

IMPLEMENTASI INVERSE KINEMATIC PADA PERGERAKAN MOBILE ROBOT KRPAI DIVISI BERKAKI

Publikasi Jurnal Skripsi




Disusun oleh :

EKY PRASETYA

NIM. 0910633047-63

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

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2014**

	<p>KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. 0341 554166 Malang 65145</p>	<p>KODE PJ-01</p>
---	---	------------------------------

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

NAMA : **EKY PRASETYA**
NIM : **0910633047 - 63**
PROGRAM STUDI : **TEKNIK ELEKTRONIKA**
JUDUL SKRIPSI : **IMPLEMENTASI INVERSE KINEMATIC PADA PERGERAKAN MOBILE ROBOT
KRPAL DIVISI BERKAKI**

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Waru Djurianto, ST, MT,
NIP. 19690725 1999702 1 001

Mochammad Rif'an, ST., MT,
NIP. 19710301 200012 1 001

Abstrak – Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) merupakan ajang perlombaan robotika nasional yang terdiri atas dua divisi yaitu Divisi Beroda dan Divisi Berkaki. Salah satu masalah yang sering dihadapi dalam perlombaan divisi berkaki adalah pergerakan untuk menyusuri arena dalam lomba. Tugas akhir ini merancang dan mengimplementasikan *inverse kinematic* sebagai sistem pergerakan pada robot berkaki. Pada perhitungan *inverse kinematic* akan dihasilkan sudut untuk masing-masing motor servo, agar robot dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Pola langkah digunakan untuk mengatur bagian dari kaki robot mana yang harus diangkat terlebih dahulu dan untuk kaki lain digeser. Dengan perhitungan *inverse kinematic* dapat diketahui rata-rata kesalahan gerak maju antara 3 cm hingga 30 cm yang dihasilkan 0,6 cm dengan kesalahan terbesar 2 cm pada jarak tempuh 30 cm. Hasil gerak maju untuk 244 cm atau jalur terpanjang dalam lomba menunjukkan rata-rata kesalahan pembacaan sudut sebesar $2,54^\circ$ dengan kesalahan terbesar $3,51^\circ$.

Kata Kunci : KRPAI divisi berkaki, *inverse kinematic*, pola langkah.

[1] PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) merupakan salah satu kontes robot tingkat nasional yang diadakan oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi secara teratur setiap tahun. Kontes robot KRPAI terbagi menjadi dua divisi yaitu Divisi Beroda dan Divisi Berkaki. Kedua divisi ini mempunyai tugas dan arena yang sama serta peraturan yang hampir sama.

Robot yang mengikuti Kontes Robot Pemadam Api Indonesia mempunyai tugas utama yaitu untuk memadamkan api yang terdapat pada arena pertandingan. Arena pertandingan pada Kontes Robot Pemadam Api Indonesia merupakan miniatur rumah. Robot akan

diletakkan pada sebuah arena pertandingan, kemudian robot

harus dapat menyusuri arena untuk dapat mencari dan memadamkan sumber api yang berupa lilin[1]. Konfigurasi arena pertandingan yang digunakan dapat berubah-ubah sesuai dengan hasil undian. Robot harus mampu beradaptasi dan melaksanakan tugasnya sesuai dengan kondisi arena pertandingan. Agar dapat menyusuri arena tersebut maka *mobile robot* yang dirancang harus mampu mendeteksi keberadaan dinding dan lorong yang menjadi lintasan robot.

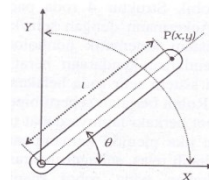
Masalah yang masih sering dihadapi dalam KRPAI divisi berkaki adalah merancang dan menentukan pergerakan *mobile robot* agar robot dapat bergerak menyusuri arena dan menyelesaikan tugasnya. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem kontrol untuk menunjang cara tersebut yang dapat mengatasi kelemahan-kelemahan dalam pergerakan.

Dalam skripsi ini, dirancang suatu Sistem pergerakan Robot KRPAI Divisi Berkaki dengan menggunakan *inverse kinematic*. Sistem tersebut dirancang untuk mendapatkan respon yang cepat dan handal sehingga *mobile robot* otomatis diharapkan dapat dengan cepat menyelesaikan tugasnya.

[2] TINJAUAN PUSTAKA

Kinematika dengan Persamaan Trigonometri

Persamaan kinematik dapat diselesaikan dengan cara yang paling dasar, yaitu menggunakan persamaan trigonometri. Setiap komponen dalam koordinat (x,y,z) dinyatakan sebagai transformasi dari tiap-tiap komponen ruang sendi $(r;\theta)$. Jari-jari r dalam persamaan sering ditulis sebagai panjang lengan (l) . Untuk koordinat 2 dimensi, komponen z dapat tidak dituliskan.



