

## Optimasi Lintasan Berjalan Menggunakan Inverse Kinematik Dan Pendekatan Polinomial Pada Robot Seni Tari Indonesia

Erin Fitri Aknorita<sup>1</sup>, Rini Indarti<sup>2</sup>, Dimas Pristovani Riananda<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

\*E-mail : erinfritri@student.ppns.ac.id

### Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang gencar-gencarnya mengembangkan robot. Hal ini dapat dilihat dari diselenggarakannya Kontes Robot Indonesia setiap tahun oleh Kemendikbud. Salah satu kategorinya yaitu Kontes Robot Seni Tari Indonesia (KRSTI). Robot KRSTI merupakan *humanoid robot* yang terdiri dari 12 DoF. Dalam kontes ini, robot harus menari sesuai zona yang ditentukan. Tetapi ketika robot terjatuh, robot akan dikenakan pengurangan nilai. Oleh sebab itu, diperlukan *walking trajectory* agar robot berjalan dengan baik. Metode *inverse kinematic* digunakan untuk mengontrol servo yang berjumlah banyak. Metode pendekatan polinomial dengan kurva Bezier digunakan untuk membentuk *walking trajectory robot*. Dari pengujian yang dilakukan, tingkat keberhasilan metode *inverse kinematic* mencapai 99.98%. Kaki robot dapat bergerak sesuai posisi data yang diinputkan pada bidang X, Y, Z, dan H tanpa harus memasukkan nilai sudut servo satu persatu. Tingkat keberhasilan mengakses protokol secara *broadcast* untuk membentuk posisi *default* yaitu 99.99%. Tiap-tiap servo dapat bergerak membentuk sudut tertentu sesuai nilai yang diinputkan. Robot juga dapat berdiri dan tidak terjatuh saat dilepaskan mulai dari posisi berdiri tegak sampai posisi jongkok. Tingkat keberhasilan metode pendekatan polinomial menggunakan kurva Bezier yaitu sebesar 100% dimana setiap servo pada kaki robot dapat bergerak membentuk kurva Bezier. Pola gerakan ini kemudian ditunjukkan dengan grafik *output*.

**Kata Kunci** : *inverse kinematic, servo dynamixel, walking trajectory, pendekatan polynomial*

### 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang saat ini sedang gencar-gencarnya mengembangkan robot. Hal ini dapat dilihat dari adanya sebuah Kontes Robot Indonesia yang diselenggarakan setiap tahun oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia. Salah satu kategori yang dipertandingkan yaitu Kontes Robot Seni Tari Indonesia (KRSTI).

Dalam Kontes Robot Seni Tari Indonesia, robot yang digunakan yaitu dua buah robot berbentuk manusia yang memiliki derajat kebebasan tertentu. Robot ini diharuskan untuk memperagakan tarian tradisional sesuai dengan tema pada saat itu. Robot dipertandingkan dalam sebuah arena berukuran 1.2 meter x 2.4 meter. Arena ini dibagi menjadi 3 zona yang ditandai dengan warna cat yang berbeda. Pada setiap zona, robot diharuskan untuk memperagakan gerakan tarian tertentu. Kesesuaian gerakan tarian dengan zonanya akan membuat robot tersebut mendapat poin dalam penilaian. Akan tetapi ketika robot tersebut terjatuh, maka robot akan dikenakan pengurangan skor. Ketika robot semakin sering terjatuh, maka kecil kemungkinan untuk dapat memenangkan Kontes Robot Seni Tari

Indonesia tersebut. Untuk itu perlu diperhatikan faktor apa saja yang menjadi penyebab ketidakmampuan robot untuk berjalan dengan baik.

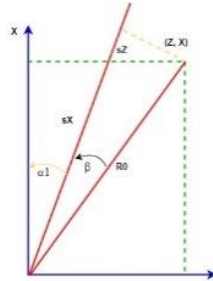
Untuk membuat sebuah *humanoid robot* yang dapat bergerak layaknya manusia diperlukan adanya sendi. Hal ini bertujuan untuk menciptakan gerakan yang *fleksible*. Sendi dapat diibaratkan sebagai *Degree of Freedom* atau derajat kebebasan. Pada robot *humanoid* ini, persendian dibuat dari servo Dynamixel MX-28 dan Dynamixel AX-12. Robot ini terdiri dari 6 derajat kebebasan pada setiap kakinya sehingga membutuhkan 2 buah Dynamixel MX-28 dan 4 buah Dynamixel AX-12 pada bagian kaki kiri dan kanan. Dengan begitu total persendian atau derajat kebebasan pada bagian kaki adalah 12 DoF. Dengan menggunakan servo yang jumlahnya cukup banyak ini, maka akan susah jika mengatur putaran sudut untuk setiap derajat kebebasan. Untuk itu digunakanlah metode *Inverse Kinematic* untuk memudahkan pengaturan putaran setiap derajat kebebasan. Robot ini juga harus dapat berjalan layaknya manusia. Robot ini harus dapat beradaptasi dengan permukaan arena pertandingan yang terkadang tidak rata akibat kesalahan ketika proses

pembuatan lapangan. Dengan adanya permasalahan ini, maka dibuatlah sebuah sistem kontrol berupa pembuatan lintasan berjalan atau *Walking Trajectory System* yang optimal menggunakan pendekatan polynomial sehingga robot dapat berjalan stabil pada arena pertandingan.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Inverse Kinematik

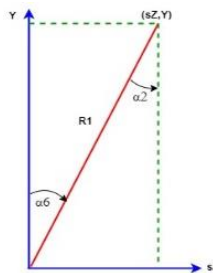
Pada robot ini, bagian *base* adalah bagian pinggul robot dan bagian *end-effector* adalah bagian *ankle* robot. *Inverse kinematic* ini menggunakan 6 DoF (*Degree of Freedom*) dengan pemodelan menggunakan pendekatan geometri segitiga. Dalam *inverse kinematic* ini, terdapat kondisi *input* dari *ankle* yaitu, Koordinat X, Y, Z dan Heading. Model kinematika tampak atas dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** Model Kinematik Tampak Atas

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

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



**Gambar 2** Model kinematik Tampak Depan

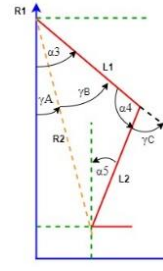
$$\beta = \tan^{-1}(Z/X) - \alpha1 \quad (3)$$

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

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

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

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



**Gambar 3** Model kinematik Tampak Samping

**Gambar 4** Model kinematik Tampak Samping

$$R2 = \sqrt{R1^2 + sX^2} \quad (8)$$

$$sC = \cos^{-1} \left( (L1^2 + L2^2 - R2^2) / (2 \times L1 \times L2) \right) \quad (9)$$

$$sA = \sin^{-1}(X/R2) \quad (10)$$

$$sB = \sin^{-1}(L2 \times \sin \gamma C / R2) \quad (11)$$

$$\alpha3 = 0 - (sA + sB) \quad (12)$$

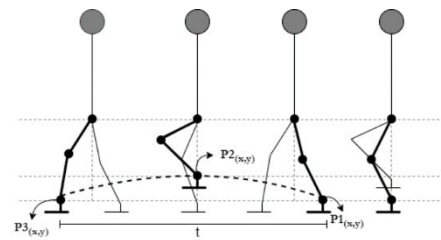
$$\alpha4 = 180 - sC \quad (13)$$

$$\alpha5 = \alpha3 + \alpha4 \quad (14)$$

$$\alpha6 = -\alpha2 \quad (15)$$

### 2.2 Lintasan Berjalan Menggunakan Pendekatan Polinomial

Lintasan berjalan robot akan dibagi menjadi dua bagian, tampak samping (bidang X Y) dan tampak depan (bidang Z Y H). Untuk setiap langkahnya akan digunakan 2 *step*. *Step* pertama merupakan posisi dari *Double Support Phase* (DSP) menuju *Single Support Phase* (SSP). *Step* kedua yaitu posisi dari *Single Support Phase* (SSP) menuju posisi *Double Support Phase* (DSP). *Double Support Phase* merupakan posisi saat kedua kaki robot berada pada lintasan sedangkan *Single Support Phase* merupakan posisi saat hanya salah satu kaki robot yang berada pada lintasan. Rancangan lintasan berjalan robot dapat di lihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.

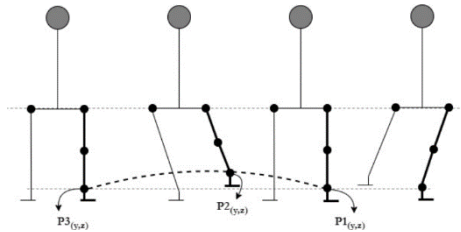


**Gambar 5** Lintasan Berjalan Tampak Samping

Pada lintasan berjalan tampak samping ini terdapat 2 persamaan yaitu pada bidang X dan pada bidang Y. Adapun persamaan kurva kuadratik Bezier yang digunakan yaitu:

$$B(t) = (1-t)^2 P_{0x} + 2(1-t)t P_{1x} + t^2 P_{2x} \quad (16)$$

$$B(t) = (1-t)^2 P_{0y} + 2(1-t)t P_{1y} + t^2 P_{2y} \quad (17)$$



**Gambar 6** Lintasan Berjalan Tampak Depan

Pada lintasan berjalan tampak depan ini terdapat 2 persamaan yaitu pada bidang Y dan pada bidang Z. Adapun persamaan kurva kuadrat Bezier yang digunakan yaitu:

$$B(t) = (1-t)^2 P_{0y} + 2(1-t)t P_{1y} + t^2 P_{2y} \quad (18)$$

$$B(t) = (1-t)^2 P_{0z} + 2(1-t)t P_{1z} + t^2 P_{2z} \quad (19)$$

Dalam pembuatan lintasan berjalan robot ini digunakan pendekatan polinomial. Polinomial merupakan pernyataan matematis yang berhubungan dengan jumlahan perkalian pangkat dalam satu atau lebih variable dengan koefisien. Pada penelitian ini polinomial yang digunakan yaitu kurva bezier. Hal ini dikarenakan dalam membuat lintasan berjalan dibutuhkan persamaan yang dapat membentuk pola atau kurva seperti pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

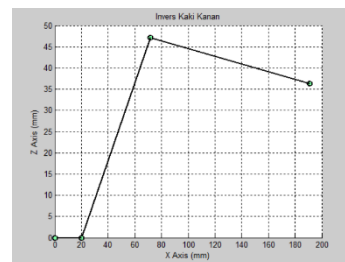
Pengujian dilakukan beberapa tahap. Sebelum melakukan pengujian Inverse Kinematic dan *Walking Trajectory*, terlebih dahulu dilakukan pengujian protokol pengiriman data dan pengujian posisi *default*. Pengujian protokol pengiriman data dilakukan dengan cara mengirimkan posisi tertentu ke servo dynamixel kemudian data posisi dibaca kembali menggunakan *software Dynamixel Wizard*. Hasilnya diperoleh 13 data untuk servo dynamixel MX-28 dengan persentase *error* rata-rata 0.21% dan 11 data untuk servo dynamixel AX-12 dengan persentase *error* rata-rata 0.23%.

Selanjutnya dilakukan pengujian posisi *default* robot. Pengujian dilakukan dengan memasukkan nilai-nilai tertentu pada servo ID (3-8). Pengujian ini digunakan untuk membentuk posisi awal robot dari berdiri tegak

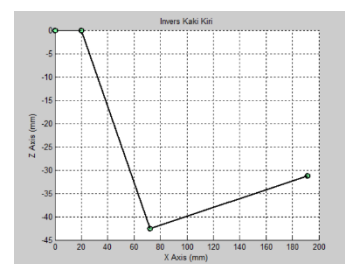
sampai jongkok. Hasilnya diperoleh 10 data dengan persentase *error* rata-rata 0.015%. Setelah melakukan kedua pengujian ini, pengujian selanjutnya yaitu pengujian *inverse kinematic* dan *walking trajectory*.

#### 3.1. Pengujian Inverse Kinematic

Pengujian Inverse Kinematic dilakukan dengan membandingkan data perhitungan dan pengukuran. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan trigonometri tertentu. Sedangkan pengukuran dilakukan dengan memberikan *input* nilai berupa data kartesian tertentu kemudian memonitoring nilai dari tiap servo. Pada pengujian ini digunakan 10 posisi data yang berbeda untuk tiap kaki robot. Hasilnya diperoleh persentase *error* rata-rata sebesar 0.017% untuk kaki kanan dan *error* rata-rata 0.021% untuk kaki kiri. Untuk mempermudah analisa, hasil pengujian ditunjukkan menggunakan grafik seperti pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



**Gambar 7** Inverse Kinematic Kaki Kanan



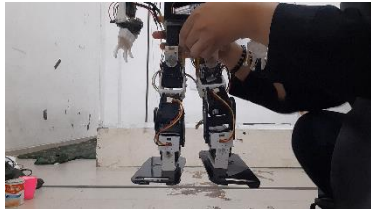
**Gambar 8** Inverse Kinematic Kaki Kiri

#### 3.2 Pengujian Walking Trajectory

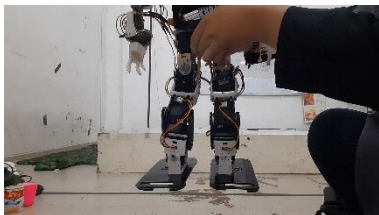
Pada tahap pengujian ini, robot akan diuji coba menggunakan 10 posisi data yang berbeda-beda antara kaki kanan dan kaki kiri robot. Posisi data ini merupakan data ruang kartesian meliputi bidang X, Y, Z, dan H. Robot akan diuji coba dengan cara diangkat kemudian diamati pola gerakan kakinya apakah sesuai atau tidak dengan metode pendekatan polinomial yang digunakan. Data

*output* dari setiap servo dynamixel pada robot akan diimplementasikan dalam bentuk grafik sehingga pergerakan robot lebih mudah diamati. Pengamatan dilakukan dari beberapa sisi. Dari sisi depan untuk mengamati bagian H dan Y robot. Sedangkan pengamatan dari sisi samping kanan dan kiri digunakan untuk mengamati bagian X dan Z robot.

Dalam pengujian ini, servo dynamixel yang bergerak pada bidang X dan Z yaitu servo dynamixel ID 1, 5, dan 7 untuk kaki kanan serta ID 2, 6, dan 8 untuk kaki kiri. Servo dynamixel yang bergerak pada bidang Y adalah servo ID 3 dan 9 untuk kaki kanan serta servo ID 4 dan 10 untuk kaki kiri. Kemudian servo yang bergerak pada H yaitu servo ID 11 untuk kaki kanan dan servo ID 12 untuk kaki kiri.



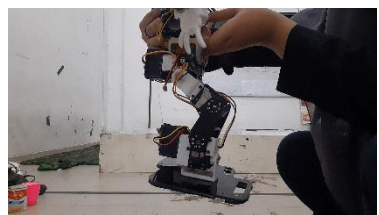
**Gambar 9** Walking Trajectory Kaki Kanan (Tampak Depan)



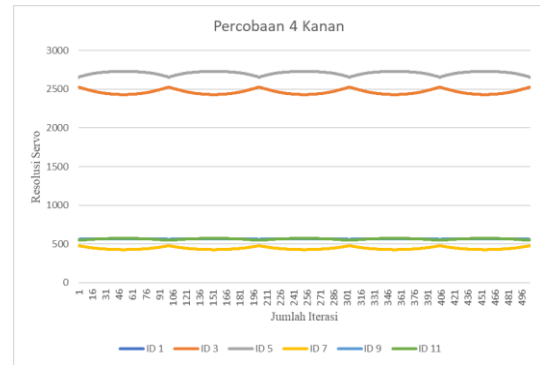
**Gambar 10** Walking Trajectory Kaki Kiri (Tampak Depan)



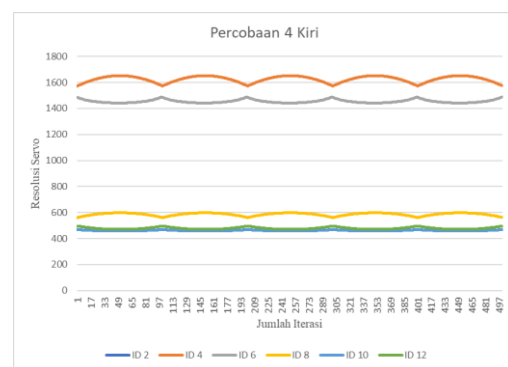
**Gambar 11** Walking Trajectory Kaki Kanan (Tampak Samping)



**Gambar 12** Walking Trajectory Kaki Kiri (Tampak Samping)



**Gambar 13** Grafik Pengujian Walking Trajectory (Kaki Kanan)



**Gambar 14** Grafik Pengujian Walking Trajectory (Kaki Kiri)

Berdasarkan kedua gambar di atas dapat dilihat bahwa grafik *output* memiliki bentuk yang sama dengan kurva bezier. Grafik *output* memiliki tinggi yang berbeda-beda. Semakin tinggi perubahan nilai tiap *step*, maka grafik juga semakin tinggi. Pada **Gambar 13** dan **Gambar 14** tersebut, nilai servo kaki kanan yang bergerak pada bidang X dan Z memiliki grafik yang lebih tinggi daripada servo kaki kiri yang bergerak pada bidang X dan Z. Sedangkan untuk servo kaki kanan yang bergerak bidang Y dan H memiliki grafik yang lebih rendah daripada kaki kir

## 4. PENUTUP

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan dari pengujian dan analisa sistem, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode *inverse kinematic* untuk mengontrol 12 servo dynamixel secara bersamaan dapat berjalan dengan baik. Hal ini terbukti dari 10 pengujian yang dilakukan, tingkat keberhasilan yang dicapai sebesar 99.98%. Kaki robot dapat bergerak sesuai posisi data yang diinputkan

pada bidang X, Y, Z, dan H tanpa harus memasukkan nilai sudut servo satu persatu.

2. Mengakses motor servo 12 DoF menggunakan protokol secara *broadcast* untuk membentuk posisi *default robot* dapat berjalan dengan baik. Hal ini terbukti dari 10 pengujian yang dilakukan, tingkat keberhasilan yang dicapai yaitu 99.99%. Tiap-tiap servo dapat bergerak membentuk sudut tertentu sesuai nilai yang *diinputkan*. Robot juga dapat berdiri dan tidak terjatuh saat dilepaskan mulai dari posisi berdiri tegak sampai posisi jongkok.
3. Perancangan *Walking Trajectory System* menggunakan metode pendekatan polinomial berupa kurva Bezier dapat berjalan dengan baik. Dari 10 pengujian yang dilakukan, tingkat keberhasilan yang dicapai yaitu 100%. Setiap servo pada kaki robot bergerak membentuk kurva Bezier. Pola gerakan ini ditunjukkan menggunakan grafik *output* seperti yang telah dijelaskan pada BAB 4. Hal yang paling berpengaruh pada tinggi rendahnya kurva yaitu besar kecilnya perubahan nilai pada tiap *step*.

#### 4.2 Saran

Berikut merupakan beberapa saran yang dapat digunakan untuk memperbaiki sistem:

1. Servo yang digunakan memiliki tipe yang sama sehingga mempermudah dalam melakukan penelitian.
2. Kepresisian mekanik robot harus sangat diperhatikan, sedikit kesalahan dapat berpengaruh banyak pada *walking trajectory* robot.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. P. Riananda, "ALGORITMA OPTIMASI LINTASAN BERJALAN UNTUK ROBOT SEPAKBOLA MENYERUPAI MANUSIA PADA RUMPUT SINTETIS," Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 2016.
- [2] P. H. Setiawan, "Analisis Inverse Kinematics Tersegmentasi Berbasis Geometris pada Robot Humanoid Saat Berjalan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [3] A. P. Armin, "Animasi Gerakan Exaggeration Pukulan Tinju Berbasis Pendekatan Kurva Bezier," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [4] F. D. Saputra and R. Purwoko, "Rancang Bangun Prototipe Modul Enkripsi/Dekripsi Menggunakan Algoritma Blowfish pada Mikrokontroler STM32F103 Berbasis Prosesor ARM Cortex-M3," *Prosiding SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)*, pp. 13-21, 2019.
- [5] E. Artono and Salman, "Pembacaan Sensor Accelerometer LISDSH Pada Modeul STM32F4-Discovery," *SOSIALITA*, vol. 13, no. 1, p. 35, 2018.
- [6] M. I. Bustami, "Pemanfaatan Sensor 3 Axis Gyroscope Pada Robot Seni Tari Berbasis Raspberry Pi," *Processor: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi, Teknologi Informasi dan Sistem Komputer*, pp. 23-34, 2019.
- [7] M. H. Maulana, "RANCANG BANGUN GERAKAN BERJALAN PADA ROBOT BIPEDAL ANTROPOMORPHIC MENUNAKAN INVERSE KINEMATICS DAN GAIT DATA," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [8] W. T. Wibowo, "IMPLEMENTASI INVERSE KINEMATICS PADA PERGERAKAN ROBOT QUADRUPED," Surabaya, 2017.
- [9] W. P. Sari, R. S. Dewanto and Dade, "REALISASI DAN DESAIN DINAMIKA BERJALAN NAIK DIATAS TANGGA PADA 33 DOF HUMANOID ROBOT," *Kumpulan Jurnal Ilmu Komputer (KLIK)*, vol. Vol 7, no. ISSN: 2406-7857, pp. 241-255, 2020.