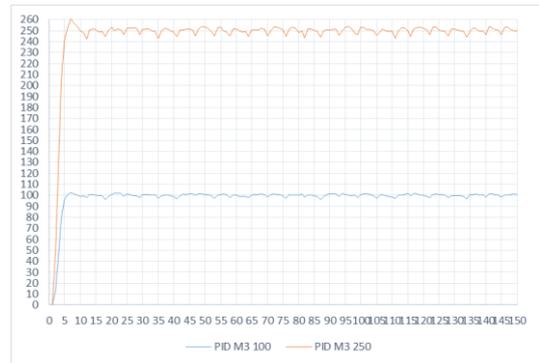
Kemudian tuning dilakukan dengan metode *Try and Error* hingga didapat nilai  $K_p$  sebesar 0.9,  $K_d$  sebesar 0.02, dan  $K_i$  sebesar 0.3 dengan pola kurva ke empat buah motor ditunjukkan pada gambar berikut.



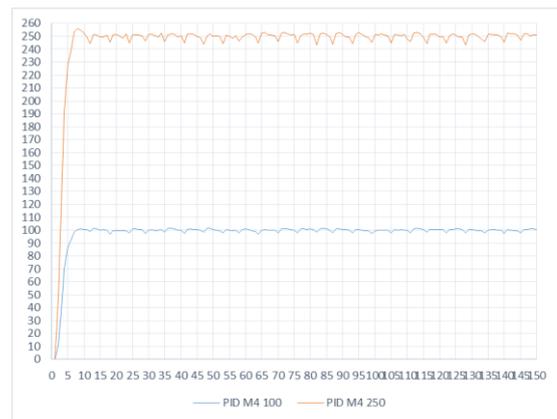
Gambar 6 Kurva PID Motor 1 Pada Setpoint 100 rpm dan 250 rpm



Gambar 7 Kurva PID Motor 2 Pada Setpoint 100 rpm dan 250 rpm



Gambar 8 Kurva PID Motor 3 Pada Setpoint 100 rpm dan 250 rpm



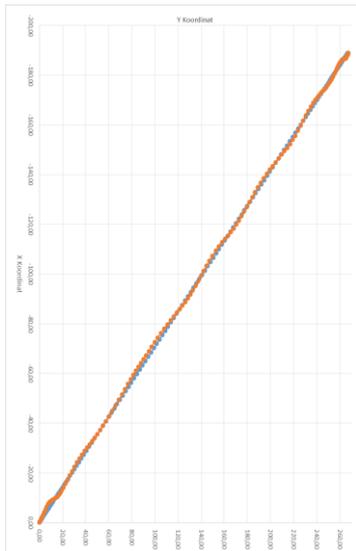
Gambar 9 Kurva PID Motor 3 Pada Setpoint 100 rpm dan 250 rpm

Pada keempat gambar kurva PID Motor pada setpoint 100 rpm dan 250 rpm memiliki waktu naik berkisar pada 5 periode pertama yang berarti untuk mencapai waktu naik membutuhkan waktu 250 miliseconds dengan waktu puncak pada 7 hingga 8 periode pertama. Pada keempat kurva tersebut lewatan maksimum berkisar 2% hingga 2.5% dengan waktu penetapan berkisar pada 10 periode pertama atau pada 500 miliseconds.

#### B) Pengujian dan hasil Path Planing dan Tracking Path Robot

Pada path planing robot didapatkan hasil berupa data kordinat yang akan dituju pada jalur tracking yang ditentukan pada kordinat tujuan. Pada pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar error tracking pada robot. Pengamatan ini bisa dilakukan dengan melihat grafik titik path pada tracking robot.

1. Target  $X=-185$  cm, Target  $Y =260$  cm,  $\alpha=30$  cm/s,  $v_{max} =60$  cm/s



Gambar 10 Pola Path dan Tracking Path Target X=185 cm, Target Y =260 cm

Pada gambar tersebut titik berwarna biru adalah titik path sedangkan titik berwarna jingga adalah pola tracking path dari robot. Pada pola tersebut terlihat pada awalnya titik path maupun tracking terlihat rapat yang menandakan robot sedang berakselerasi dan kemudian mulai merenggang yang menandakan robot berada pada kecepatan maksimal dan mulai rapat kembali yang menandakan robot sedang melakukan deselerasi.

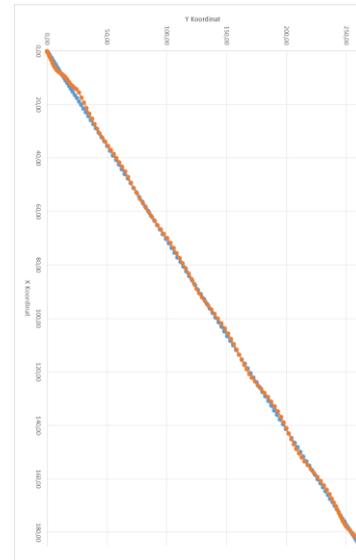
Pada pengujian ini dilakukan pengujian tracking pada titik target pada target X=185 cm dan target Y =260 cm yang dilakukan sebanyak 10 kali. Pada target tersebut didapatkan nilai rata rata error pada setiap percobaan yang ditunjukkan pada Tabel 1 .

