

Penerapan Metode *Invers Kinematic* pada Rancangan Pergerakan Kaki Robot *Humanoid*

Fuji Widia¹, Risfendra²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Sumatera Barat, 25132, Indonesia
fujiw14@gmail.com¹, risfendra@ft.unp.ac.id²

Abstract—*Humanoid robots are robots that have a human-like skeletal structure, have a head, hands and feet that are designed to be as human-like as possible. For this reason, this robot is also made capable of moving or carrying out activities like humans. Humanoid robot is a fairly complex research, many methods have been applied to humanoid robots. One of them is the inverse kinematic method for the movement of the robot's legs, inverse kinematic can help in modeling the robot movement as needed. Where the inverse kinematic is an analysis method to determine the angle at each joint with the goal and end-effector known. To apply this method, there are applicable provisions that must be followed to ensure the successful application of this method to humanoid robot leg movements. This analysis is made based on the actuator arrangement pattern on the robot, as well as the length between joints and the overall length of the humanoid robot legs, as well as determining the direction of rotation of each joint at the designed angles. This robot uses a dynamixel servo as an actuator with the installation of the skeleton following the Robotis Bioloid type A arrangement and OpenCM-9.04 as the controller. From the test results, the robot can move according to the design movement and the provisions of the servo rotation direction that has been designed, by producing three stages of movement that are initialized upright, stepping and forward. The coordinates of the right foot are in an upright position (0.0, 0.0, 0.0), stepping (20.0, 10.0, 20.0), forward (20.0, 10.0, 20.0), while on the left foot an upright position (0.0, 0.0, 0.0), stepping (30.0, 15.0, 20.0) and advanced (30.0, 15.0, 20.0).*

Keywords— *Invers Kinematic, Dynamixel Servo, OpenCM-9.04*

Abstrak— Robot *humanoid* merupakan robot yang memiliki struktur kerangka seperti manusia, memiliki kepala, tangan dan kaki yang dirancang semirip mungkin dengan manusia. Untuk itu, robot ini juga dibuat mampu melakukan pergerakan atau melakukan kegiatan seperti manusia. Robot *humanoid* merupakan penelitian yang cukup kompleks, banyak metode yang telah diterapkan pada robot *humanoid*. Salah satunya yaitu metode *invers kinematic* pada pergerakan kaki robot, *invers kinematic* dapat membantu dalam pemodelan gerakan robot sesuai dengan yang dibutuhkan. Dimana *invers kinematic* merupakan metode analisa untuk menentukan besar sudut pada setiap *joint* dengan tujuan dan *end-effector* sudah diketahui. Untuk menerapkan metode ini terdapat ketentuan-ketentuan yang berlaku yang harus diikuti untuk membantu keberhasilan penerapan metode ini pada pergerakan kaki robot *humanoid*. Analisa ini dibuat berdasarkan pola susunan aktuator pada robot, serta panjang antar joint dan panjang keseluruhannya pada kaki robot *humanoid*, juga menentukan arah putaran setiap *joint* pada sudut-sudut yang telah dirancang. Robot ini menggunakan dynamixel servo sebagai aktuator dengan pemasangan kerangka mengikuti pola susunan Robotis Bioloid tipe A dan OpenCM-9.04 sebagai *controller*. Dari hasil pengujian robot dapat bergerak sesuai rancangan pergerakan dan ketentuan arah putaran servo yang telah dirancang, dengan menghasilkan tiga tahapan gerakan yang diinisialisasikan dengan tegak, melangkah dan maju. Titik koordinat pada kaki kanan dengan posisi tegak (0.0, 0.0, 0.0), melangkah (20.0, 10.0, 20.0), maju (20.0, 10.0, 20.0), sedangkan pada kaki kiri posisi tegak (0.0, 0.0, 0.0), melangkah (30.0, 15.0, 20.0) dan maju (30.0, 15.0, 20.0).

Kata kunci— *Invers Kinematic, Servo dynamixel, OpenCM-9.04*

I. PENDAHULUAN

Robot merupakan suatu perangkat mekanik yang mampu menjalankan tugas-tugas fisik, baik dibawah kendali dan pengawasan manusia, ataupun yang dijalankan dengan serangkaian program yang telah didefinisikan terlebih dahulu dengan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*)[1]. Penelitian dibidang robotika sudah berkembang pesat[2], robot sudah banyak menggantikan pekerjaan manusia bukan hanya diindustri, namun juga pada kehidupan sehari-hari ada sebagai peramu saji, sebagai peralatan rumah tangga, dan ada juga yang hanya dijadikan sebagai hobi semata. Robot terbagi dalam

berbagai jenis, sesuai dengan bentuk, alat gerak dan fungsinya. Berdasarkan alat geraknya robot dibagi menjadi dua macam yaitu robot beroda dan robot berkaki[3]. Salah satu robot berkaki yaitu robot *humanoid*. Robot *humanoid* merupakan robot yang dirakit menyerupai manusia yang memiliki kepala, tangan, tubuh, serta kaki dan dibuat mampu melakukan kegiatan seperti manusia serta dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan manusia[4].

