

# **IMPLEMENTASI *INVERS KINEMATICS* PADA SISTEM PERGERAKAN *MOBILE ROBOT* RODA MEKANUM**

**Publikasi Jurnal Skripsi**



Disusun Oleh :

**VERI HENDRAYAWAN**

**NIM : 105060301111004-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. 0341 554166 Malang 65145

**KODE  
PJ-01**

**PENGESAHAN**  
**PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**NAMA : VERI HENDRAYAWAN**  
**NIM : 105060301111004**  
**PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRONIKA**  
**JUDUL SKRIPSI : IMPLEMENTASI *INVERS KINEMATICS* PADA  
SISTEM PERGERAKAN *MOBILE ROBOT* RODA  
MEKANUM**

**TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Ir. Nanang Sulistiyanto, MT.**  
**NIP. 19700113 199403 1002**

**Eka Maulana, ST., MT., M.Eng**  
**NIK. 8411300611 0280**

# IMPLEMENTASI *INVERS KINEMATICS* PADA SISTEM PERGERAKAN *MOBILE ROBOT* RODA MEKANUM

Veri Hendrayawan<sup>1</sup>, Nanang Sulistiyanto<sup>2</sup>, Eka Maulana<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro UB, <sup>2,3</sup>Dosen Teknik Elektro UB  
hendrayawanveri@gmail.com

**Abstrak-** Teknologi pergerakan *mobile robot* sekarang semakin berkembang, salah satu diantaranya adalah penggunaan roda mekanum untuk efisiensi pergerakan *mobile robot*. Dalam perkembangannya teknologi pergerakan konvensional seperti *swerve drive* memiliki banyak kekurangan diantaranya tidak bisa bergerak ke segala arah dan kurangnya efisiensi pergerakan *mobile robot*. Penggunaan *mobile robot* salah satunya pada Kontes Robot Abu Indonesia yang mempunyai lintasan robot yang bervariasi seperti zig-zag dan parabola sehingga diperlukan metode pergerakan baru yang menghasilkan pergerakan *mobile robot* dengan kecepatan dan efisiensi pergerakan yang tinggi. Untuk mengatur pergerakan *mobile robot* roda mekanum digunakan persamaan *invers kinematics* yang mengubah kecepatan robot dalam  $V_x, V_y, \omega$  menjadi kecepatan masing-masing roda yaitu  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  dan arah putaran roda. Penggunaan motor *stepper* memiliki ketelitian cukup baik dengan rata-rata kesalahan 2,09% dan tidak memerlukan umpan balik untuk kontrol kecepatan dalam implementasi penggerak *mobile robot* roda mekanum. Komunikasi data antara mikrokontroler *master* ATMega 16 dan mikrokontroler *slave* ATMega 8 menggunakan komunikasi SPI dengan tingkat keberhasilan 100 % pada frekuensi 4000.000 KHz. *Mobile robot* roda mekanum dapat bergerak ke sudut  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$ , dan  $315^\circ$  dengan kesalahan rata-rata kecepatan roda 3,6 rpm dan kesalahan rata-rata sudut gerak robot sebesar  $2,93^\circ$ .

Kata kunci : *invers kinematics* , *mobile robot* roda mekanum, motor *stepper*

## A. PENDAHULUAN

Pada Kontes Robot Abu Indonesia (KRAI) peraturan yang digunakan selalu berubah-ubah tiap tahun bergantung pada tuan rumah ABU ROBOCON diadakan [1]. Dengan aturan yang berbeda – beda robot tetap memiliki tugas yang sama. Robot harus dapat berpindah tempat pada arena perlombaan yang cukup luas untuk memindahkan obyek - obyek pada tempat yang telah ditentukan. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pergerakan yang tepat agar robot dapat menyelesaikan misi dengan cepat.