Gambar 1. Konfigurasi Robot Tangan dengan 1 DOF

Pada gambar 1. kedudukan titik $P(x,y)$ dapat diperoleh dengan cara kinematik maju sebagai berikut, dan

(1)

(2)

(2.1)

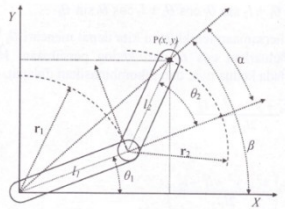
(2.2)

Maka (x,y) diketahui maka θ dapat dihitung dengan cara,

(2)

(2.3)

Persamaan (3) adalah *Persamaan Kinematik Invers dari Robot Tangan Satu Sendi.*



Gambar 2. Konfigurasi Robot Tangan Planar dengan 2 DOF

Pada gambar 2. Kedudukan ujung lengan dinyatakan sebagai $P(x,y)$,

(4)

(2.4)

Jika P diasumsikan sebagai vektor penjumlahan yang terdiri dari vektor r_1 lengan-1 dan vektor r_2 lengan-2, maka :

(5)

(2.5)

(6)

maka

(7)

(2.7)

(8)

(2.8)

Persamaan (7) dan (8) adalah *Persamaan Kinematik Maju dari Robot Tangan Planar Dua Sendi.* Dari persamaan diatas dapat diperoleh θ_2 dengan mengeluarkan $\cos \theta_2$ dari kedua persamaan. Dengan operasi pangkat dua pada kedua persamaan tersebut diperoleh,

(9)

(2.14)

Untuk memperoleh nilai sudut θ_1 dapat digunakan analisa trigonometri dan didapatkan persamaan sebagai berikut,

(10)

(2.20)

Persamaan (9) dan (10) adalah *Persamaan Kinematik Invers untuk Robot Tangan Planar Dua Sendi.*

STM32F4 Discovery

STM32F4 Discovery adalah development board dengan mikrokontroler ARM Cortex-M4 dengan *clock* sampai dengan 168 MHz, mampu mengeksekusi perintah sampai dengan 210 MIPS (*Million Instruction per Second*). Mikrokontroler ini memiliki 1 MByte Flash PEROM (Flash Programmable and Eraseble Read Only Memory), 192 Kbyte SRAM, 100 pin, 5 buah port I/O yang mana setiap pin dalam masing masing port dapat diprogram tersendiri, memiliki dua belas buah *timer/counter* 16 bit dan dua buah *timer/counter* 32 bit [4]. Bentuk fisik STM32F4 Discovery ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. STM32F4 Discovery

[3] PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan Inverse Kinematic

Gambar 4. Diagram Blok Sistem Hexapod robot

Pemberian input berupa titik koordinat (x,y,z) dimana y sebagai titik perubahan robot ke arah depan atau maju. Koordinat x dalam system ini tidak digunakan karena robot hanya bergerak maju, dan koordinat x mempengaruhi pergerakan kekanan atau kiri maupun menyerong. Sedangkan koordinat z mempengaruhi ketinggian dari body robot. Titik koordinat akan diolah menggunakan perhitungan inverse kinematic supaya didapatkan nilai sudut α untuk masing motor servo.

Perancangan Mekanik Robot

Berdasarkan peraturan Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) Divisi Berkaki tahun 2013, batasan dimensi robot baik saat posisi berhenti maupun saat posisi berjalan adalah, panjang = 46 cm, lebar = 31 cm, dan tinggi = 27 cm. Dengan adanya peraturan tersebut, maka desain robot berkaki enam ini harus dirancang agar tidak melebihi batas ukuran yang telah ditetapkan. Gambar desain mekanik robot berkaki enam ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4 Desain dan Konstruksi Bdan Robot

Titik pusat robot yang terdapat di tengah badan robot dan lebar sudut dari masing-masing kaki terhadap titik pusat robot dengan kaki depan sebesar 30° , kaki tengah sebesar 90° dan kaki belakang sebesar 150° . Sedangkan panjang titik pusat kaki dari titik pusat badan robot untuk kaki depan sepanjang 9,057cm, kaki tengah sepanjang 6,9cm, dan jarak kaki belakang sepanjang 9,057cm. Dan panjang kaki dari titik pusat kaki hingga ujung kaki sepanjang 9,5cm.