Pada penelitian ini robot *humanoid* menerapkan metode *invers kinematic* pada analisa perancangan pergerakan kaki robot. Robot ini mengikuti aturan perakitan Robotis Bioloid Premium tipe A, dengan aktuator dynamixel servo dengan tiga tipe berbeda yaitu AX-18, Mx-

28 dan Mx-64, dan *controller* yang digunakan adalah OpenCM-9.04. Metode *invers kinematic* ini merupakan metode analisa untuk dapat menentukan besar sudut pada setiap *joint* dengan nilai *end-effector* sudah diketahui [5].

Analisa metode *invers kinematic* akan ditentukan sesuai dengan ukuran dan bentuk kaki robot agar dapat menentukan arah putaran dynamixel servo yang digunakan sebagai aktuator robot. Alat ini berfokus pada pergerakan kaki robot *humanoid* menggunakan struktur perakitan Robotis Bioloid tipe A, dengan *frame* yang terbuat dari plat aluminium setebal 1.5 mm. Untuk penerapan metode *invers kinematic* ini sangat dibutuhkan ketepatan ukuran dari kaki robot *humanoid* yang akan digunakan, ukuran ini diperoleh dari panjang antara *joint* pada kaki robot *humanoid* yang ditandai dengan titik biru pada gambar 4. Selain ukuran dari antar *joint*, pemasangan dynamixel servo juga harus dipastikan sesuai dengan kebutuhan gerakan kaki pada robot. Jika ada kesalahan dalam pemasangan dynamixel servo pada kaki robot maka akan mengakibatkan banyaknya *error* dari gerakan.

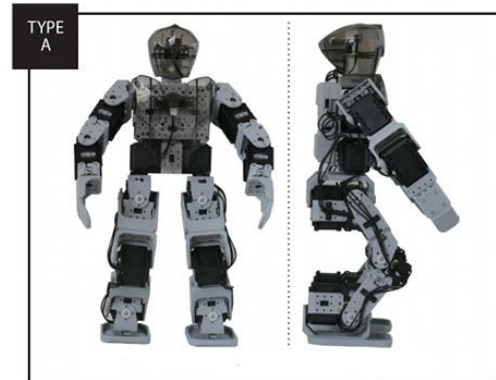
Dengan menerapkan metode *invers kinematic* pada robot *humanoid* yang menggunakan dynamixel servo sebagai actuator, analisa pergerakan robot tidak hanya bergantung pada pemasangannya pada robot tapi juga harus memperhatikan arah putaran servo. Karena dengan menentukan arah putaran yang sesuai dengan gerakan yang dibutuhkan akan menjadi acuan untuk analisa batasan pergerakan dan bentuk gerakan yang akan dibentuk oleh kaki robot. Nantinya akan diinputkan pada program pergerakan robot yang sudah menerapkan metode *invers kinematic*. Dengan menerapkan metode *invers kinematic* panjang dari masing-masing *joint* bila diubah tidak akan menyebabkan gerakan robot menjadi kacau. Panjang *joint* dapat disesuaikan dengan kebutuhan serta dapat diganti kapan saja tanpa mempengaruhi struktur program, sehingga robot dapat bergerak tetap dapat bergerak seperti yang telah dirancang sebelumnya.