Tabel 1. Rata-Rata Error Tracking Pada Target X=-185 cm Dan Target Y =260 cm

| No | Rata Rata Error Tracking X | Rata Rata Error Tracking Y | Rata Error Tracking |
|----|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1  | 5.21 %                     | 7.81 %                     | 6.51 %              |
| 2  | 5.21%                      | 7.82 %                     | 6.52%               |
| 3  | 5.22%                      | 7.81 %                     | 6.52%               |
| 4  | 5.18 %                     | 7.75 %                     | 6.46 %              |
| 5  | 5.19 %                     | 7.75 %                     | 6.47 %              |
| 6  | 5.19 %                     | 7.75 %                     | 6.47 %              |
| 7  | 5.19 %                     | 7.78 %                     | 6.47 %              |
| 8  | 5.22 %                     | 7.77 %                     | 6.49 %              |
| 9  | 5.21 %                     | 7.70 %                     | 6.50 %              |
| 10 | 5.21 %                     | 7.70 %                     | 6.50 %              |

Pada target tersebut rata rata error tracking X 5.20 % dan 7.76 % dan rata rata error total adalah 6.48 %.

2. Target X=185 cm, Target Y =260 cm,  $\alpha=30$  cm/s,  $v_{max}=60$  cm/s



Gambar 11 Pola Path dan Tracking Path Target X=185 cm, Target Y =260 cm

Pengujian selanjutnya dilakukan pada target X=185 cm, target Y =260 cm yang dilakukan sebanyak 10 kali. Sama seperti pengujian sebelumnya terdapat error tracking X maupun error tracking Y yang ditunjukkan pada Tabel .

Tabel 2 Rata-Rata Error Tracking Pada Target X=185 cm Dan Target Y =260 cm

| No | Rata Rata Error Tracking X | Rata Rata Error Tracking Y | Rata Error Tracking |
|----|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1  | 5.96%                      | 7.86 %                     | 6.91 %              |
| 2  | 5.96%                      | 7.96 %                     | 6.96 %              |
| 3  | 5.96%                      | 7.86 %                     | 6.91 %              |
| 4  | 6.22 %                     | 8.00 %                     | 7.11 %              |
| 5  | 6.18 %                     | 7.87 %                     | 6.92 %              |
| 6  | 5.97 %                     | 7.75 %                     | 6.47 %              |
| 7  | 5.19 %                     | 7.78 %                     | 6.47 %              |
| 8  | 5.96%                      | 7.96 %                     | 6.96 %              |
| 9  | 5.21 %                     | 7.70 %                     | 6.50 %              |
| 10 | 6.22 %                     | 8.00 %                     | 7.11 %              |

Pada target tersebut rata rata error tracking X 5.88 % dan 7.87 % dan rata rata error total adalah 6.83 %.

#### IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian dari penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Penggunaan 3 buah encoder digunakan untuk mengetahui posisi pergerakan robot sehingga

- diperoleh kordinat titik robot dari waktu ke waktu sehingga dapat dilakukan trajectory tracking
2. Pencarian nilai error sebagai masukan pid control didapatkan dari perbandingan hasil trajectory tracking terhadap trajectory planning
  3. Rata rata error total pada target path planning x=185 dan y=260 adalah 6.48% sedangkan untuk x=185 dan y=260 rata rata total error adalah 6.83%

#### V. Daftar Pustaka

- [1] Novendra Setyawan. "Navigasi 4 omni drive robot manual pada KRAI 2014 berbasis trajectory", Universitas Muhammadiyah Malang – UMM, Malang, 2015.
- [2] Asmore, Mark. "Omni-drive robot motion on curved paths: The fastest path between two points is not a straight-line", University of Melbourne, Australia, 2005.
- [3] M. Mariappan. "A navigation Methodology of an Holonomic Mobile Robot Optical Tracking Device(OTD)",TENCON,pp. 1-6, 2009.
- [4] PETRELLA, Roberto. "Speed Measurement Algorithms for Low-Resolution Incremental Encoder Equipped Drives: a Comparative Analysis", University of Udine, Italy,2008.
- [5] I.A.A Salam Al-Ammri,"Control of Omni-Directional Mobile Robot Motion,"Al-Khwarizmi Engineering Journal,Vol.6,No.4,pp.1-9,2010.
- [6] M.Mariappan, jong Chia Sing, Choo Chee Wee, Brendan Khoo, W.K Whong, "Simultaneous Rotation and Translation Movement for Four Omnidirectional Wheels Holonomic Mobile Robot", Universiti Malaysia sabah, Kinabalu, 2014.
- [7] Slamet Basori."Implementasi Odometri Pada Robot Otomatis Kontes Robot ABU Indonesia".Universitas Brawijaya,Malang,2014
- [8] Rijalul Haq, Endah Rahmawati."Path Tracking pada Mobile Robot dengan Umpan Balik Odometri".Universitas Brawijaya, Malang.
- [9] Fernando A, Marta B, Sandi, Anom B, Adnan R.,"Path Tracking Pada Mobile Robot Dengan Umpan Balik Odometri",The 13<sup>th</sup> Industrial Electronics Seminar(IES), 2011.
- [10] L.Huang,Y.s.Lim, D Lee, dan C,E.Teoh,"Design And Analisis of a Four-wheel Omnidirectional Mobile Robot," 2<sup>nd</sup> International Convergence on Autonomous Robots and Agent, hal.425-428,2004