Gambar 5. Pergeseran titik pusat robot terhadap kaki belakang

Gambar 5 pergeseran terhadap kaki belakang didapatkan

$$(11)$$

Dan untuk panjang kaki setelah bergerak sesuai dengan rumus

$$(12)$$

$$(a)$$

$$(b)$$

Gambar 6 Pergeseran Titik Pusat (a) terhadap Kaki Tengah, (b) terhadap Kaki Depan.

Sedangkan untuk konstruksi pergerakan untuk kaki tengah didapatkan persamaan

$$(13)$$

Dan untuk kaki depan di dapatkan

$$(14)$$

Gambar 7. Bentuk Konstruksi Kaki Robot

Gambar 7. merupakan tampak konstruksi kaki robot. Terdapat panjang lengan yang menghubungkan servo lutut dengan servo kaki (11) dengan panjang 6,5cm, panjang kaki 12. Jarak kaki dari titik pusat kaki hingga ujung kaki sepanjang 9,5cm. dan jarak antara servo pinggang dan pusat

servo lutut sebesar 2cm, dan didapatkan persamaan untuk mendapatkan sudut θ_2 dan θ_3 yaitu :

$$(15)$$

$$(16)$$

Pola Langkah

Hasil perhitungan *inverse kinematic* pergerakan robot sudah dapat dibangkitkan, dan kaki robot sudah dapat melangkah. Pada bagian ini algoritma *gait* diperlukan untuk mengatur kapan sebuah kaki harus diangkat, digeser atau menapak. Urutan langkah kaki terdapat pada gambar 8.

Gambar 8. Diagram Gait

untuk robot hexapod ini di gunakan pola langkah empat kaki menapak pada alas dan dua kaki di angkat. Penunjukkan untuk setiap leg adalah sebagai berikut, yaitu leg_1 adalah kaki kanan depan, leg_2 adalah kaki kanan tengah, leg_3 adalah kaki kanan belakang, leg_4 adalah kaki kiri depan, leg_5 adalah kaki kiri tengah dan leg_6 adalah kaki kiri belakang. Dalam diagram gait dapat dilihat membentuk seperti pulsa yang menunjukkan ketika berlogika tinggi berarti kaki harus diangkat dan ketika berlogika rendah kaki menapak pada alas.

Pada fase menapak dalam program dapat dituliskan sebagai berikut,

```
inv_kine(front_left, (beta[4]*0.231), (leg_next[4]*0.231), leg);
inv_kine(front_right, (beta[1]*0.796), (leg_next[1]*0.796), leg);
inv_kine(middle_left, (beta[5]*0.615), (leg_next[5]*0.615), leg);
inv_kine(middle_right, beta[2], leg_next[2], leg);
inv_kine(rear_left, beta[6], leg_next[6], leg);
inv_kine(rear_right, beta[3]*0.385), (leg_next[3]*0.385), leg);
```

dalam satu sub gait yang berarti front_left akan menggerakkan kaki kiri depan, beta[x] adalah sudut untuk motor servo bahu yang didapatkan dari persamaan (11), leg_next[x] adalah panjang kaki setelah perubahan yang didapatkan dari persamaan (12) dan leg adalah tinggi robot sesuai dari masukkan. Konstanta pengali yang terdapat di belakang beta[x] dan leg_next[x] di maksudkan agar motor servo dapat bergerak perlahan untuk menuju titik yang akan dituju secara perlahan dan harmonis dengan kaki kaki yang lain.

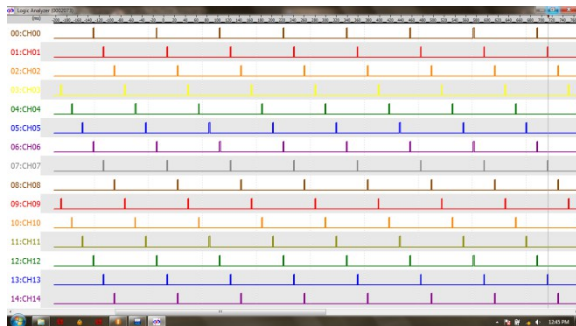
[4] PENGUJIAN DAN ANALISIS

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

Pengujian Sinyal Kontrol Multi-Servo

Pengujian sinyal kontrol multi-servo bertujuan untuk mengetahui kemampuan mikrokontroler kontrol servo dalam menghasilkan pulsa periodik pada pin output. Gambar 9 menunjukkan diagram blok pengujian kontrol multi servo. Pengujian dilakukan pada saat robot sedang berdiri kemudian melihat sinyal yang dikirimkan dari mikrokontroler untuk delapan belas motor servo. Gambar 10 menunjukkan data hasil pengujian.