II. METODE

A. Robot *Humanoid*

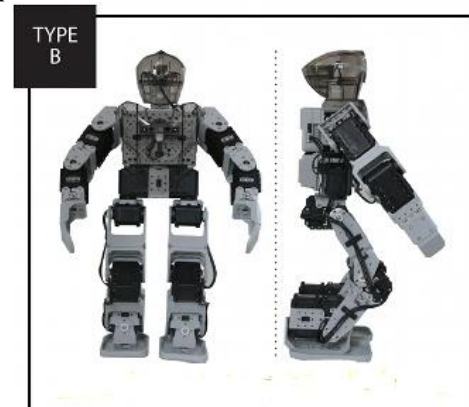
Robot *humanoid* merupakan robot yang memiliki struktur kerangka seperti manusia, memiliki kepala, tangan dan kaki yang dirancang semirip mungkin dengan manusia. Untuk itu, robot ini juga dibuat mampu melakukan pergerakan atau melakukan kegiatan seperti manusia [6]. Robot *humanoid* sudah banyak beredar dipasaran seperti Robotis Bioloid Premium. Robotis Bioloid Premium merupakan produk buatan Korea Selatan yang sudah tidak asing lagi dikalangan penggiat robot. Robot Bioloid Premium adalah kit robot pendidikan *do-it-yourself* (DIY) dari Robotis yang menggunakan blok aktuator servo Dynamixel modular [7]. Robotis menyediakan robot ini untuk penggemar robot, menginspirasi penggiat robotika, dan mereka yang memiliki pikiran kreatif. Premium Bioloid hadir dalam kit robot lengkap dengan instruksi untuk perakitan robot *humanoid*, anjing, dinosaurus, *droid*

probing, kura-kura, robot penggali, dan bahkan laba-laba. Robot DIY juga mampu diubah dari robot *humanoid biped* menjadi robot beroda dan robot *hexapod*. Pada Robotis Bioloid memiliki tiga tipe perakitan robot yang dinamakan dengan tipe A, tipe B dan tipe C. Perbedaan pada setiap tipe terdapat pada jumlah dan letak dari dynamixel servo yang dirakit yang dapat dilihat pada gambar 1, 2, dan 3.



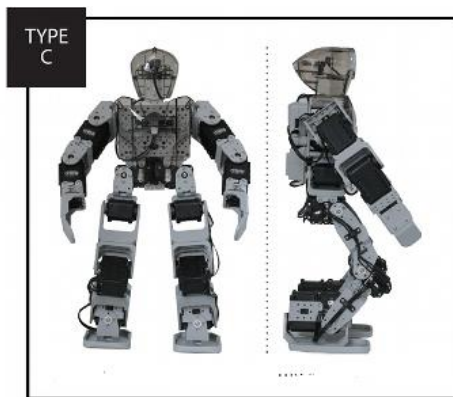
Gambar 1. Robotis Bioloid tipe A

Perbedaan signifikan dari semua tipe terdapat pada kaki bagian atas, yaitu pangkal paha. Pada tipe A pangkal paha dapat melakukan gerakan berputar, dapat bergerak ke kiri dan ke kanan, dan dapat bergerak kedepan dan ke belakang. Dari tiga tipe yang ada tipe A dapat melakukan lebih banyak mode gerakan, sehingga tipe ini banyak digunakan oleh para penggiat robotika. Namun pada tipe B dan tipe C juga menggunakan dynamixel servo lebih banyak dari tipe B dan tipe C.



Gambar 2. Robotis Bioloid tipe B

Pada gambar 2 diatas dapat dilihat bentuk susunan dynamixel servo pada Robotis Bioloid tipe B. Tipe B pangkal paha dapat bergerak berputar dan dapat bergerak kedepan dan ke belakang. Pada tipe ini tidak dapat melakukan gerakan ke kiri dan ke kanan seperti pada tipe A.



Gambar 3. Robotis Bioloid tipe C

Pada tipe C yang dapat dilihat pada gambar 3, bagian pangkal paha tidak dapat bergerak memutar seperti pada tipe A dan tipe B. Pergerakan yang dapat dilakukan pada Robotis Bioloid tipe C hanya dapat melakukan gerakan kedepan dan kebelakang, serta gerakan kekiri dan kekanan. Gerakan yang dapat dilakukan oleh masing-masing tipe dipengaruhi oleh arah *horn* dari dynamixel servo yang digunakan, *horn* ini dihubungkan dengan *frame* pada robot. Sama halnya dengan persendian pada manusia [8].

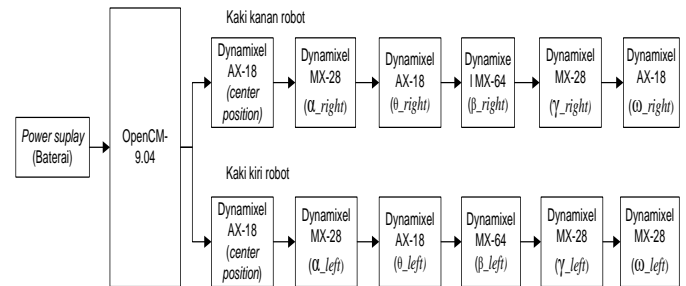
B. Diagram Blok

Pad alat ini menerapkan metode *invers kinematik* yang diterapkan sebagai metode yang dapat menyesuaikan dengan bentuk serta ukuran robot tanpa merusak gerakan yang sudah dirancang. Selain itu metode *invers kinematik* juga digunakan untuk analisa pergerakan pada kaki robot menjadi lebih otomatis tidak manual lagi [9].