Selama ini kebanyakan teknologi *mobile robot* menggunakan sistem pergerakan *differential drive*. *Differential drive* merupakan salah satu pergerakan robot dengan memanfaatkan kecepatan pada roda kiri dan kanannya. Permasalahan utama dari sistem pergerakan *differential drive* adalah terbatasnya pergerakan robot karena hanya memanfaatkan

kecepatan pada roda kiri dan kanannya yakni bergerak maju dan belok tetapi robot tidak mampu bergerak ke segala arah atau biasa disebut robot *non-holonomic* [2].1,

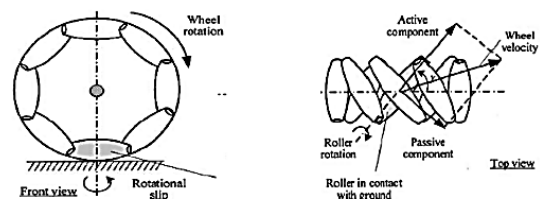
Kinematika robot sangat penting untuk mendefinisikan arah dan kecepatan robot. Dari arah dan kecepatan masing-masing roda dihasilkan total vektor gaya dengan arah pergerakan robot yang diinginkan tanpa mengubah arah hadap robot maupun sudut kemiringan roda [3]. Dalam tugas akhir ini akan dibahas tentang pergerakan bebas robot roda mekanum dengan pergerakan maju, pergerakan diagonal, dan perserakan samping robot dengan sudut  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$ , dan  $315^\circ$ .

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Roda Mekanum

Roda mekanum berawal pada tahun 1973 oleh Bengt Ilon. Roda mekanum berbasis desain roda yang disekelilingi oleh *roller* dengan membentuk sudut  $45^\circ$ . Arah dan kecepatan masing-masing roda menghasilkan resultan gaya yang menerjemahkan pergerakan mobilitas tanpa mengubah arah hadap robot ataupun perubahan sudut roda [4].

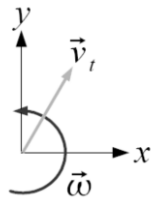
Gambar 1 Vektor Roda Mekanum



Roda mekanum termasuk dalam teknologi pergerakan *holonomic*. sehingga *mobile robot* dapat bergerak ke segala arah. Perbandingan roda mekanum dengan teknologi sistem pergerakan *omni directional* adalah keunggulan dalam kestabilan pada beban tinggi [5].

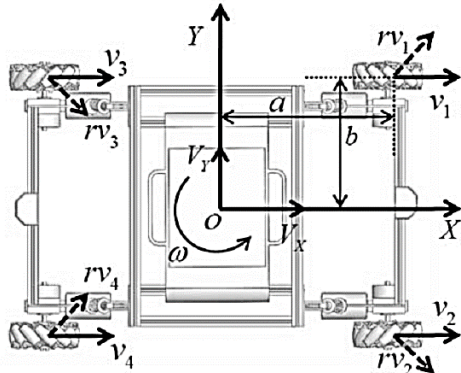
### B. Kinematika Mekanum

Persamaan kinematik salah satunya dapat mendiskripsikan pergerakan suatu robot, sehingga kontrol pergerakan robot dapat mudah dilakukan. Persamaan kinematik mendefinisikan beberapa bagian dari pergerakan robot, diantaranya  $V_x, V_y$  dan  $\omega$ . Resultan antara  $V_x, V_y$  adalah  $V_t$ . Persamaan pergerakan robot dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Vektor Pergerakan Robot

Persamaan invers kinematik digunakan untuk menguraikan pergerakan robot menjadi persamaan masing-masing roda.



Gambar 3 Vektor Pergerakan Mobile Robot Roda Mekanum

Dalam Gambar 3 menjelaskan bahwa  $a$  adalah jarak antara roda depan dan titik pusat robot.  $b$  adalah jarak roda samping dengan titik pusat robot.  $v_i$  merepresentasikan kecepatan roda nomor  $i$ ,  $rv_i$  merepresentasikan kecepatan dari roler,  $V_x$ ,  $V_y$  dan  $\omega$  merepresentasikan kecepatan robot dan kecepatan sudut dalam sumbu  $x$  [6]. Titik tengah robot, jarak vertikal, horisontal, arah dan sudut dari roler dan roda didefinisikan sebagai berikut :

- $i : 1, 2, 3, 4$
- $a_i : \{a, a, -a, -a\}$
- $b_i : \{b, -b, b, -b\}$
- $\alpha_i : \{\pi/4, -\pi/4, -\pi/4, \pi/4\}$
- $v_{xy} : (v_x, v_y)^T$