Gambar 9. Diagram Blok Pengujian Sinyal Kontrol Multi Servo



Gambar 10. Sinyal Kontrol Multi Servo

Pengujian Gerak Satu Kaki

Pengujian gerak satu kaki bertujuan untuk mengetahui respon gerak untuk masing masing kaki yang digunakan pada robot berkaki enam, selain itu juga untuk mengetahui apakah sinyal yang dihasilkan mikrokontroler dapat mengontrol posisi motor servo. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan motor servo dengan mikrokontroler dan rangkaian catu daya. Catu daya yang digunakan adalah 6 V untuk motor DC servo, dan 5 V untuk rangkaian mikrokontroler. Gambar 11 menunjukkan diagram blok pengujian motor DC servo.

Gambar 11 Diagram Blok Pengujian gerak Satu kaki



(a) (b)

Gambar 12. Pengujian Gerak Satu Kaki (a) kaki kiri depan menapak (b) kaki kiri depan terangkat

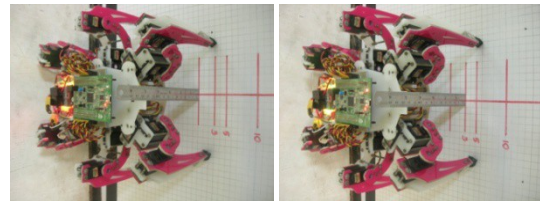
Pada pengujian ini semua kaki diberi perintah untuk mengangkat, dan menapak secara bergantian.

Tabel 1. Hasil Pengujian Gerak Mengangkat Kaki

No.	Gerak Mengangkat Kaki	
	Kaki	Keterangan
1	Depan Kiri	Berhasil
2	Belakang Kanan	Berhasil
3	Tengah Kanan	Berhasil
4	Belakang Kiri	Berhasil
5	Depan Kanan	Berhasil
6	Tengah Kiri	Berhasil

Pengujian Gerak Maju

Pengujian gerak maju bertujuan untuk mengetahui penerapan metode pergerakan menggunakan implentasi *invrse kinematic* pada robot berkaki enam yang telah dirancang, selain itu juga untuk mengetahui apakah robot dapat bergerak sejauh nilai koordinat yang diberikan.. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk masing masing nilai koordinat yang diberikan. Nilai error akan didapatkan apa bila robot bergerak serong atau bergeser.



(a) (b)



(c)

Gambar 13. Pengujian Gerak Maju (a) Posisi Robot sebelum bergerak (b) Posisi Robot bergerak 3cm (c) Posisi Robot bergerak 30cm

Tabel 2. Hasil Pengujian Gerak Maju 3cm

No.	Gerak Maju 3 cm	
	Hasil yang didapatkan (cm)	Error (cm)
1	4	1
2	3	0
3	4	1
4	3	0
5	3.5	0,5
Error rata-rata (cm)		0,5

Error rata-rata (%)	16,67
----------------------------	-------

Tabel 3. Hasil Pengujian Gerak Maju 5cm

Gerak Maju 5 cm		
No.	Hasil yang didapatkan (cm)	Error (cm)
1	6	1
2	5.5	0,5
3	4	1
4	5	0
5	5	0
Error rata-rata (cm)		0,5
Error rata-rata (%)		10

Tabel 4. Hasil Pengujian Gerak Maju 10cm

Gerak Maju 10 cm		
No.	Hasil yang didapatkan (cm)	Error (cm)
1	10	0
2	11	1
3	9	1
4	9.5	0,5
5	10.5	0,5
Error rata-rata (cm)		0,6
Error rata-rata (%)		6

Tabel 5. Hasil Pengujian Gerak Maju 20cm

Gerak Maju 20 cm		
No.	Hasil yang didapatkan (cm)	Error (cm)
1	21.5	1,5
2	19	1
3	21	1
4	20.5	0,5
5	19	1
Error rata-rata (cm)		0,8
Error rata-rata (%)		4

Tabel 6. Hasil Pengujian Gerak Maju 30cm

Gerak Maju 30 cm		
No.	Hasil yang didapatkan (cm)	Error (cm)
1	30	0
2	32	2
3	30	0
4	31	1

5	29	1
Error rata-rata (cm)		0,8
Error rata-rata (%)		2,67

Gambar 14. Respon Pengujian Gerak Maju

Berdasarkan hasil pengujian pada, dapat diketahui bahwa performa robot saat bergerak maju 3cm terdapat kesalahan rata-rata 16,67% atau 0.5cm dan saat bergerak maju 30cm terdapat kesalahan rata-rata 2,67% atau 0.8cm. Terjadinya kesalahan disebabkan pada saat robot berhenti, robot harus menyelesaikan satu program gerakan dan tidak adanya umpan balik pada robot dalam memperbaiki posisi, inilah yang menyebabkan robot tidak berhenti pada koordinat yang diinginkan.

Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan bertujuan untuk mengetahui penerapan metode pergerakan menggunakan implementasi *invrse kinematic* pada robot berkaki enam yang telah dirancang, selain itu juga untuk mengetahui apakah robot dapat bergerak lurus. Hasil dari pergerakan yang dilakukan berulang. Pengujian dilakukan dengan cara menjalankan robot ditempat datar. Parameter keberhasilan system adalah jika alat dapat berjalan lurus pada jalur terjauh dalam arena lomba KRPAI yaitu 244 cm yang ditunjukkan dalam gambar 5.8. Nilai error akan didapatkan apa bila robot bergerak serong atau bergeser dari jalur yang semestinya dan dihitung besar sudut ketika robot bergeser.

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Gerak Maju 244cm			
No.	Selisih dari titik tengah (cm)	Error (⁰)	Keterangan
1	14	3.51	Berhasil
2	10	2.35	Berhasil
3	-	-	Gagal, membentur dinding
4	5	1.17	Berhasil
5	-	-	Gagal, membentur dinding
6	13	3.15	Berhasil
Error rata-rata (⁰)		2.54	

Berdasarkan hasil pengujian pada table 7 dapat diketahui robot gagal menyelesaikan lintasan sebanyak dua kali karena membentur ke dinding lintasan. Performa robot saat bergerak menyelesaikan lintasan terdapat kesalahan rata-rata 2.54⁰ Terjadinya error pada saat robot berjalan berulang adanya akurasi atau ketepatan motor servo dalam memberikan nilai sudut sesuai dari hasil perhitungan, maupun dari bentuk mekanik robot dalam bergerak maju dan tidak adanya umpan balik pada robot dalam memperbaiki posisi, inilah yang menyebabkan robot tidak berhenti pada koordinat akhir yang diinginkan.

[5] KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis implementasi *inverse kinematic* pada pergerakan robot berkaki, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode pergerakan robot berkaki enam menggunakan persamaan *inverse kinematic* mampu membuat robot bergerak maju 3cm terdapat kesalahan rata-rata 16,67% atau 0.5cm dan saat bergerak maju 30cm terdapat kesalahan rata-rata 2,67% atau 0.8cm.
2. Metode pergerakan robot berkaki enam menggunakan persamaan *inverse kinematic* mampu membuat robot bergerak maju sejauh 244cm, dan robot bergerak serong atau bergeser dari jarak yang semestinya dengan kesalahan rata-rata 2.54⁰.
3. Sistem elektronika robot berkaki enam terdiri dari rangkaian catu daya mikrokontroler dengan menggunakan rangkaian *fixed output regulator* untuk kontrol servo dan rangkaian catu daya menggunakan modul UBEC, dimana rangkaian catu daya yang digunakan dapat menunjang penggunaan 18 buah motor servo.

4. Robot Berkaki Enam menggunakan mikrokontroler STM32F4 Discovery sebagai pengendali utama motor servo dengan metode kontrol multi servo, dan dapat mengolah nilai koordinat menggunakan persamaan *inverse kinematic* menjadi sudut untuk tiap motor servo.

DAFTAR PUSTAKA

- [6] DIKTI. 2013. *Panduan Kontes Robot Pemadam Api Indonesia 2013*. Jakarta: DIKTI.
- [7] Craig, John j. 2005. *Introduction to Robotics*. Pearson Prentice Hall.
- [8] Pitowarno, Endra. 2006. *Robotika: Desain, Kontrol dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- [9] STMicroelectronic. 2012. *STM32F4DISCOVERY, STM32F4 high performance discovery board*.
- [10] Wardana, Wahyu Febrian Eko. 2011. Penggunaan Sistem Tiga Sendi Pada Robot KRCI Divisi Berkaki Untuk Mengatasi Objek Uneven Floor. Malang: Skripsi Jurusan Teknik Elektro FT-UB.
- [11] Woering R. 2011. Simulating the “*first steps*” of a walking hexapod robot. University of Technology Eindhoven.

Eky Prasetya adalah mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (no telepon korespondensi penulis 085749529797; email andreaseky@gmail.com)

Waru Djuariatno adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Mochammad Rif'an adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia