

Penerapan *Trajectory Polynomial* dan *Inverse Kinematics* Untuk Pengaturan Langkah Berjalan Robot *Humanoid*

Rifki Firmansyah¹, Joko Subur², Suryadhi³, Muhammad Taufiqurrohman⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan UNIVERSITAS HANG TUAH
Jl. Arief R. Hakim No. 150 Surabaya INDONESIA

rifkifirmansyah421@gmail.com¹, joko.subur@hangtuah.ac.id²,
suryadhi@hangtuah.ac.id³,taufiqurrohman@hangtuah.ac.id⁴

Intisari— Robot *humanoid* adalah robot yang memiliki struktur menyerupai manusia dimana robot tersebut memiliki konstruksi kepala, badan, tangan dan kaki. Robot *humanoid* tersebut sering mengikuti sebuah *event* perlombaan yang diadakan oleh Kementerian Riset dan Teknologi Perguruan Tinggi. Salah satu *event* perlombaan yang diadakan ialah Kontes Robot Seni tari Indonesia (KRSTI). Pada perlombaan KRSTI, robot yang digunakan sering terjatuh dikarenakan kondisi dari bentuk permukaan lintasan KRSTI memiliki tekstur yang tidak rata atau bergelombang, sehingga dapat mengurangi poin penilaian. Berdasarkan permasalahan tersebut robot diharuskan dapat berjalan menggunakan pola melangkah yang stabil. Oleh karena itu pada perancangan sistem robot akan menerapkan metode *trajectory polynomial* dan *inverse kinematics*, sehingga pada kaki robot dapat bergerak mengikuti *walking trajectory* dalam koordinat kartesian untuk menghasilkan pola langkah barjalan. Dari hasil percobaan kaki robot menuju ke titik koordinat didapatkan nilai ketepatan pada kaki kanan sumbu X memiliki *error* rata-rata sebesar 0,5 %, dan sumbu Y memiliki *error* rata-rata 0,4 %. Kemudian hasil ketepatan untuk kaki kiri pada sumbu X memiliki *error* rata-rata sebesar 1,5 %, dan sumbu Y memiliki *error* rata-rata sebesar 0,4 %.

Keywords— Robot *Humanoid*, Pola Langkah, *Trajectory Polynomial*, *Inverse Kinematics*.

I. PENDAHULUAN

Robot *humanoid* adalah robot yang memiliki struktur menyerupai manusia dimana robot tersebut memiliki konstruksi kepala, badan, tangan dan kaki [1]. Robot *humanoid* ini dapat diciptakan dalam berbagai aktivitas, salah satu contohnya di Indonesia yakni robot penari dan robot sepak bola [2]. Robot tersebut banyak diminati oleh masyarakat, khususnya mahasiswa yang sedang melakukan riset serta menempuh pendidikan di tingkat atas, sehingga tidak jarang Kementerian Riset dan Teknologi Perguruan Tinggi mengadakan event perlombaan robot tingkat regional, nasional bahkan internasional [3].

Salah satu event perlombaan yang diadakan tiap tahunnya oleh Kementerian Riset dan Teknologi Perguruan Tinggi ialah Kontes Robot Seni tari Indonesia (KRSTI) [4]. KRSTI merupakan sebuah ajang perlombaan robotika yang diharuskan untuk merancang 2 robot *humanoid* yang memiliki kemampuan dapat mendengarkan musik pengiring untuk melakukan sebuah

gerakan tarian dan juga robot diharuskan dapat berjalan dari zona mulai hingga zona tutup [5]. Pada robot *humanoid* yang digunakan saat perlombaan divisi KRSTI terdapat banyak sekali permasalahan yang dihadapi oleh peserta lomba, khususnya pada robot KRSTI dari Universitas Hang Tuah Surabaya. Permasalahan yang sering dialami adalah robot yang digunakan sering terjatuh dikarenakan kondisi dari bentuk permukaan lintasan KRSTI memiliki tekstur yang tidak rata atau bergelombang, sehingga dapat mengurangi poin penilaian. Oleh karena itu permasalahan diatas merupakan kendala yang harus diselesaikan oleh robot *humanoid* dalam membuat pola pergerakan melangkah ketika berjalan di jalur lintasan perlombaan KRSTI.

Beberapa metode yang mendukung untuk menyelesaikan permasalahan yang ada pada robot *humanoid*. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wicaksono, menjelaskan bahwa pergerakan dari robot berkaki dapat dibuat sebuah jalur lintasan gerak dengan menerapkan metode *trajectory polynomial*. Hasil dari penelitian ini adalah kaki robot dapat mengikuti jalur lintasan gerak dengan membentuk kurva lengkung [6]. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Aknorita dkk, menjelaskan bahwa pergerakan dari kaki robot *humanoid* dapat bergerak mengikuti jalur lintasan berbentuk kurva bazier yang dihasilkan oleh *trajectory polynomial* [7]. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fahmizal, menjelaskan bahwa robot dapat mengikuti jalur lintasan gerak yang dibuat oleh metode *trajectory* [8].

Kemudian pada penelitian lain yang dilakukan oleh Andianto, menjelaskan bahwa robot *humanoid* dapat menerapkan metode *inverse kinematics* sebagai perhitungan gerak kaki secara keseluruhan, yang hanya berdasarkan dari titik tujuan koordinat [3]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Aknorita dkk, dimana metode *inverse kinematics* digunakan untuk menentukan besar sudut pada setiap joint dari kaki robot *humanoid*. Sehingga titik tujuan dari kaki robot dapat mengacu pada titik koordinat kartesian [6]. Penerapan metode *inverse kinematics* juga dikembangkan oleh Widia dan Risfendra, dimana metode tersebut digunakan untuk menentukan seluruh pergerakan kaki robot *humanoid* dengan menggunakan model proyeksi bidang kartesian ruang 3 dimensi yaitu x, y, dan z [9]. Kemudian menurut Khomariah dan Huda bahwa metode *inverse*

kinematics mampu diimplementasikan ke kaki *Quadruped* robot. Sehingga hanya dengan input koordinat dapat menggerakkan keseluruhan kaki robot [10].

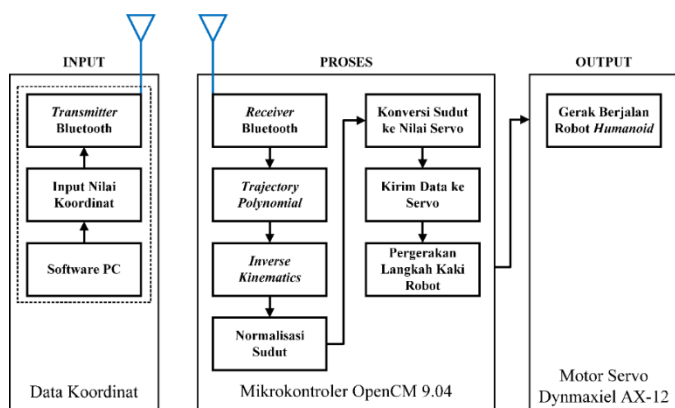
Oleh karena itu berdasarkan permasalahan diatas dengan mengacu beberapa referensi dari penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini akan dilakukan sebuah penerapan dari metode *trajectory polynomial* dan *inverse kinematics* untuk pengaturan gerak langkah berjalan kaki robot *humanoid* yang digunakan pada ajang perlombaan KRSTI. Sehingga diharapkan robot dapat berjalan melangkah dengan dibuat sebuah lintasan gerak dalam koordinat kartesian dari *trajectory polynomial* dan untuk membuat keseluruhan dari sendi kaki robot agar dapat bergerak berdasarkan titik tujuan koordinat yaitu dengan menggunakan metode *inverse kinematics*. Dengan demikian ketika menerapkan kedua metode tersebut robot *humanoid* dapat melakukan pola gerak berjalan melangkah dengan lebih stabil di berbagai kondisi permukaan lintasan KRSTI. Dan juga dapat meningkatkan laju jalan pada robot *humanoid* Seni Tari Universitas Hang Tuah Surabaya.

II. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai perancangan metode *trajectory polynomial* dan *inverse kinematics* yang akan digunakan sebagai pengaturan langkah berjalan robot *humanoid*, dengan menggunakan sendi penggerak berupa aktuator motor servo. Pada 1 kaki terdiri dari 6 sendi sehingga untuk total keseluruhan pada 2 kaki robot *humanoid* (kanan dan kiri) sejumlah 12 motor servo. Dari keseluruhan motor servo yang ada di robot *humanoid* nantinya akan di kendalikan oleh mikrokontroler OpenCM 9.04.

A. Diagram Blok Sistem

Pada perancangan diagram blok ini akan di buat sebuah alur dari perancangan sistem yang akan digunakan untuk menerapkan metode *trajectory polynomial* dan *inverse kinematics* sebagai pengaturan gerak langkah robot *humanoid*. Berikut ini merupakan diagram blok sistem dapat ditunjukkan pada Gbr. 1.



