

Perhitungan Invers Kinematik pada Jalan Robot Humanoid

Annisa Rahmawati¹, Yusmet Rizal²

^{1,2} Program Studi Matematika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan dan Alam, Universitas Negeri Padang (UNP)

Article Info

Article history:

Received March 22, 2024

Revised May 16, 2024

Accepted June 20, 2024

Keywords:

Humanoid robot

Inverse kinematics

Geometric approach method

end-effector

Kata Kunci:

Robot humanoid

Invers kinematik

Metode pendekatan geometri

end-effector

ABSTRACT

Inverse kinematics is a mathematical calculation for robot motion design. With the known value of the desired coordinate point, this calculation determines the angles needed to move each *joint* on the robot. One of the solutions to the *inverse kinematic* equation can use the geometric approach method. This method is used to obtain angles on each axis of robot motion so that the *end-effector* can reach the desired position. In this geometric method approach, the three-dimensional (3D) viewpoint is decomposed into a two-dimensional (2D) viewpoint to facilitate the analysis and calculation process. *Humanoid* robots have 4 phases to walk, namely *Double Support Phase*, *Pre-swing Phase*, *Single Support Phase*, and *Post-Swing Phase*. By implementing the inverse kinematic formula into the C++ programming language, the *humanoid* robot can walk by entering the x, y, and z coordinate values. The x coordinate value regulates the tilt of the robot, the y coordinate value regulates the back and forth movement of the robot's legs, and the z coordinate value regulates the height of the robot's legs.

ABSTRAK

Invers kinematik merupakan sebuah perhitungan matematika untuk perancangan gerak robot. Dengan yang diketahui nilai titik koordinat yang diinginkan, perhitungan ini menentukan sudut-sudut yang diperlukan untuk menggerakkan setiap *joint* (sendi) pada robot. Penyelesaian persamaan *invers kinematik* salah satunya dapat menggunakan metode pendekatan geometris. Metode ini digunakan untuk memperoleh sudut-sudut pada setiap sumbu gerak robot sehingga *end-effector* dapat mencapai posisi yang diinginkan. Dalam pendekatan metode geometri ini, sudut pandang tiga dimensi (3D) diuraikan menjadi sudut pandang dua dimensi (2D) agar memudahkan proses analisis dan perhitungan. Robot *humanoid* memiliki 4 fase untuk berjalan yaitu *Double Support Phase*, *Pre-swing Phase*, *Single Support Phase*, dan *Post-Swing Phase*. Dengan mengimplementasikan rumus invers kinematik ke dalam bahasa pemrograman C++, robot *humanoid* dapat berjalan dengan memasukkan nilai koordinat x, y, dan z. Nilai koordinat x mengatur kemiringan robot, nilai koordinat y mengatur pergerakan maju mundur kaki robot, dan nilai koordinat z mengatur ketinggian kaki robot.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Penulis pertama

Annisa Rahmawati

Program Studi Matematika, Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar barat, Padang Utara, Padang, Indonesia. Kode Pos: 25131

Email: contoh@fmipa.ac.id

1. PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu, teknologi ikut berkembang. Bahkan perkembangan teknologi saat ini sangat pesat, hingga terasa disegala aspek kehidupan. Robot merupakan salah satu bentuk perkembangan ilmu, dibidang teknologi. Robot adalah perangkat mekanis yang beroperasi secara berkelanjutan untuk membantu manusia melaksanakan tugas-tugas tertentu. Robot bisa dikendalikan langsung oleh manusia atau beroperasi secara otomatis berdasarkan program yang dipasang pada chip pengendali robot [1]. Berdasarkan alat geraknya, robot terbagi menjadi dua jenis, yaitu robot beroda dan robot berkaki.

Robot *humanoid* termasuk kepada kelompok robot yang bergerak menggunakan kaki-kaki buatan. Robot *humanoid* memiliki dua kaki yang tersusun dari beberapa motor servo, motor servo pada robot *humanoid* berfungsi sebagai sendi pada robot atau alat gerak [2]. Robot *humanoid* diciptakan dengan tujuan mampu berinteraksi dan berperilaku serupa seperti manusia, serta bekerja sama dengan manusia untuk menyelesaikan pekerjaan yang tidak dapat dikerjakan manusia [3]. Sistem gerak robot *humanoid* memiliki kerumitan yang lebih karena harus menjaga keseimbangan tubuh dengan hanya dua kaki sebagai tumpuan, berbeda dari robot berkaki lainnya. Metode pembuatan gerak robot telah banyak dikembangkan, salah satunya adalah metode *invers kinematik*,

Invers kinematik merupakan sebuah perhitungan matematika untuk perancangan gerak robot dengan yang diketahui nilai titik koordinat yang ingin dicapai, sehingga diperoleh nilai sudut yang diperlukan untuk menggerakkan setiap sendi (*joint*) pada kaki robot. Secara umum, *invers kinematik* adalah metode analisis yang mengubah koordinat kartesius menjadi ruang sendi [4]. Salah satu cara untuk menyelesaikan persamaan *invers kinematik* adalah dengan menggunakan metode pendekatan geometris, yang bertujuan untuk menentukan sudut pada setiap sumbu gerak robot sehingga *end-effector* akhir meraih posisi yang diharapkan. Dalam pendekatan metode geometri ini, perspektif tiga dimensi (3D) diuraikan menjadi perspektif dua dimensi (2D) untuk mempermudah analisis dan perhitungan [5].

Dengan adanya rumus *invers kinematik* gerak kaki robot, kita hanya perlu memikirkan mencapai titik *end-effector* yang diinginkan dengan menginputkan nilai koordinat yang diperkirakan berupa nilai koordinat x , y , dan z [6]. Penerapan metode *invers kinematik* pada robot memiliki kelebihan lain yaitu, panjang jarak antar motor servo (*link*) pada robot apabila diubah-ubah tidak akan mempengaruhi gerak robot, asalkan posisi motor servo tetap [7]. Pada penelitian ini dilakukan pembentukan metode *invers kinematik* pada kaki robot yang memiliki 5 DoF (*Degree of Freedom*) untuk satu bagian kaki.

2. DASAR TEORI

2.1 Robot Humanoid

Asal usul “Robot” berasal dari bahasa Ceko yaitu “*Robota*” yang berarti pekerja atau kuli. Istilah ini menjadi populer setelah seorang penulis dari bangsa Ceko yang bernama Karl Capek, menciptakan drama komedi pada tahun 1921 yang berjudul RUR (*Rossums Universal Robot*). Dalam drama tersebut, Capek menggambarkan mesin yang menyerupai manusia namun mampu bekerja terus-menerus tanpa lelah [8]. Setiap robot modern harus memiliki kriteria diantaranya sensor yang berfungsi seperti alat indra pada makhluk hidup, sistem kontrol atau otak dari robot itu sendiri, peralatan mekanik, dan sumber daya [9].

Robot dapat dikelompokkan berdasarkan alat geraknya menjadi dua jenis, yaitu robot beroda dan robot berkaki. Robot beroda menggunakan roda sebagai alat geraknya, dan terdapat beberapa variasi robot beroda seperti robot beroda dua, robot beroda tiga, robot beroda empat, dan robot beroda tank. Sementara itu, robot berkaki menggunakan kaki buatan yang terdiri dari beberapa motor servo untuk bergerak. Robot berkaki memiliki banyak jenis salah satunya adalah robot *humanoid* yang memiliki dua kaki buatan[10].

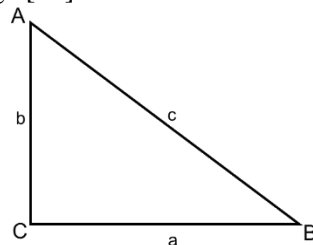


Robot *humanoid* merupakan jenis robot yang dibuat menyerupai struktur tubuh manusia, termasuk memiliki bagian kepala, badan, tangan, dan kaki. Robot *humanoid* juga dirancang mampu bergerak seperti manusia [2]. Robot *humanoid* memiliki bagian mekanik yang tersusun meliputi:

- Joint*, merupakan komponen pada robot yang mampu bergerak secara *independen* dan sebagai penggerak bagi bagian yang terhubung dengannya.
- Link*, merupakan bagian robot yang menghubungkan *joint* satu dengan *joint* lainnya sehingga terbentuk sebuah rangkaian robot.
- End-Effector*, merupakan bagian ujung dari untaian mekanik robot yang akan dijadikan objek kerja.

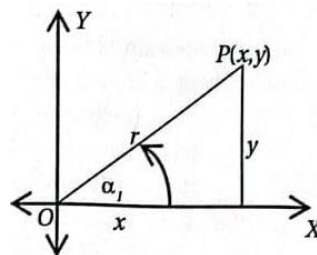
2.2 Perbandingan Trigonometri pada Segitiga Siku-Siku

Teorema *Phytagoras* berbunyi: “pada suatu segitiga siku-siku berlaku sisi miring kuadrat sama dengan jumlah kuadrat dari sisi siku-sikunya”. Secara umum, pada Gambar 1 merupakan segitiga ABC dengan sudut siku-siku terletak di sudut C, maka teorema *Phytagoras* dapat dirumuskan sebagai $AB^2 = AC^2 + BC^2$. Rumus alternative yang sering digunakan adalah $c^2 = b^2 + a^2$, dengan c sebagai sisi miring segitiga [11].



Gambar 1. Segitiga siku-siku

P adalah suatu titik pada koordinat kartesius dengan koordinat (x,y). Garis OP dapat berputar mengelilingi titik asal O dalam koordinat kartesius tersebut, sehingga sudut $\angle XOP$ dapat bernilai 0° hingga 90° . Penting untuk dicatat panjang garis OP dapat dihitung sebagai $\sqrt{x^2 + y^2} = r$, dimana r adalah jarak dari titik P ke titik asal O dan $r > 0$ [12].



Gambar 2. Kuadran 1

Berdasarkan Gambar 2, perbandingan trigonometri baku dapat didefinisikan dengan kata lain [12]:

$$a. \quad \sin \alpha = \frac{\text{koordinat } P}{\text{panjang } OP} = \frac{y}{r}$$

$$b. \quad \cos \alpha = \frac{\text{absis } P}{\text{panjang } OP} = \frac{x}{r}$$

$$c. \quad \tan \alpha = \frac{\text{koordinat } P}{\text{absis } P} = \frac{y}{x}$$

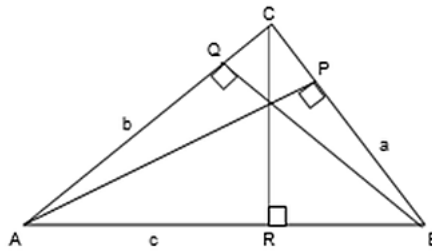
$$d. \quad \csc \alpha = \frac{\text{panjang } OP}{\text{koordinat } P} = \frac{r}{y}$$

$$e. \sec \alpha = \frac{\text{panjang } OP}{\text{absis } P} = \frac{r}{x}$$

$$f. \cot \alpha = \frac{\text{absis } P}{\text{koordinat } P} = \frac{x}{y}$$

2.3 Aturan Sinus dan Cosinus

Aturan sinus segitiga ABC menyatakan bahwa perbandingan antar panjang suatu sisi dengan sinus sudut yang berhadapan dengan sisi tersebut memiliki nilai yang konstan. Sedangkan, aturan cosinus memungkinkan kita untuk mengidentifikasi keterkaitan antara kuadrat panjang sisi dalam sebuah segitiga dengan nilai cosinus sudutnya.



Gambar 3. Segitiga Sembarang Sisi

a. Aturan Sinus

Berdasarkan Gambar 3 maka diperoleh aturan sinus adalah [12]:

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

b. Aturan Cosinus

Berdasarkan Gambar 3 maka diperoleh aturan cosinus adalah [12]:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

2.4 Invers Kinematik

Kinematik merupakan ilmu tentang geometri suatu titik atau benda pada sistem koordinat ruang. *Invers kinematik* adalah suatu metode analisis yang menentukan besar sudut pada setiap *joint* robot tersebut ketika posisi *end-effector* telah ditetapkan [13]. Terdapat tiga metode yang terkenal untuk memperoleh persamaan *invers kinematik*, diantaranya metode numerik, metode aljabar, dan metode geometri. Biasanya, metode geometri sering diterapkan pada robot dengan sedikit derajat kebebasan [14].

Analisis *invers kinematik* robot dengan pendekatan geometri menggunakan beberapa sendi pada robot bisa diselesaikan menggunakan hukum sinus dan cosinus untuk menentukan besarnya suatu sudut pada masing-masing *joint* atau sendi, karena posisi kaki robot saat mengangkat dan melangkah akan membentuk sebuah segitiga.

3. METODE

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian dasar, dimana fokusnya adalah pada pengembangan ilmu pengetahuan, peningkatan teori-teori yang sudah ada, serta penemuan teori-teori baru. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis terhadap teori-teori yang



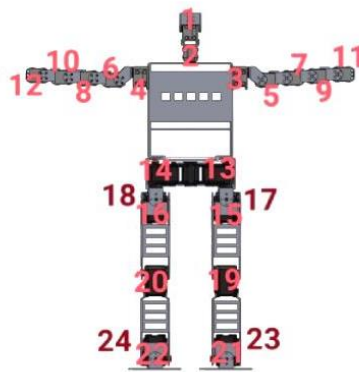
relevan tentang konsep *invers kinematik* pada robot dengan berdasarkan tinjauan literatur. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian:

1. Mempelajari studi literatur yang mengkaji tentang *invers kinematik* pada robot.
2. Membuat konfigurasi yang terbentuk dari posisi saat kaki robot melangkah.
3. Membahas perhitungan *invers kinematik* dari konfigurasi yang terbentuk pada jalan robot *humanoid*.
4. Mengimplementasikan rumus perhitungan *invers kinematik* yang diperoleh kedalam program bahasa C++.
5. Menarik kesimpulan yang diperoleh dari penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

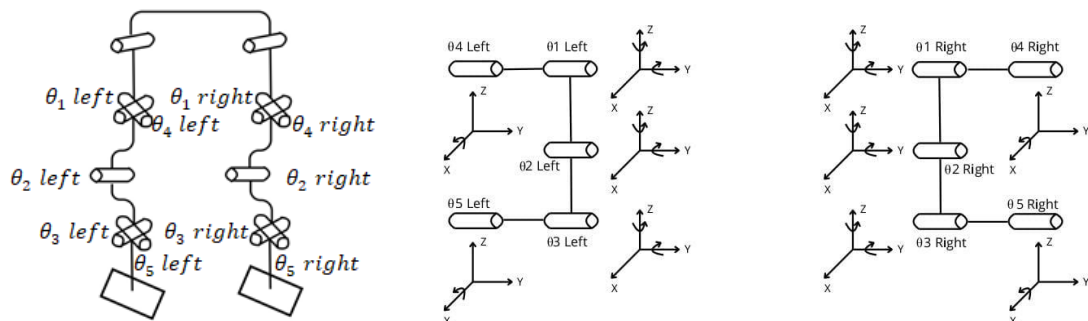
4.1 Konfigurasi Kaki Robot Humanoid

Robot *humanoid* memiliki 4 fase untuk berjalan yaitu *Double Support Phase* dimana pada tahapan ini robot berdiri menggunakan 2 kaki dengan posisi ready berjalan, *Pre-swing Phase* merupakan tahapan sebelum kaki melangkah dimana badan robot miring kearah kaki yang tidak melangkah, *Single Support Phase* pada tahapan ini robot berdiri dengan satu kaki dan kaki yang lain melangkah kedepan, dan *Post-Swing Phase* merupakan tahapan akhir dari kaki melangkah. Gambar 4 merupakan desain robot *humanoid* dengan 24 DoF (*Degree of Freedom*).



Gambar 4. Robot *Humanoid* 24 DoF

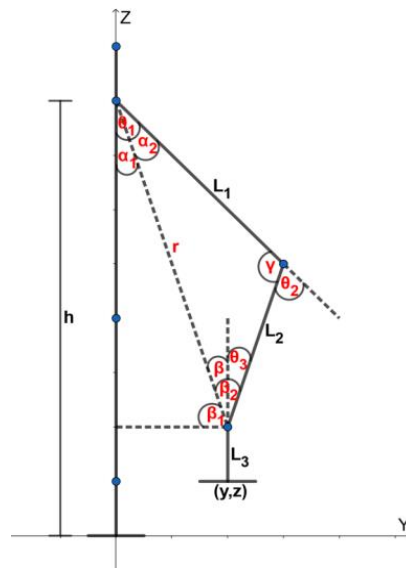
Dengan diketahui posisi *joint* pada Gambar 4, maka akan memudahkan untuk menganalisis konfigurasi dari robot *humanoid*. Pada Gambar 5 yang merupakan konfigurasi kaki robot *humanoid* yang dirancang berdasarkan *joint*.



Gambar 5. Konfigurasi Kaki Robot *Humanoid*

4.2 Rumus Perhitungan Invers Kinematik pada Jalan Robot Humanoid

Untuk memudahkan analisis pembentukan rumus *invers kinematik* dari sudut pandang tiga dimensi (3D), maka rumus *invers kinematik* tersebut diuraikan menjadi sudut pandang dua dimensi (2D). Analisis pertama diamati dari koordinat (y,z) yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perancangan *invers kinematik* kaki robot *humanoid* saat melangkah tampak samping dari sumbu koordinat (y,z)

Pada sumbu koordinat (y,z) , yang akan ditentukan ada tiga sudut putar dari motor servo yaitu sudut θ_1 yang merupakan motor servo pinggul bagian depan, sudut θ_2 yang merupakan motor servo bagian lutut, dan sudut θ_3 yang merupakan motor servo tapak kaki bagian depan. Pada Gambar 6 terdapat empat nilai tetap pada perancangan rumus *invers kinematik* ini yaitu nilai L_1 (*link* 1), nilai L_2 (*link* 2), nilai L_3 (*link* 3), dan nilai h yang merupakan tinggi kaki keseluruhan.

Untuk mendapatkan nilai θ_1 , θ_2 , dan θ_3 , langkah pertama adalah menentukan tinggi kaki robot saat diangkat melangkah, yang disimbolkan sebagai h_1 .

$$h_1 = h - (L_3 + z_n) \quad (1)$$

Pada Gambar 6 dapat dilihat saat kaki diangkat dan melangkah, maka terbentuk segitiga siku-siku dengan sisi (h_1, y, r) dan segitiga sembarang dengan sisi (L_1, L_2, r) . Untuk memperoleh nilai r , menggunakan dalil *pythagoras*:

$$r^2 = y_n^2 + h_1^2$$

$$r = \sqrt{y_n^2 + h_1^2} \quad (2)$$

Untuk menemukan nilai sudut θ_1 , pertama-tama lakukan perhitungan untuk sudut α_1 dan sudut α_2 :

$$\alpha_1 = \sin^{-1} \left(\frac{y_n}{r} \right) \quad (3)$$

$$\alpha_2 = \cos^{-1} \left(\frac{L_1^2 + r^2 - L_2^2}{2L_1 r} \right) \quad (4)$$

Setelah mendapatkan dua persamaan di atas, selanjutnya adalah menemukan nilai sudut θ_1 dengan menjumlahkan persamaan (3) dan (4):

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{y_n}{r} \right) + \cos^{-1} \left(\frac{L_1^2 + r^2 - L_2^2}{2L_1 r} \right) \quad (5)$$



Selanjutnya, untuk menentukan sudut θ_2 , langkah pertama adalah menemukan nilai γ terlebih dahulu dengan aturan cosinus:

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - r^2}{2L_1L_2} \right) \quad (6)$$

$$\theta_2 = 180^\circ - \cos^{-1} \left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - r^2}{2L_1L_2} \right) \quad (7)$$

Kemudian, menemukan nilai sudut θ_3 , pertama-tama lakukan perhitungan untuk sudut β_1 , sudut β_2 , dan sudut β :

$$\beta_1 = 90^\circ - \sin^{-1} \left(\frac{y_n}{r} \right) \quad (8)$$

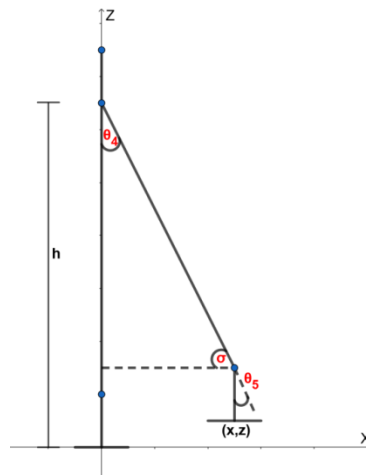
$$\beta_2 = 180^\circ - \cos^{-1} \left(\frac{L_1^2 + r^2 - L_2^2}{2L_1r} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - r^2}{2L_1L_2} \right) \quad (9)$$

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{y_n}{r} \right) \quad (10)$$

Setelah mendapatkan persamaan di atas, langkah selanjutnya adalah menemukan nilai sudut θ_3 dengan melakukan pengurangan antara persamaan (9) dan (10)

$$\theta_3 = 180^\circ - \cos^{-1} \left(\frac{L_1^2 + r^2 - L_2^2}{2L_1r} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - r^2}{2L_1L_2} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{y_n}{r} \right) \quad (11)$$

Tahap selanjutnya, melakukan analisis *invers kinematik* pada kaki robot *humanoid* dengan tampak atas dari sumbu koordinat (x,z), pada sumbu koordinat ini dapat dilihat kemiringan pada robot *humanoid*. Sudut yang akan dicari pada analisis ini adalah θ_4 pada *hip* bagian belakang, dan θ_5 pada *ankle* bagian belakang. Perancangan dari *invers kinematik* kaki robot *humanoid* yang tampak dari atas terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Perancangan *invers kinematik* kaki robot *humanoid* saat melangkah tampak atas dari sumbu (x,z)

Dari menganalisis Gambar 7 dapat menentukan yang nilai sudut θ_4 , dan θ_5 yaitu:

$$\theta_4 = \tan^{-1} \left(\frac{x_n}{h_1} \right) \quad (12)$$

$$\theta_5 = \theta_4 \quad (13)$$

Contoh:

Pada penelitian ini tinggi kaki robot *humanoid* keseluruhan 185 mm, panjang *link* 1 78 mm, panjang *link* 2 70 mm, dan panjang *link* 3 37 mm. Titik koordinat yang akan diinputkan (15,15,10), maka nilai sudut pada setiap motor servo pada kaki robot *humanoid* adalah...

Diketahui:

$$h = 185 \text{ mm}$$

$$L_1 = 78 \text{ mm}$$

$$L_2 = 70 \text{ mm}$$

$$L_3 = 37 \text{ mm}$$

$$x = 15 \text{ mm}$$

$$y = 15 \text{ mm}$$

$$z = 10 \text{ mm}$$

Ditanya: Sudut setiap motor servo pada kaki robot *humanoid* ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_s$)

Penyelesaian:

Pertama menentukan tinggi kaki robot saat diangkat melangkah:

$$h_1 = h - (L_3 + z_n)$$

$$h_1 = 185 - (37 + 10)$$

$$h_1 = 138$$

Kemudian, menentukan sisi miring yang terbentuk saat kaki melangkah:

$$r = \sqrt{y_n^2 + h_1^2}$$

$$r = \sqrt{15^2 + 138^2}$$

$$r = \sqrt{19.269}$$

Selanjutnya, menentukan nilai sudut θ_1 :

$$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{y_n}{r}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 + r^2 - L_2^2}{2L_1r}\right)$$

$$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{15}{\sqrt{19.269}}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{78^2 + \sqrt{19.269}^2 - 70^2}{2 \times 78 \times \sqrt{19.269}}\right)$$

$$\theta_1 = 25,38^\circ$$

Menentukan nilai sudut θ_2 :

$$\theta_2 = 180^\circ - \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - r^2}{2L_1L_2}\right)$$

$$\theta_2 = 180^\circ - \cos^{-1}\left(\frac{78^2 + 70^2 - \sqrt{19.269}^2}{2 \times 78 \times 70}\right)$$

$$\theta_2 = 40,65^\circ$$

Menentukan nilai sudut θ_3 :

$$\theta_3 = 180^\circ - \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 + r^2 - L_2^2}{2L_1r}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - r^2}{2L_1L_2}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{y_n}{r}\right)$$

$$\theta_3 = 180^\circ - \cos^{-1}\left(\frac{78^2 + \sqrt{19.269}^2 - 70^2}{2 \times 78 \times \sqrt{19.269}}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{78^2 + 70^2 - \sqrt{19.269}^2}{2 \times 78 \times 70}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{15}{\sqrt{19.269}}\right)$$

$$\theta_3 = 15,2687^\circ$$



Menentukan nilai sudut θ_4 :

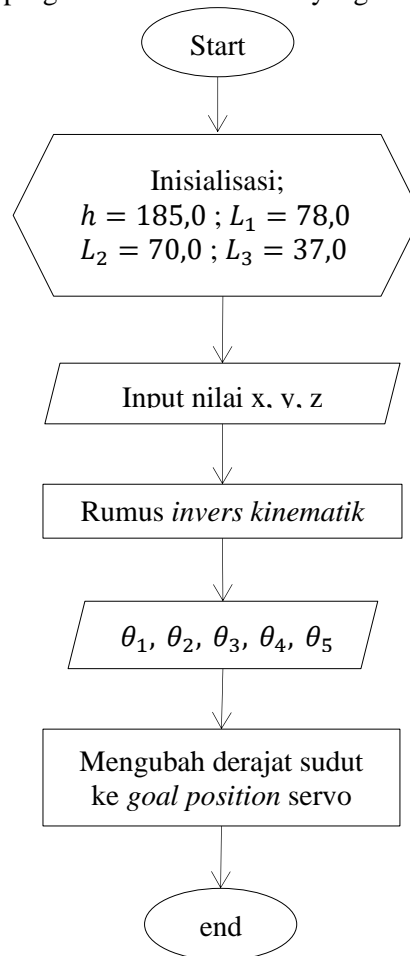
$$\theta_4 = \tan^{-1}\left(\frac{15}{138}\right)$$

$$\theta_4 = 6,20^\circ$$

Terakhir, nilai sudut θ_5 memiliki nilai yang sama dengan nilai sudut θ_4 , maka nilai sudut $\theta_5 = 6,20^\circ$.

4.3 Flowchart

Diagram alir atau *flowchart* merupakan gambaran grafis yang menunjukkan alur suatu program atau prosedur yang harus dilakukan untuk menyelesaikan suatu masalah atau program. Diagram alir sangat membantu dalam memahami proses logis yang kompleks dan panjang [15]. Pada Gambar 8 menjelaskan prinsip kerja dari program *invers kinematik* yang akan dibuat.







Gambar 8. *Flowchart* dari Program *Invers Kinematik*

4.4 Hasil Uji Coba Program





Nilai koordinat x, y, dan z, yang ditetapkan ke dalam metode *invers kinematik* akan memperoleh nilai sudut, dari nilai sudut itu akan menentukan arah putar servo *dynamixel* dan posisi kaki robot *humanoid*. Pada setiap koordinat akan memberikan perubahan posisi pada kaki robot, pada koordinat x akan memberikan perubahan pada posisi kemiringan dari robot. Pada koordinat y akan memberikan perubahan posisi kaki robot melangkah ke depan. Dan pada koordinat z akan memberikan perubahan posisi kaki robot berupa tinggi-rendahnya kaki robot diangkat. Nilai dari koordinat x, y, dan z pada tahapan kaki kanan robot *humanoid* saat melangkah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perancangan kaki kanan robot *humanoid* untuk melangkah

Kaki	Input Nilai Koordinat			Posisi Kaki	Output				
	X	Y	Z		θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5
Kanan	0	15	10		25,38	40,65	15,27	0	0
Kiri	0	15	10		25,38	40,65	15,27	0	0
				Ready					
Kanan	-15	15	10		25,38	40,65	15,27	-6,20	-6,20
Kiri	15	15	10		25,38	40,65	15,27	6,20	6,20
				Miring					
Kanan	-15	50	50		66,30	84,11	17,82	-8,70	-8,70
Kiri	15	15	15		30,28	50,61	20,33	6,43	6,43
				Melangkah					
Kanan	0	50	50		66,30	84,11	17,82	0	0
Kiri	0	50	50		66,30	84,11	17,82	0	0
				Akhir					

Tabel 1 merupakan penginputan nilai koordinat x, y, dan z terhadap kaki kanan robot *humanoid* saat melangkah, ke dalam rumus *invers kinematik*. Dari penginputan koordinat menghasilkan output posisi kaki robot *humanoid*, dan nilai sudut setiap servo sehingga menghasilkan gerak untuk menjalankan kaki robot. Pada Tabel 2 merupakan penginputan nilai koordinat x, y, dan z terhadap kaki kiri robot *humanoid* saat melangkah, ke dalam rumus *invers kinematik* dan output yang diperoleh kaki robot *humanoid* dapat berjalan.