Alat ini menggunakan *controller* OpenCM-9.04, sebagai pengolah data pada robot *humanoid*. Pada OpenCM-9.04 sebagai pengontrol utama pada robot, seluruh program yang dibuat akan dimuat di *controller* ini. Analisa *invers kinematik* akan diproses disini, setelah data analisa pergerakan diproses maka data tersebut akan dikirimkan pada aktuator robot. Aktuator robot humanoid yang dirancang menggunakan dynamixel servo seperti aktuator penyusun Robotis Bioloid Premium dan beberapa dynamixel servo lainnya yang telah di *upgrade*.

Dynamixel servo yang digunakan pada alat ini terdiri dari tiga tipe servo yaitu, dynamixel servo AX-18, dynamixel servo MX-28 dan dynamixel servo MX-64. Ketiga dynamixel servo ini diletakkan pada posisi yang berbeda, untuk memaksimalkan kinerja dari robot. Dynamixel servo digunakan sebagai aktuator atau penggerak pada robot dipenelitian ini, pada masing-masing servo diterapkan *invers kinematik*. Untuk menandai sudut-sudut yang telah dibuat pada perancangan maka disetiap servo diinisialisasikan dengan α , β , γ , θ , dan ω . Sementara itu untuk membedakan kakan dan kiri ditambahkan *left* dan *right*. Servo pinggang robot diatur pada posisi center atau titik tengah saja sehingga pada perubahan nilai koordinat, tidak akan berpegaruh pada posisinya. Dynamixel servo

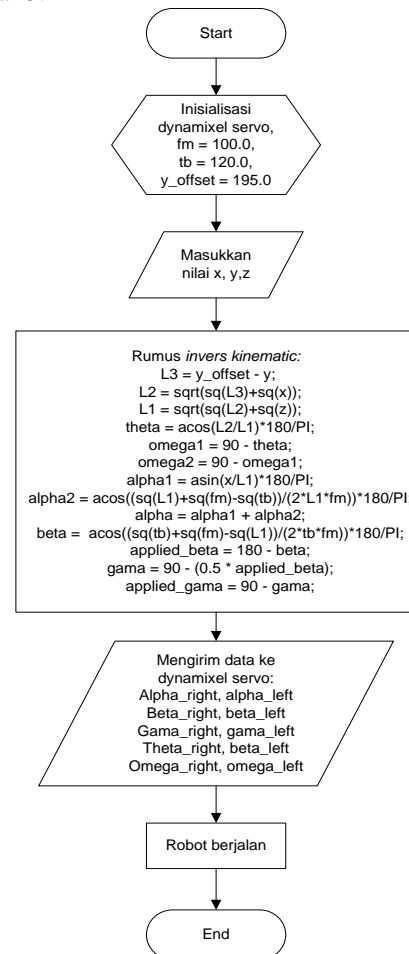
AX-18 diinisialisasikan dengan α_{right} , α_{left} , ω_{right} , dan ω_{left} . Dynamixel servo MX-28 diinisialisasikan dengan θ_{right} , θ_{left} , γ_{right} dan γ_{left} . Dynamixel servo MX-64 diinisialisasikan dengan β_{right} dan β_{left} . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram blok pada gambar 4.



Gambar 4. Digram blok sistem

C. Flowchart

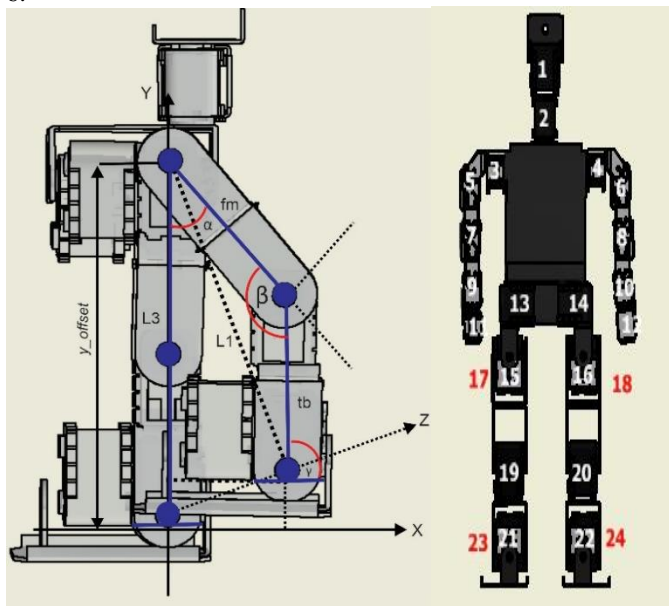
Prinsip kerja alat secara keseluruhan dibuat dalam bentuk diagram alir atau disebut juga dengan flowchart. Dengan ini prosesi dari program akan digambarkan dari awal program dijalankan hingga akhir dari program, yang dituangkan dalam bentuk gambar atau simbol-simbol [10]. Hal ini berguna untuk membantu programmer memecahkan masalah kedalam segmen yang lebih kecil. Flowchart sistem keseluruhan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Flowchart sistem keseluruhan

D. Rancangan Software

Perancangan *software* secara keseluruhan pada tugas akhir ini menggunakan Robotis_OpenCM, yaitu software buatan Robotis untuk memprogram OpenCM-9.04 yang digunakan sebagai kontroler dari robot humanoid yang dirancang. Pada software Robotis_OpenCM programmer akan menuliskan kode program dengan algoritma-algoritma yang dibutuhkan dari penerapan metode *invers kinematic*. Visualisasi *invers kinematic* kerangka pada kaki robot dapat dilihat pada gambar 6.

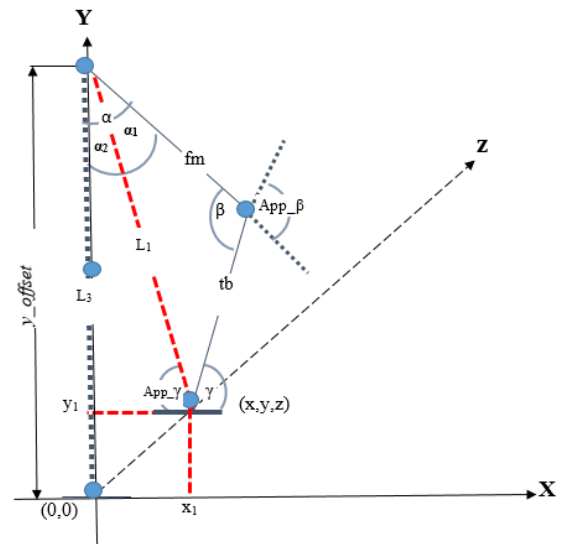


Gambar 6. Visualisasi penerapan *invers kinematic* dan ID servo

Panjang kaki robot diukur antara *joint* pada gambar 6, ditandai dengan bulatan berwarna biru. Untuk panjang *joint* dikaki bagian atas diinisialisasikan dengan f_m (*femur length*) dengan panjang 10 cm. Panjang antara *joint* pada kaki bagian bawah diinisialisasikan dengan t_b (*tibia length*) panjangnya adalah 12 cm. Sedangkan panjang keseluruhan dari keduanya diinisialisasikan dengan y_{offset} .

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa robot *humanoid* yang dirancang menerapkan tipe rancangan Robotis Bioloid tipe A. Pada bagian pinggang yang jika dilihat pada gambar 6, servo pada bagian paling atas yang difungsikan untuk memutar kaki, namun untuk gerakan jalan servo ini akan diaktifkan pada *center position* yaitu posisi tengah dengan ID 13 pada kaki kanan dan 14 pada kaki kiri. Servo yang digunakan adalah dynamixel servo AX-18. Yang ditandai dengan α difungsikan sebagai persendian pangkal paha, mengangkat kaki dari bagian atas kedepan. Servo yang digunakan adalah servo dynamixel MX-28 dengan ID 15 pada kaki kanan dan 16 pada kaki kiri. Pada persendian lutut diinisialisasikan dengan β , difungsikan untuk gerakan kaki dilipat dan diluruskan layaknya sendi manusia. Servo yang digunakan pada bagian ini adalah

dynamixel servo MX-64 dengan ID 19 di kaki kanan dan 20 dikaki kiri. Sementara pada bagian mata kaki robot diinisialisasikan dengan γ , difungsikan untuk persendian pergerlangan kaki yang dapat bergerak keatas dan kebawah. Servo yang digunakan adalah dynamixel MX-28, dengan ID 21 pada kaki kanan dan 22 pada kaki kiri. Konfigurasi *invers kinematic* yang diterapkan pada robot *humanoid* ini, lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Konfigurasi *invers kinematic* kaki robot tampak samping