Penomoran roda  $i$  ( $i=1,2,3,4$ ) merepresentasikan dalam koordinat sistem  $x$  dan  $y$  dapat dilihat dalam Persamaan 1 sampai Persamaan 3 berikut :

$$v_i + rv_i \cos(\alpha_i) = V_x - b_i \omega \quad (1)$$

$$rv_i \sin(\alpha_i) = V_y + a_i \omega \quad (2)$$

$$v_i = V_x - b \omega - \frac{v_y + a_i \omega}{\tan(\alpha_i)} \quad (3)$$

Kecepatan keempat roda dapat didefinisikan dalam  $\tan(\alpha_i) = (1, -1, -1, 1)$ . Sehingga dapat diperoleh :

$$v_1 = V_x - V_y - a\omega - b\omega \quad (4)$$

$$v_2 = V_x + V_y + a\omega + b\omega \quad (5)$$

$$v_3 = V_x + V_y - a\omega - b\omega \quad (6)$$

$$v_4 = V_x - V_y + a\omega + b\omega \quad (7)$$

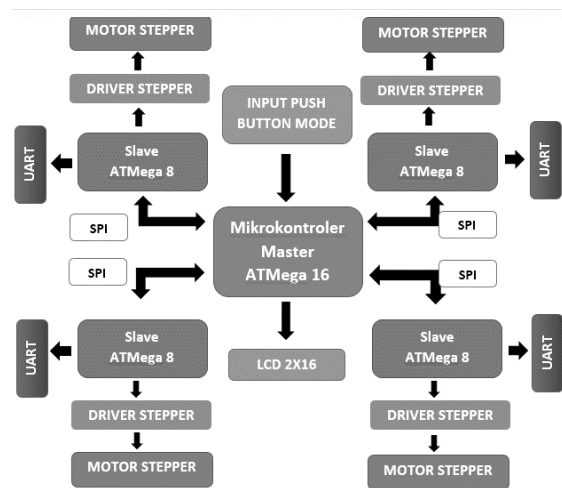
Karena,  $v = \omega \cdot R$ , dengan  $R$  adalah jari-jari roda maka persamaannya menjadi

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -a & -b \\ 1 & 1 & a & b \\ 1 & 1 & -a & -b \\ 1 & -1 & a & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (8)$$

### C. PERANCANGAN SISTEM

#### A. Perancangan Sistem Keseluruhan

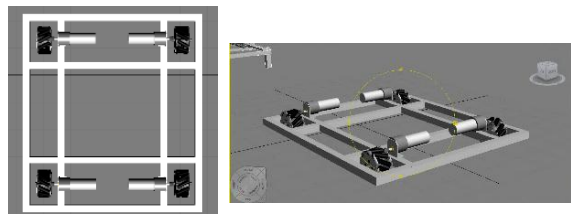
Prinsip kerja sistem ini adalah awalnya mikrokontroller *master* akan mengolah input mode dari push button menjadi  $V_x$ ,  $V_y$  dan  $\omega$ . Mikrokontroller *master* kemudian akan menghitung persamaan kinematik robot sehingga menghasilkan  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$ ,  $\omega_4$  dan arah putaran roda mekanum. Mikrokontroller *master* mengirim data kecepatan dan arah kepada mikrokontroller *slave* menggunakan komunikasi SPI. Mikrokontroller *slave* menerjemahkan data kecepatan dan arah menjadi pulsa dan arah motor yang diberikan kepada driver motor stepper. Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras (hardware) Sistem

#### B. Perancangan Desain mekanik

Sistem mekanik yang baik berpengaruh besar pada pergerakan robot, oleh karena itu perancangan mekanik dalam hal ini bodi dan rangka robot haruslah dibuat sepresisi mungkin. Gambar 5 menunjukkan desain mekanik robot.

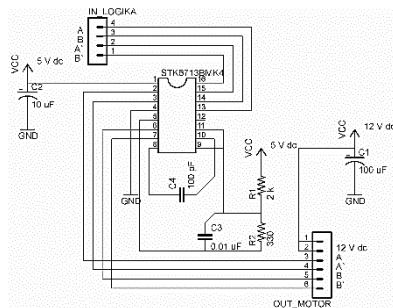


Gambar 5. (a) Rancangan robot tampak atas, (b) Rancangan robot tampak perspektif

Dalam perancangan dan pembuatan robot chasis robot yang berbentuk segi empat dengan ukuran luar 550mm x 500mm dan panjang antar sumbu roda 340mm. Roda mekanum dihubungkan dengan motor stepper menggunakan *timing belt* dengan perbandingan *pulley* antara motor dan roda adalah 8:10.

### C. Perancangan Rangkaian Driver Motor

Pada perancangan *driver motor stepper* menggunakan IC L297 sebagai kontrol logika motor dan IC STK6713BMK4 sebagai *driver fasa*. IC L297 menerima *input* berupa pulsa yang diatur frekuensinya oleh mikrokontroler dan arah putaran motor CW/CCW. *Output* L297 adalah 4 buah pin logika A, A', B, B'. Karena *input* IC STK6713BMK4 aktif logika *low*, maka *output* logika L297 dibalik oleh IC 74LS04. Perancangan *driver motor stepper* ditunjukkan dalam Gambar 6.

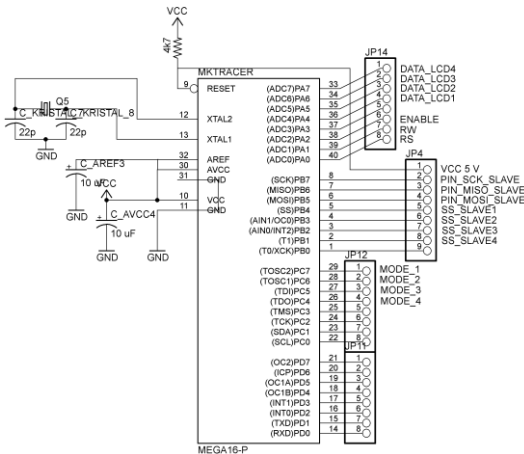


Gambar 6. Rangkaian Driver Motor Stepper STK6713BMK4

IC STK6713BMK4 sebagai driver fasa untuk mendapatkan tegangan catu 12 V dan 0 V untuk logika 1 dan 0.

### D. Perancangan Mikrokontroler

Mikrokontroler *master* menggunakan ATmega16 dan mikrokontroler *slave* menggunakan ATmega8. Terdapat satu mikrokontroler master dan empat mikrokontroler slave. Mikrokontroler master bertugas untuk melakukan perhitungan kecepatan tiap motor sesuai dengan sudut gerak robot yang diinginkan. Perancangan mikrokontroler master ATmega 16 ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Mikrokontroler Master ATmega 16

Sedangkan mikrokontroler *slave* digunakan untuk mengolah data kecepatan sudut roda dan arahnya menjadi bentuk pulsa dan arah pergerakan motor stepper.

### E. Perancangan Kinematika Mekanum

Pada *mobile robot* roda mekanum menggunakan persamaan kinematik untuk kontrol pergerakannya. Persamaan kinematik ditujukan untuk mencari kecepatan masing masing roda agar didapatkan pergerakan robot yang diinginkan dalam  $(V_x, V_y, \omega)$ . Persamaan keempat roda dapat dijabarkan dalam persamaan 4 sampai persamaan 7. Untuk kecepatan sudut roda dijelaskan pada persamaan berikut :

$$\omega_i = \frac{1}{R} \cdot v_i \quad (9)$$

Hasil perhitungan kinematika mekanum ditunjukkan dalam Tabel 1.

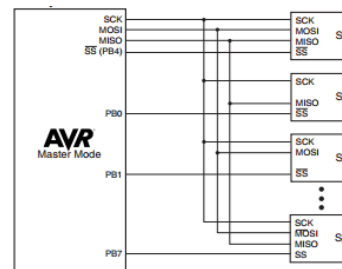
Tabel 1 Kecepatan Tiap Roda

$\theta$	Kecepatan Robot					
	$V_x$	$V_y$	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$
0°	0.7	0	0	14	14	14
45°	0.4	0.4	0	0	16	16
90°	0	0.6	0	-12	12	12
135°	-0.4	0.4	0	16	0	16
180°	-0.7	0	0	-14	-14	-14
225°	-0.4	-0.4	0	0	-16	-16
270°	0	-0.6	0	12	-12	-12
315°	0.4	-0.4	0	-16	0	-16

Nilai positif menunjukkan arah perputaran roda yang searah dengan arah jarum jam dan nilai negatif berlawanan arah jarum jam.

### F. Perancangan Komunikasi SPI

*Serial Peripheral Interface* (SPI) merupakan salah satu mode komunikasi serial *synchronous* kecepatan tinggi yang dimiliki oleh ATmega. Komunikasi SPI membutuhkan 3 jalur (*wire*) yaitu MOSI, MISO dan SCK. Melalui komunikasi SPI ini data dapat saling dikirimkan baik antar mikrokontroler maupun antar mikrokontroler dengan peripheral lain di luar mikrokontroler. Komunikasi SPI mengirimkan data 8 *bit* yang berisi kecepatan motor dan arah putaran motor. Perancangan rangkaian *multi slave* SPI ditunjukkan dalam Gambar 8.



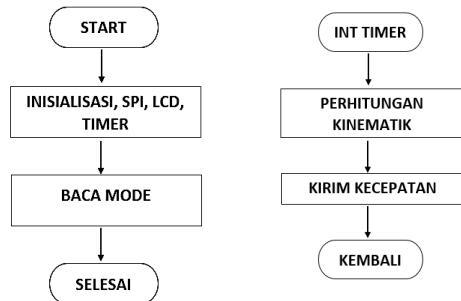
Gambar 8. Rangkaian komunikasi SPI

## G. Perancangan Perangkat Lunak

### 1. Perancangan Program Mikrokontroler

#### Master

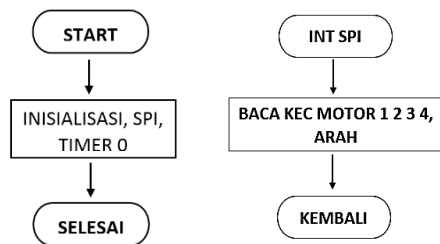
Program utama mikrokontroler master dirancang untuk melakukan perhitungan kinematika robot dan komunikasi SPI dengan empat mikrokontroler *slave*. Diagram alir program utama *master* ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Program Utama *Master*

### 2. Perancangan Program Mikrokontroler *slave*

Program utama mikrokontroler *slave* dirancang untuk melakukan proses komunikasi dengan mikrokontroler *master* dengan SPI, menerjemahkan kecepatan dan arah kedalam frekuensi dan arah putaran roda. Diagram alir program utama *slave* ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Mikrokontroler *Slave*

## D. DATA DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem, apakah sistem telah sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan per blok sistem kemudian secara keseluruhan.

### A. Pengujian Kecepatan Motor Stepper

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan kecepatan motor stepper secara teori dengan kecepatan sebenarnya motor stepper. Hasil pengujian yang diperoleh dari beberapa pengambilan data ditunjukkan pada tabel 2

Tabel 2 Hasil Pengujian data kecepatan motor stepper

Frekuensi (Hz)	Teori (RPM)	Pengujian (RPM)	Error (%)
50	7.5	8	6.6 %
100	15	15	0%
300	45	45	0%
500	75	75	0%
800	120	120	0%
1000	150	150	0%
1300	195	198	1.5%

1500	225	223	0.88%
1800	270	270	0%
2000	300	300	0%
Rata-rata			0.89%

Dalam pengujian motor stepper diperoleh semakin besar frekuensi pulsa semakin besar pula rpm motor stepper. Kesalahan terbesar terjadi pada frekuensi 50 Hz dengan kesalahan sebesar 6.6%

### B. Pengujian Komunikasi SPI Antara Mikrokontroler Master dan *slave*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan memeriksa perangkat lunak yang disusun dalam perangkat mikrokontroler apakah sudah dapat menangani komunikasi SPI antara mikrokontroler *master* (ATmega16) dengan mikrokontroler *slave* (ATmega8). Hasil pengujian komunikasi SPI dapat ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian komunikasi SPI *master – slave*

Nilai pada LCD				Nilai pada komp.			
$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$	Slave 1	Slave 2	Slave 3	Slave 4
14	14	14	14	14	14	14	14
-12	12	12	-12	-12	12	12	-12
0	16	16	0	0	16	16	0
16	0	0	16	16	0	0	16
-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
0	-16	-16	0	0	-16	-16	0
12	-12	-12	12	12	-12	-12	12
-16	0	0	-16	-16	0	0	-16

Dari hasil pengujian komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*) terlihat bahwa mikrokontroler *master* dapat mengirimkan data konstanta ke mikrokontroler *slave*. Data yang ditampilkan pada mikrokontroler *slave di komputer* sama dengan data yang ditampilkan oleh mikrokontroler *master* pada program yang terdapat pada mikrokontroler *slave* dan *master* dapat bekerja dengan baik dalam berkomunikasi secara SPI.

### C. Pengujian Perhitungan Kinematik

Pengujian kinematika robot dilakukan dengan memberikan input mode berupa ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $\omega$ ) kemudian dimasukkan dalam persamaan kinematik robot yang menghasilkan  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$ ,  $\omega_4$ . Hasil pengujian perhitungan kinematik ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Perhitungan Kinematik Robot

$\theta$	Kecepatan Robot			Kecepatan Sudut Roda			
	$V_x$	$V_y$	$\omega$	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$
0°	0.7	0	0	14	14	14	14
	0.7	0	0	14	14	14	14
45°	0.4	0.4	0	0	16	16	0
	0.4	0.4	0	0	16	16	0
90°	0	0.6	0	-12	12	12	-12
	0	0.6	0	-12	12	12	-12
135°	-0.4	0.4	0	16	0	0	16
	-0.4	0.4	0	16	0	0	16
180°	-0.7	0	0	-14	-14	-14	-14
	-0.7	0	0	-14	-14	-14	-14

225°	-0.4	-0.4	0	0	-16	-16	0
	-0.4	-0.4	0	0	-16	-16	0
270°	0	-0.6	0	12	-12	-12	12
	0	-0.6	0	12	-12	-12	12
315°	0.4	-0.4	0	-16	0	0	-16
	0.4	-0.4	0	-16	0	0	-16

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $\omega$  dalam sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $270^\circ$ , dan  $315^\circ$  pada persamaan kinematik dalam mikrokontroler master yang menghasilkan  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$ ,  $\omega_4$  yang ditampilkan pada computer dengan komunikasi UART. Berdasarkan Tabel 4 dapat diperoleh hasil bahwa perhitungan kecepatan sudut masing-masing roda sesuai dengan perhitungan kinematik robot.

Perbandingan kecepatan roda robot dengan perhitungan kinematik dapat dijelaskan dalam Tabel 5.

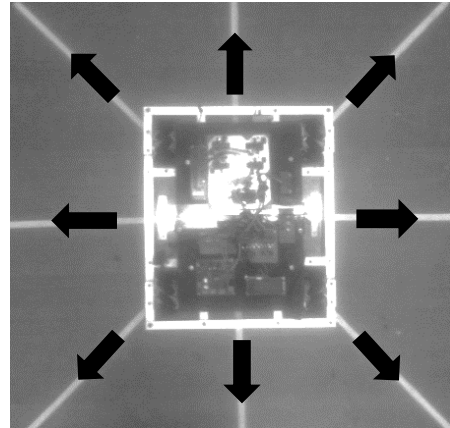
Tabel 5. Perbandingan Kecepatan Roda Robot

$\theta$	Teori/ Uji	Kecepatan Roda (rpm)			
		$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$
$0^\circ$	T	134.6	134.6	134.6	134.6
	U	139	132	140	137
$45^\circ$	T	-115.3	115.3	115.3	-115.3
	U	-118	118	118	-120
$90^\circ$	T	0	153.8	153.8	0
	U	0	150	160	0
$135^\circ$	T	153.8	0	0	153.8
	U	158	0	0	155
$180^\circ$	T	-134.6	-134.6	-134.6	-134.6
	U	-136	-133	-138	-138
$225^\circ$	T	0	-153.8	-153.8	0
	U	0	-158	-160	0
$270^\circ$	T	115.3	-115.3	-115.3	115.3
	U	120	-123	-120	118
$315^\circ$	T	-115.3	0	0	-115.3
	U	-118	0	0	-120
Error (RPM)		3.38	3.6	4.25	3.18

Pada Tabel 5 dapat dijelaskan bahwa perbandingan antara kecepatan motor dalam perhitungan dengan yang sebenarnya adalah kesalahan motor 1 sebesar 3.38 rpm, motor 2 3.6 rpm, motor 3 sebesar 4.25 rpm, motor 4 sebesar 3.18 rpm.

#### D. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem ini bertujuan untuk mengetahui performansi mobile robot roda mekanum. Prosedur pengujian dilakukan memberikan mode pergerakan dengan variasi pergerakan robot, diantaranya mode maju, samping, dan pergerakan diagonal robot.



Gambar 15 Arah Gerak Robot

Hasil pengujian untuk respon robot saat dikendalikan untuk bergerak ke arah tertentu setelah beberapa kali percobaan dapat dilihat dalam Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Pengujian Arah Gerak Robot

Sudut ( $\theta$ )	Sudut Kesalahan
$0^\circ$	$2^\circ$
	$1^\circ$
$45^\circ$	$4^\circ$
	$3.5^\circ$
$90^\circ$	$3^\circ$
	$2^\circ$
$135^\circ$	$4^\circ$
	$3.5^\circ$
$180^\circ$	$2^\circ$
	$3^\circ$
$225^\circ$	$2^\circ$
	$4^\circ$
$270^\circ$	$2.5^\circ$
	$3.5^\circ$
$315^\circ$	$3^\circ$
	$4^\circ$
Rata-Rata	$2.93^\circ$

. Berdasarkan tabel diatas dapat diperoleh hasil rata – rata kesalahan sudut gerak robot sebesar  $2.93^\circ$ . Pengujian keseluruhan sistem dilakukan pada lapangan berbahan *vinil* dengan lingkaran yang berdiameter 2 m. kesalahan terbesar terjadi pada pergerakan diagonal dengan kesalahan terbesar  $4^\circ$

#### E. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Pergerakan robot dalam sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $270^\circ$ , dan  $315^\circ$  menggunakan persamaan kinematika mekanum dengan kesalahan roda 1 sebesar 3,38 rpm, roda 2 sebesar 3,6 rpm, roda 3 sebesar 4,25 rpm, dan roda 4 sebesar 3,18 rpm, sehingga diperoleh kesalahan rata-rata roda sebesar 3,6 rpm.
2. Kecepatan motor *stepper* dalam mode *full step* dua kali lebih besar dibandingkan mode *half step* dan

- kesalahan rata-rata kecepatan motor *stepper* terbesar adalah 2,09%.
3. Komunikasi data antara mikrokontroler *master* ATmega 16 dan mikrokontroler *slave* ATmega 8 menggunakan komunikasi SPI dengan tingkat keberhasilan 100 % pada frekuensi 4000.000 KHz.
  4. *Mobile robot* roda meknum ukuran 100 mm dengan jarak antar sumbu roda 340 mm dapat bergerak ke sudut  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $225^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ , dan  $315^{\circ}$  dengan kesalahan rata – rata sudut gerak robot sebesar  $2,93^{\circ}$ .

#### Daftar Pustaka

- [1] Dikti 2014. *Panduan Kontes Robot Indonesia 2014*. Jakarta: DIKTI.
- [2] Borenstein, Everett.1996.*Navigation Mobile Robot*.Wellesley:Masschuttes.
- [3] Tiale, Nkgatho.2008.*Kinematics and Dynamics Modelling of a Mecanum Wheeled Mobile Platform*.IEEE Mechatronics and Machine Vision in Practice, Vol.15, pp.657-662.
- [4] West,M, Asada,H.1997.*Design of Ball Wheel Mechanisms for Omnidirectional Vehicle with Full Mobility and Invariant Kinematics*. Journal of Mechanical Design, Vol.119, pp.153-161.
- [5] Habib,K..2007.*Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robot*.Vienna: I-Tech.
- [6] Park,J, Kim,S.2010.*Driving Control of Mobile Robot with Mecanum Wheel using Fuzzy Inference System*.Word Academy of Science Engineering Technology, Vol.6, pp.2519-2523.