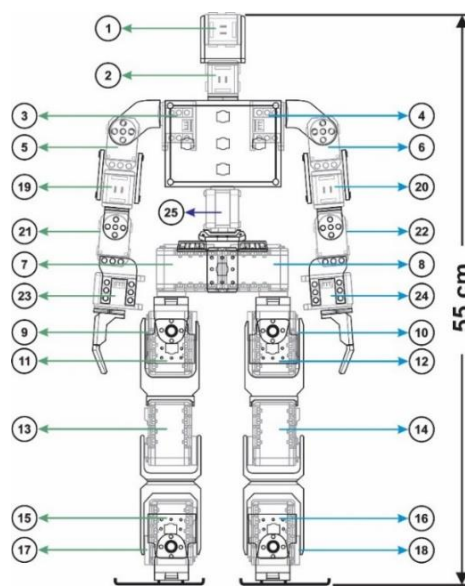
Gbr. 1 Diagram blok sistem

Pada Gbr. 1 adalah sebuah alur diagram blok dari penerapan metode *trajectory polynomial* dan *inverse kinematics* sebagai pengaturan gerak langkah berjalan robot *humanoid*. Dan dari

diagram blok tersebut terdapat 3 bagian untuk mewakili dari sistem kerja yang akan di buat yaitu input, proses, dan output. Untuk blok input terdapat sebuah nilai koordinat yang dapat diinputkan dari *Software PC*. Kemudian dari input koordinat tersebut akan dikirim menggunakan *interface bluetooth* ke mikrokontroler OpenCm 9.04 untuk diproses komputasi metode *trajectory polynomial* dan *inverse kinematics*. Untuk input data koordinat akan diterima terlebih dahulu oleh *trajectory polynomial*, sehingga dari metode tersebut akan membuat titik - titik jalur lintasan gerak berbentuk kurva lengkung dalam koordinat kartesian. Dan dari titik – titik jalur lintasan gerak tersebut akan dilanjutkan ke metode *inverse kinematics* untuk mengubah dari titik koordinat kartesian menjadi derajat gerak pada sendi kaki robot. Sehingga pada kedua metode tersebut ketika digabungkan akan dapat membuat sebuah pola pergerakan melangkah dengan kaki robot tersebut bergerak mengikuti jalur lintasan yang dihasilkan oleh *trajectory polynomial*.

B. Desain Perancangan Hardware

Dari penelitian ini, desain perancangan *hardware* akan berfokus untuk merancang sebuah robot *humanoid* yang akan digunakan pada perlombaan KRSTI. Dari perancangan robot *humanoid* yang sesungguhnya juga diharuskan sesuai dengan spesifikasi aturan perlombaan KRSTI. Berikut ini pada Gbr. 2 merupakan desain dari robot *humanoid* secara keseluruhan beserta jumlah DoF (*Degree of Freedom*), dan ukuran tinggi robot.

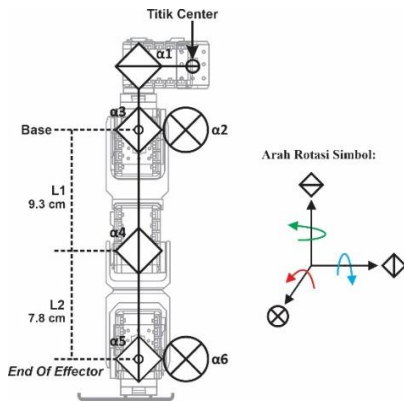


Gbr. 2 Desain Keseluruhan Robot *Humanoid* Tampak Depan

C. Perancangan Metode Inverse Kinematics

Pada perancangan metode *inverse kinematics* ini digunakan pada kaki robot *humanoid* dengan derajat gerak kebebasan adalah 6 DoF (*Degree of Freedom*). Sebelum formula penyelesaian *inverse kinematics* didapat, maka diperlukannya sebuah analisis kinematika dari bagian 1 kaki robot *humanoid* (kaki kanan). Jika sudah didapat formula untuk 1 kaki robot, maka untuk kaki yang lain (kaki kiri) dapat menggunakan

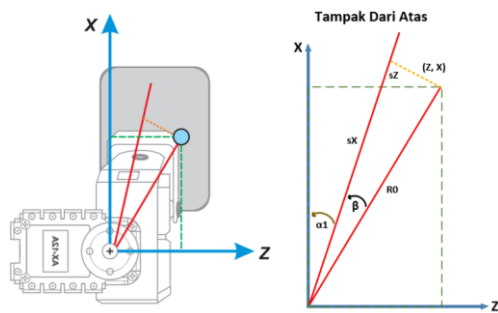
formula *inverse kinematics* yang sama. Kemudian kaki robot juga harus diketahui orientasi arah gerak pada tiap – tiap sendi, hal tersebut bertujuan agar hasil dari penerapan *inverse kinematics* dapat menggerakkan kaki robot menuju ke titik koordinat yang sesuai. Berikut ini pada Gbr. 3 merupakan arah rotasi gerak yang dilihat pada bagian depan kaki robot.



Gbr. 3 Kinematika dan Arah Rotasi Gerak

Berdasarkan dari Gbr.3 dapat diketahui untuk tata letak dan rotasi gerak pada masing – masing servo atau sendi kaki robot. Untuk servo yang digunakan pada bagian 1 kaki robot *humanoid* sejumlah 6 DoF. Kemudian dapat diketahui juga untuk nilai dari panjang joint kaki robot (L1, dan L2), posisi *base* serta *End of Effector*.

Untuk mempermudah perhitungan *inverse kinematics* yang diterapkan pada bagian kaki robot *humanoid*, dapat dicari besar sudut pada masing – masing konfigurasi setiap sendinya. Oleh karena itu dibuatlah beberapa model ilustrasi kinematika kaki robot. Ilustrasi tersebut dapat dibuat dengan melihat segala arah orientasi kaki robot (Tampak Atas, Tampak Depan, dan Tampak Samping). Berikut ini pada Gbr. 4 merupakan gambar kaki robot *humanoid* tampak atas beserta ilustrasi model kinematika.



Gbr. 4 Kaki Robot Tampak Atas dan Ilustrasi Model Kinematika

Berdasarkan Gbr. 4 dapat diperoleh persamaan pada posisi ujung kaki ketika dilihat dari sudut pandang bagian atas yang dituliskan pada Persamaan (1) sampai Persamaan (5).

$$\alpha1 = \theta_H \quad (1)$$

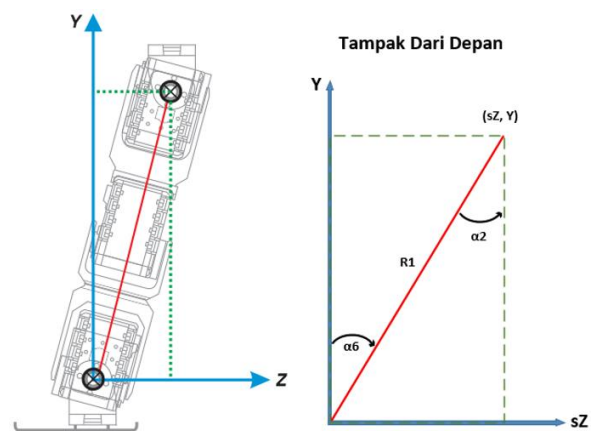
$$R0 = \sqrt{X^2 + Z^2} \quad (2)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{Z}{X} \right) - \alpha1 \quad (3)$$

$$Sz = R0 \times \sin(\beta) \quad (4)$$

$$Sx = R0 \times \cos(\beta) \quad (5)$$

Setelah didapat persamaan dari sudut pandang bagian atas kaki robot, maka untuk variabel $\alpha1$ dapat digunakan sebagai pengatur derajat putar dari servo ID 7. Yang mana pada servo ID 7 ialah digunakan sebagai pengaturan arah hadap berjalan dari robot *humanoid*. Hal tersebut dikarenakan dari servo ID 7 teretak pada bagian atas dan memiliki arah putar terhadap sumbu koordinat X, Z. Kemudian pada servo ID 7 juga berpengaruh pada variabel $\alpha1$, yang mana variabel tersebut memiliki sebuah parameter nilai θ_H . Yang mana nilai tersebut merupakan nilai heading atau sebuah parameter yang bisa di isikan secara langsung sebuah konstanta derajat (0° sampai 360°). Untuk selanjutnya beralih ke sudut pandang dari bagian depan kaki robot *humanoid*, yang dapat ditunjukkan pada Gbr. 5.



Gbr. 5 Kaki Robot Tampak Depan dan Ilustrasi Model Kinematika

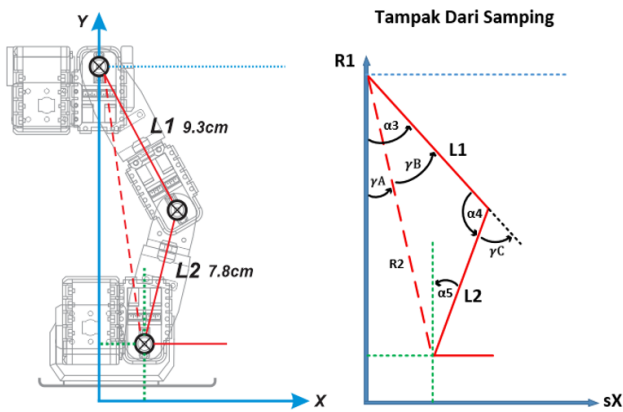
Berdasarkan Gbr. 5 dapat diperoleh persamaan posisi ujung kaki pada bidang Z, Y yang ditunjukkan oleh Persamaan (6), (7), dan (8).

$$\alpha2 = \tan^{-1} \left(\frac{sZ}{Y} \right) \quad (6)$$

$$R1 = \sqrt{Y^2 + sZ^2} \quad (7)$$

$$\alpha6 = -\alpha2 \quad (8)$$

Dari Persamaan (6) dan (8) merupakan hasil perhitungan *inverse kinematics* yang digunakan untuk mengatur derajat pergerakan servo pada kaki robot di bagian ID 9 menggunakan $\alpha2$ dan ID 17 menggunakan $\alpha6$. Nilai sudut yang dihasilkan antara nilai $\alpha2$ dan $\alpha6$ adalah sama, namun orientasi perputaran servo berbeda. Hal ini disebabkan konfigurasi kaki robot yang mengharuskan telapak kaki harus tetap mendatar agar robot dapat berdiri menapak, sehingga hanya dilakukan pengubahan nilai dari positif ke negatif. Kemudian untuk analisis yang selanjutnya ialah sudut pandang diubah menjadi tampak samping dari kaki robot *humanoid*. Dan untuk kaki robot tampak samping beserta model kinematika dapat ditunjukkan pada Gbr.6.



Gbr. 6 Kaki Robot Tampak Samping dan Ilustrasi Model Kinematika

Berdasarkan Gbr.6 dapat diperoleh persamaan posisi ujung kaki pada bidang X, Y yang ditunjukkan oleh Persamaan (9) sampai Persamaan (15).

$$R2 = \sqrt{R1^2 + sX^2} \quad (9)$$

$$sC = \cos^{-1} \left(\frac{L1^2 + L2^2 - R2^2}{2 \times L1 \times L2} \right) \quad (10)$$

$$sA = \sin^{-1} \left(\frac{X}{R2} \right) \quad (11)$$

$$sB = \sin^{-1} \left(\frac{L2 \times \sin(sC)}{R2} \right) \quad (12)$$

$$\alpha3 = 0 - (sA + sB) \quad (13)$$

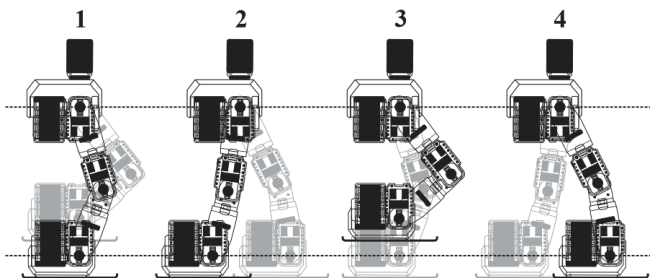
$$\alpha4 = 180 - sC \quad (14)$$

$$\alpha5 = \alpha3 + \alpha4 \quad (15)$$

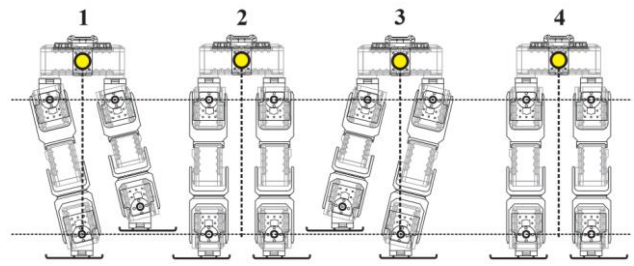
Pada penyelesaian akhir dari persamaan inverse kinematics maka didapat penghasil derajat gerak dari servo yang terakhir yaitu pada ID 11 menggunakan $\alpha3$, ID 13 menggunakan $\alpha4$, ID 15 menggunakan $\alpha5$.

D. Perancangan Walking Gait Robot Humanoid

Pada perancangan walking gait robot *humanoid* ini akan dibuat sebuah tahapan pola pergerakan dari robot agar dapat berjalan melangkah. Berikut ini akan ditampilkan ilustrasi tahapan untuk perancangan gerak dari *walking gait* tampak samping pada Gbr.7 dan tampak depan pada Gbr.8.



Gbr. 7 Walking Gait Robot Humanoid Tampak Samping



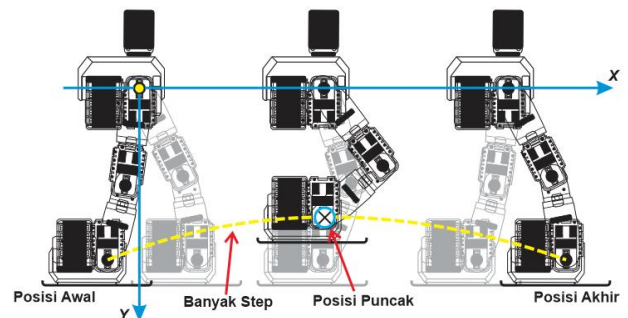
Gbr. 8 Walking Gait Robot Humanoid Tampak Depan

E. Perancangan Walking Trajectory Polynomial

Dari perancangan ini merupakan sebuah penerapan dari metode *trajectory polynomial* yang digunakan untuk membuat pola langkah kaki robot *humanoid*. Tentunya *trajectory* ini hanya digunakan sebagai pembuat lintasan gerak, kemudian untuk yang menghasilkan sebuah derajat gerak dari kaki robot ialah *inverse kinematics*. Oleh karena itu diperlukannya penggabungan dari kedua metode tersebut untuk membuat pola langkah kaki robot pada saat berjalan. Berikut ini ditunjukkan pada Persamaan 16 terdapat sebuah rumus dari metode *trajectory polynomial* yang digunakan sebagai pembuat lintasan gerak melangkah dari robot.

$$P(t)_{x,y,z} = (1-t)^3 P1_{x,y,z} + 3t(1-t)^2 P2_{x,y,z} + 3t^2(1-t) P3_{x,y,z} + t^3 P4_{x,y,z} \quad (16)$$

Berdasarkan dari persamaan *trajectory polynomial* diatas maka input yang diberikan berupa titik tujuan koordinat dari kaki robot, yaitu titik tujuan awal, puncak, dan akhir. Kemudian dari *trajectory polynomial* akan membuat sebuah lintasan gerak dengan bentuk grafik lengkung dalam koordinat kartesian. Kemudian untuk memperjelas dari hasil perhitungan *trajectory polynomial* yang menghasilkan sebuah lintasan gerak dari kaki robot *humanoid* ketika melangkah, ditunjukkan pada Gbr. 9.



Gbr. 9 Walking Trajectory Robot Humanoid

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

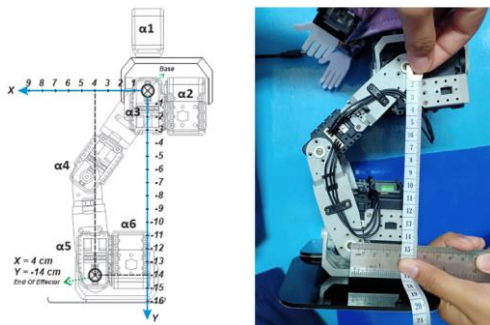
Pada bab ini akan menjelaskan hasil pengujian dan analisa mengenai rancangan yang telah dibuat. Pengujian dan analisa yang dilakukan tersebut terkait dengan pengujian penerapan metode pada robot *humanoid*, sampai performa sistem secara keseluruhan sesuai dengan yang diharapkan. Metode yang diterapkan pada robot *humanoid* yaitu *trajectory polynomial* dan *inverse kinematics*, dimana metode tersebut akan digunakan untuk mengatur gerak langkah berjalan.

A. Pengujian Inverse Kinematics

Pengujian *inverse kinematics* dilakukan dengan memberikan masukan titik koordinat kartesian (X dan Y) pada masing – masing kaki robot *humanoid*. Untuk mengetahui kaki robot tersebut sudah bergerak menuju ke koordinat masukan ialah dengan mengukur bagian *End of Effector* terhadap *base*. Untuk mengetahui *error* pada setiap kaki ketika sudah menuju ke titik koordinat ialah dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (17).

$$Error = \frac{Masukan - Keluaran}{Masukan} \times 100\% \quad (17)$$

Selanjutnya akan ditunjukkan untuk pengujian *inverse kinematics* kaki kiri dengan dimasukkan nilai sumbu koordinat X = 4, Y = -14, dan Z = 0. Untuk gambar pengujian dan ilustrasi pengukuran dapat ditampilkan pada Gbr.10.



Gbr. 10 Pengujian Inverse Kinematics Kaki Kiri

Pada pengujian *inverse kinematics* kaki kiri akan dilakukan sebanyak 5 kali untuk melihat hasil rata – rata pengujian. Dan hasil pengujian dapat ditampilkan pada Tabel 2.

TABEL I
HASIL DATA PENGUJIAN INVERSE KINEMATICS KAKI KIRI

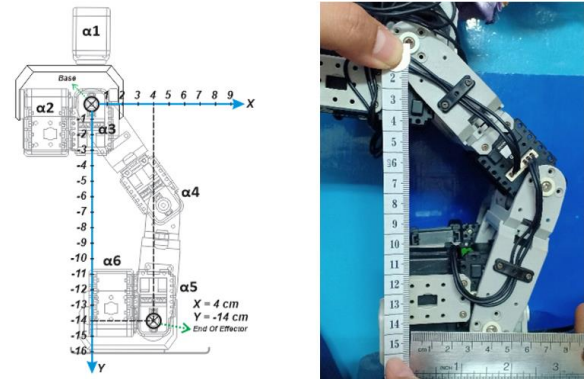
No	Input Koordinat (Cm)		Hasil Pergerakan Kaki (Cm)		Selisih (Cm)	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	4	-14	4	-14	0	0
2	4	-14	4	-14,1	0	0,1
3	4	-14	4,1	-14,1	0,1	0,1
4	4	-14	4	-14	0	0
5	4	-14	4	-14,1	0	0,1
rata - rata			4.02	-14.06	0.02	0.06

Berdasarkan dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa dari masukan koordinat yang sudah diterima oleh sistem dan kaki robot yang bergerak menuju titik koordinat tujuan tersebut, terdapat selisih yaitu sebesar koordinat X = 0.06 dan Y = 0.06. Sehingga untuk persentase nilai error dapat dihitung sebagai berikut ini.

$$Error X = \frac{4 - 4.06}{4} \times 100\% = 1.5\%$$

$$Error Y = \frac{-14 - (-14.06)}{-14} \times 100\% = 0.4\%$$

Setelah diketahui persentase *error* kaki kiri pada sumbu X = 1.5% dan sumbu Y = 0.4% maka robot dapat dikatakan kaki robot mampu untuk bergerak hanya berdasarkan input koordinat dengan menggunakan metode *inverse kinematics*. Selanjutnya akan ditunjukkan untuk pengujian *inverse kinematics* kaki kanan dengan dimasukkan nilai sumbu koordinat X = 4, Y = -14, dan Z = 0. Untuk gambar pengujian dan ilustrasi pengukuran dapat ditampilkan pada Gbr.11.



Gbr. 11 Pegujian Inverse Kinematics Kaki Kanan

Pada pengujian *inverse kinematics* kaki kanan akan dilakukan sebanyak 5 kali untuk melihat hasil rata – rata pengujian. Dan hasil pengujian dapat ditampilkan pada Tabel 3.

TABEL II
HASIL DATA PENGUJIAN INVERSE KINEMATICS KAKI KANAN

No	Input Koordinat (Cm)		Hasil Pergerakan Kaki (Cm)		Selisih (Cm)	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	4	-14	4	-14,1	0	0,1
2	4	-14	4	-14	0	0
3	4	-14	4,1	-14,1	0,1	0,1
4	4	-14	4,1	-14	0,1	0
5	4	-14	4,1	-14,1	0,1	0,1
rata - rata			4.06	-14.06	0.06	0.06

Berdasarkan dari Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa dari masukan koordinat yang sudah diterima oleh sistem dan kaki robot yang bergerak menuju titik koordinat tujuan tersebut, terdapat selisih yaitu sebesar koordinat X = 0,02 dan Y = 0,06. Sehingga untuk persentase nilai error dapat dihitung sebagai berikut ini.

$$Error X = \frac{4 - 4,02}{4} \times 100\% = 0,5\%$$

$$Error Y = \frac{-14 - (-14,06)}{-14} \times 100\% = 0,4\%$$

B. Pengujian Walking Trajectory Polynomial

Pada pengujian ini sebelumnya telah didapat nilai parameter trajectory yang optimal. Untuk parameter yang dimaksud ialah tinggi langkah = 3 Cm, faktor iterasi = 0,03 dan panjang langkah 3 Cm. Kemudian akan dilakukan pengujian berjalan robot dengan diberikannya nilai jarak tempuh yang berbeda-beda. Hal tersebut digunakan untuk mengetahui kemampuan dan akurasi robot pada saat berjalan dengan jarak tempuh yang berbeda-beda. Berikut ini akan ditunjukkan keseluruhan data dari rata – rata hasil jarak tempuh dan selisih jarak pada pengujian *walking trajectory polynomial*. Dan berikut ini pada Tabel 4 merupakan hasil pengujian robot secara keseluruhan.

TABEL III
HASIL DATA WALKING TRAJECTORY POLYNOMIAL.

Uji Ke	Target Jarak Tempuh	Kestabilan Robot	Rerata Hasil Jarak Tempuh	Rerata Selisih Jarak
1	9 Cm	Stabil	8,78 Cm	0,22 Cm
2	12 Cm	Stabil	11,9 Cm	0,1 Cm
3	18 Cm	Stabil	17,4 Cm	0,6 Cm
4	24 Cm	Stabil	22,6 Cm	1,4 Cm
5	36 Cm	Stabil	33,32 Cm	2,68 Cm
6	60 Cm	Stabil	58,4 Cm	1,6 Cm

Berdasarkan dari Tabel 4 yang merupakan data keseluruhan untuk gerak berjalan robot dengan jarak tempuh yang bervariasi dapat disimpulkan bahwa, dari gerak berjalan robot yang menerapkan pola melangkah dengan menggunakan metode *inverse kinematics* dan *trajectory polynomial* sudah mampu untuk menuju ke target jarak tempuh. Akan tetapi dari pergerakan robot masih terdapat selisih jarak tempuh terkecil 0,1 Cm dan terbesar 2,68 Cm.

IV. PENUTUP

Berdasarkan hasil yang diperoleh melalui proses pengujian dan analisis maka pada bab kali ini disimpulkan bahwa metode *trajectory polynomial* dan *inverse kinematics* sudah mampu diterapkan pada robot *humanoid* hingga robot telah mampu berjalan melangkah. Dan untuk pengujian berjalan robot yang digunakan untuk mencari parameter *trajectory polynomial* yang paling optimal ialah didapat panjang langkah 3 cm, faktor iterasi 0,03, dan tinggi langkah 3 cm. Kemudian dari parameter tersebut ketika diuji berjalan dengan target jarak tempuh sebesar 24 cm akan mendapatkan waktu tempuh sebesar 00.24 detik, dan hasil jarak tempuh robot ialah sebesar 23,5 cm selisih 0,5 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan masukan, saran, serta arahnya selama penelitian berlangsung hingga terselesaikannya penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada koordinator robotika Universitas Hang

Tuah yang telah mendukung penuh atas kebutuhan penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Thamrin dan W.P. Ulfa. “Perancangan Pergerakan Kaki Robot *Humanoid* Menggunakan Servo Dynamixel Berbasis OpenCM 9.04.” *Jurnal VoteTeknika.*, vol.7, no.3, pp. 76 – 84. Sept. 2019.
- [2] D. A. Prayoga, T. Prahasto, and A. Widodo. “Walking Pattern Generation Robot *Humanoid* Menggunakan Linear Inverted Pendulum.” *Jurnal Teknik mesin.*, vol. 11, no. 3, pp. 77 – 80. July. 2023
- [3] R. Andianto, M. Rizal, and E. S. Gembong. “Perancangan dan Implementasi Sistem Pola Berjalan Pada Robot *Humanoid* Menggunakan Metode *Inverse Kinematic*.” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer.*, vol.2, no.8, pp. 2753 - 2759. August. 2018.
- [4] M. I. Bustami. “Pemanfaatan Sensor 3 Axis Gyroscope Pada Robot Seni Tari Berbasis Raspberry Pi.” *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi, Teknologi Informasi, dan Sistem Komputer.*, vol. 14, no. 1, pp. 23 – 34. April. 2019.
- [5] M. A. Fahd, D. Purwanto, and M. H. Fatoni. “Rancang Bangun Robot *Humanoid* dengan 25 DoF untuk Melakukan Gerakan Tari Remo.” *Jurnal Teknik ITS.*, vol. 2, no. 2. Nov. 2018.
- [6] A. Wicaksono. 2022. Penerapan *Trajectory Polynomial* Dan *Inverse Kinematics* Pada Pergerakan Robot Berkaki Enam (*Hexapod*) [Laporan Tugas Akhir]. Surabaya: Universitas Hang Tuah Surabaya.
- [7] E. F. Aknorita, R. Indarti, and D. P. Riananda, “Optimasi Lintasan Berjalan Menggunakan *Inverse Kinematics* dan Pendekatan Polinomial Pada Robot Seni Tari Indonesia,” *Jurnal Conference Automation Engineering and Its Application.*, vol.1, pp. 29 – 33, July. 2022.
- [8] Fahmizal, U.R. Dhiya, dkk. 2019. “*Trajectory Tracking* pada Robot Omni dengan Metode *Odometry*.” *Jurnal Teknik Elektro dan Teknologi Informasi.*, vol.8, no.1, pp. 35 – 44. Feb. 2019.
- [9] F. Widia and Risyandra. “Penerapan Metode *Invers Kinematic* pada Rancangan Pergerakan Kaki Robot *Humanoid*.” *Jurnal Teknik Elektro Indonesia.*, vol.2, no.1, pp. 128 – 135. May. 2021.
- [10] N. E. Khomariah, and S. Huda. “Implementasi *Inverse Kinematics* pada *Quadruped Robot*.” *Jurnal Ilmu Komputer dan Desain Komunikasi Visual.*, vol.3, no. 1, pp. 12 – 22. July. 2018.