Tabel 2 Perancangan kaki kiri robot *humanoid* untuk melangkah

Kaki	Input Nilai Koordinat			Posisi Kaki	Output				
	X	Y	Z		θ_1	θ_2	Nilai Sudut θ_3 θ_4 θ_5		
Kiri	0	15	10		25,38	40,65	15,27	0	0
Kanan	0	15	10		25,38	40,65	15,27	0	0
				Ready					
Kiri	-20	15	10		25,38	40,65	15,27	-8,25	-8,25
Kanan	20	15	10		25,38	40,65	15,27	8,25	8,25
				Miring					
Kiri	-20	50	50		66,30	84,11	17,82	-11,53	-11,53
Kanan	20	15	15		30,28	50,61	20,33	8,55	8,55
				Melangkah					
Kiri	0	50	50		66,30	84,11	17,82	0	0
Kanan	0	50	50		66,30	84,11	17,82	0	0
				Akhir					

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan perhitungan *invers kinematik* pada jalan robot *humanoid*, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu, analisis gerak robot berdasarkan metode *invers kinematik* menghasilkan empat gerakan yaitu Posisi kaki robot ready berjalan, Posisi robot miring merupakan posisi ini motor servo atau *joint* pada pinggul bagian belakang dan tapak bagian belakang miring kearah yang berlawanan dari kaki yang diangkat untuk maju, Posisi robot mengangkat kaki dan melangkah kedepan, dan Posisi akhir yang merupakan kaki robot yang lain mengikut maju menyamakan dengan posisi kaki yang sedang melangkah.

REFERENSI

- [1] M. Sanjaya, *Membuat Robot Bersama Profesor Bolabot*. Yogyakarta: Gava Media, 2013.
- [2] W. Budhiarto dan P. A. Nalwan, "Membuat Sendiri Robot Humanoid." hal. 112, 2009.
- [3] M. Hirose dan K. Ogawa, "Honda humanoid robots development," *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 365, no. 1850, hal. 11–19, 2007, doi: 10.1098/rsta.2006.1917.
- [4] J. W. Kusuma, P. Shinta, dan H. Dedy, "Penerapan Invers kinematik Terhadap Pergerakan Kaki Pada Robot Hexapod," *Robotics*, hal. 10, 2015.
- [5] A. Gupta, "A Geometric Approach to Inverse Kinematics of a 3 DOF Robotic Arm," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 1, hal. 3524–3530, 2018, doi: 10.22214/ijraset.2018.1491.
- [6] M. Ali *et al.*, "INVERS KINEMATIK ROBOT ARM 4 DOF MENGGUNAKAN SENSOR LEAP MOTION PENDAHULUAN Latar Belakang Masalah Peran robotika sangatlah besar dalam kehidupan , sehingga manusia selalu berusaha mengembangkan pengetahuan-pengetahuan tentang robot . Robot adalah seperang," vol. 6, no. 1, hal. 363–371, 2020.
- [7] F. Widia dan R. Risfendra, "Penerapan Metode Invers Kinematik pada Rancangan Pergerakan Kaki Robot Humanoid," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 1, hal. 128–135, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i1.144.
- [8] E. Pitowarno, *Robotika Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: C.V Andi Offset, 2006.
- [9] W. Jatmiko *et al.*, *Robotika Teori Dan Aplikasi*. 2012. [Daring]. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/profile/Wisnu-Jatmiko/publication/305769100_Robotika_Teori_dan_Aplikasi/links/57a0664608aec29aed23f914/Robotika-Teori-dan-Aplikasi.pdf
- [10] S. Setiawan, Firdaus, B. Rahmadya, dan Derisma, "Penerapan Invers Kinematika Untuk Pergerakan Kaki Robot Biped," no. November, hal. 1–9, 2015.
- [11] T. Y. E. Siswono dan N. Lastiningsih, *Matematika SMP dan MTs 2*. Semarang: Erlangga, 2007.
- [12] Arnellis, *Aljabar dan Trigonometri*. Jakarta: Kencana, 2016.
- [13] B. Utomo *et al.*, "134658-ID-analisa-forward-dan-inverse-kinematics-p," vol. 1, no. 3, hal. 11–20, 2013.
- [14] S. Gómez *et al.*, "Design of a 4-Dof Robot Manipulator with Optimized Algorithm for Inverse Kinematics Design of a 4-DOF Robot Manipulator with Optimized Algorithm for Inverse Kinematics," *Int. J. Mech. Mechatronics Eng.*, vol. 9, no. 6, hal. 929–934, 2016.
- [15] E. Budiman, "Belajar Dasar Algoritma & Pemograman," hal. 18–19, 2016.