Pada konfigurasi *invers kinematik* diatas dapat diperoleh persamaan untuk mendapatkan nilai dari sudut α , β , dan γ yang dibutuhkan untuk pergerakan jalan robot. Untuk itu dapat menggunakan persamaan (1-6). Terdapat tiga nilai yang konstan pada konfigurasi ini yaitu nilai dari f_m (*femur length*), t_b (*tibia length*) dan y_{offset} . Ketiga nilai ini merupakan ukuran dari antar *joint* dan panjang keseluruhan pada kaki robot, yang dapat diubah sesuai ukuran kaki robot tanpa merusak gerakan yang telah dirancang.

$$L_3 = y_{offset} - y \quad (1)$$

$$L_2 = \sqrt{L_3^2 + y^2} \quad (2)$$

$$L_1 = \sqrt{L_2^2 + z^2} \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \sin^{-1} \left(\frac{x - L_1}{L_1} \right) \times \frac{180}{PI} \quad (4)$$

$$\alpha_2 = \cos^{-1} \left\{ \frac{L_1^2 + f_m^2 - t_b^2}{2 \times L_1 \times f_m} \right\} \times \left(\frac{180}{PI} \right) \quad (5)$$

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (6)$$

Setelah mendapatkan nilai α , selanjutnya untuk memperoleh nilai sudut β dapat menggunakan persamaan (7-10).

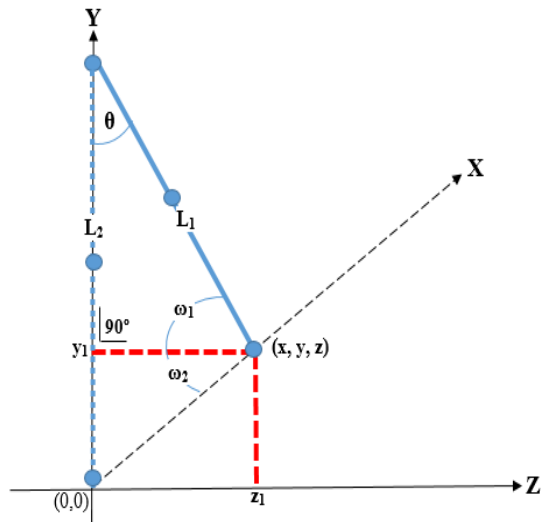
$$\beta = \cos^{-1} \left\{ \frac{t_b^2 + f_m^2 - L_1^2}{2 \times t_b \times f_m} \right\} \times \left(\frac{180}{PI} \right) \quad (7)$$

$$app_\beta = 180 - \beta \quad (8)$$

$$\gamma = 90 - (0.5 \times app_\beta) \quad (9)$$

$$app_\gamma = 90 - \gamma \quad (10)$$

Untuk memaksimalkan penerapan *invers kinematic* pada pergerakan jalan robot maka dibuatlah konfigurasi seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Konfigurasi *invers kinematic* kaki robot tampak depan

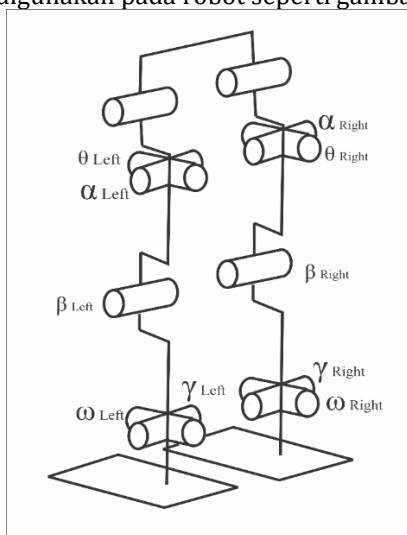
Pada konfigurasi pada gambar 8 dapat diperoleh persamaan (11-13) untuk memperoleh nilai sudut θ dan ω .

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{L_2}{L_1} \right) \times \left(\frac{180}{PI} \right) \quad (11)$$

$$\omega_1 = 90 - \theta \quad (12)$$

$$\omega_2 = 90 - \omega_1 \quad (13)$$

Dengan menerapkan metode *invers kinematic* dengan konfigurasi seperti gambar 7 dan gambar 8, maka kita dapat menentukan konfigurasi dari sudut dynamixel servo yang akan digunakan pada robot seperti gambar 9.

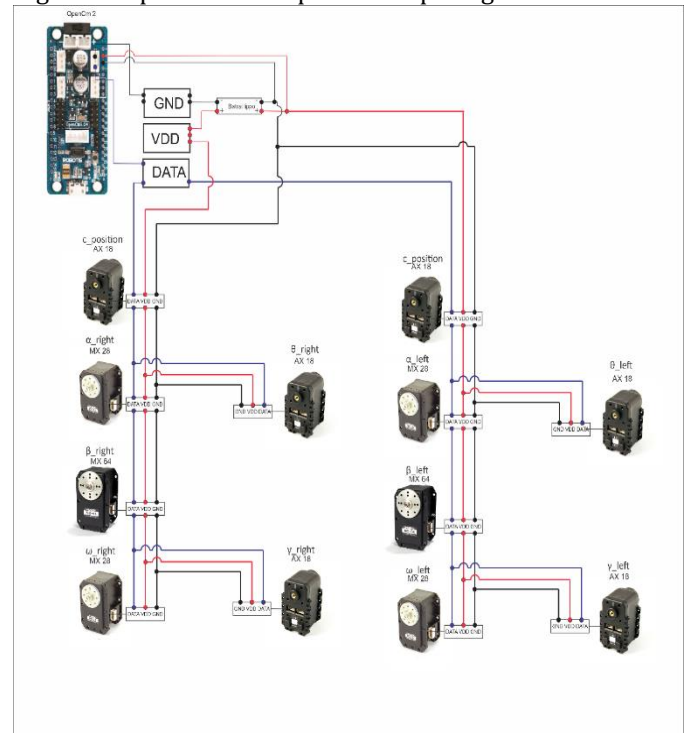


Gambar 9. Konfigurasi sudut dynamixel servo

E. Rancangan Hardware

Perancangan hardware merupakan tahapan untuk membuat gambaran perangkat keras dari alat pada tugas

akhir ini. Perancangan hardware bertujuan untuk memudahkan serta mengurangi tingkat kesalahan dalam membuat perangkat keras sehingga mendapatkan hasil yang optimal [11]. Rangkaian keseluruhan yang akan digunakan pada robot dapat dilihat pada gambar 9.



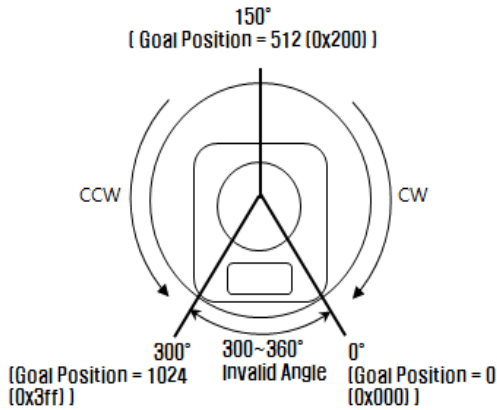
Gambar 10. Rangkaian keseluruhan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dilakukan pengujian dan analisa dari perancangan yang telah dibuat. Pengujian pertama dilakukan secara mekanikal yang bertujuan untuk membandingkan rancangan mekanik yang sudah dibuat sebelumnya. Dengan pengujian mekanik ini kita dapat melihat apakah alat yang dibuat sudah berjalan dengan baik dan apakah telah sesuai dengan yang diharapkan. Pada perancangan alat ini menggunakan microcontroller OpenCM-9.04 sebagai pengontrol utama dari alat ini. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya alat ini menggunakan dynamixel servo sebagai aktuator robot dengan tiga tipe yang berbeda. Perancangan alat ini dibuat berupa robot humanoid yang dirakit menggunakan frame dari bahan plat aluminium setebal 1.5 mm yang dapat dilihat pada gambar 4.

Selanjutnya pengujian dan analisa putaran dynamixel servo yang digunakan pada robot. Metode *invers kinematic* yang diterapkan pada pergerakan robot untuk memastikan apakah metode ini dapat mengatasi perubahan pada *body* robot sehingga dapat tetap bergerak sesuai dengan rancangan gerakan yang dibutuhkan. Seperti pada alat ini diujikan pada gerakan jalan robot. Metode ini dianalisa dengan formula-formula yang dibuat berdasarkan pendekatan trigonometri. Dimana trigonometri mengacu pada segitiga, yang sama-sama kita ketahui segitiga

memiliki tiga sudut dengan besar sudut keseluruhannya adalah 180°. Dynamixel servo berputar dengan derajat kebebasan yang memiliki batasan 0°-300° untuk dynamixel servo tipe AX-18 dan 0°-360° untuk dynamixel servo tipe MX, untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 11. Goal position dynamixel servo

Dynamixel servo memiliki nilai tersendiri yang menandai pergerakannya nilai ini diperoleh dari titik-titik yang mengitari putaran servo atau sering disebut dengan goal position. Semisal nilai center position dynamixel servo AX adalah 512 pada 150° dan center position untuk tipe dynamixel servo yaitu 2047 pada 180°. Dynamixel servo berputar dengan derajat kebebasan yang memiliki batasan 0°-300° untuk dynamixel servo tipe AX-18 dan 0°-360° untuk dynamixel servo tipe MX, untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 10.

Dynamixel servo memiliki nilai tersendiri yang menandai pergerakannya nilai ini diperoleh dari titik-titik yang mengitari putaran servo atau sering disebut dengan goal position. Semisal nilai center position dynamixel servo AX adalah 512 pada 150° dan center position untuk tipe dynamixel servo yaitu 2047 pada 180°. Untuk mengkonversi data dari dynamixel servo dapat menggunakan persamaan 14.

$$\alpha = \frac{\text{nilai satu putaran (goal position)}}{\text{batas derajat kebebasan servo}} \quad (14)$$

Agar dynamixel servo dapat memproses data yang diperoleh dari invers kinematic, dapat menggunakan persamaan 14. Berikut penyelesaiannya:

$$\begin{aligned} \text{MX series center position} &= 2047 \\ 0/\text{CW} &= 0 \\ 360/\text{CCW} &= 4095 \\ \alpha &= \frac{4095}{360} = 11.375^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AX series center position} &= 512 \\ 0/\text{CW} &= 0 \\ 300/\text{CCW} &= 1023 \\ \alpha &= \frac{1023}{300} = 3.41^\circ \end{aligned}$$

Dari penyelesaian diatas maka diperoleh nilai untuk satu derajat putaran dynamixel servo tipe MX adalah 11.375 pada goal position, sedangkan nilai satu derajat putaran dynamixel servo tipe AX yaitu 3.41 pada goal position.

Selanjutnya pengujian dan analisa pada pergerakan jalan robot, pengujian dilakukan dengan menghubungkan dynamixel servo dengan mikrokontroler dan baterai, 12V dihubungkan untuk dynamixel servo dan 7.4V untuk openCM-9.04. Ada tiga tahapan jalan yang dirancang pada robot yaitu saat kaki tegak (*walready*). Posisi tegak diranang dengan lutut robot ditekuk serta mata kaki dan bokong disejajarkan. Kemudian posisi kaki melangkah, dimana kaki kanan diangkat dan dimajukan sekaligus, dan untuk keseimbangan kaki kiri agak dimiringkan. Terakhir ada posisi terakhir dinamakan maju, dimana posisi kaki kanan menapak kembali dengan osisi lebih maju dari kaki kiri dan kaki kiri kembali di posisi *walkready*. Sebelum pengujian untuk gerakan kaki robot kita harus mengetahui koordinat x, y, dan z yang telah dirancang untuk pergerakan robot yang dapat dilihat pada tabel 1.

TABEL I. NILAI KOORDINAT X,Y, DAN Z

Kaki	Posisi	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
Kanan	Tegak	0.0	0.0	0.0
	Melangkah	20.0	10.0	20.0
	Maju	20.0	10.0	20.0
Kiri	Tegak	0.0	0.0	0.0
	Melangkah	30.0	15.0	20.0
	Maju	30.0	15.0	20.0

Adapun nilai perhitungan dari *invers kinematic* pada masing-masing sudut yang telah dirancang dapat dilihat pada tabel II untuk kaki kanan dan tabel III untuk kaki kiri.

TABEL II. INVERS KINEMATIC PADA KAKI KANAN

Posisi kaki	α_{right}	β_{right}	γ_{right}	θ_{right}	ω_{right}
Tegak	2343	1369	2345	485	490
Melangkah	2465	1275	2392	505	510
Maju	2465	1275	2392	505	510




TABEL III. INVERS KINEMATIC PADA KAKI KIRI

Posisi kaki	α_{left}	β_{left}	γ_{left}	θ_{left}	ω_{left}
Tegak	1750	2724	1748	545	515
Melangkah	1568	2858	1681	523	493
Maju	1568	2858	1681	523	493

Nilai x, y dan z yang diinputkan pada program, ini akan membuat perubahan pada gerakan robot, nilai x akan membuat perubahan pada sudut α , β , γ yang akan membentuk gerak maju pada kaki robot. Nilai y akan memberikan perubahan pada sudut α , β , γ yang akan membuat robot mengangkat kaki sesuai koordinat yang diinputkan. Sementara nilai koordinat z akan memberikan

pengaruh pada nilai sudut θ dan ω yang akan memberikan pengaruh pada posisi miring dari kaki robot θ untuk kaki bagian atas dan ω untuk kaki bagian bawah. Pada table IV dapat dilihat gerakan yang dibuat dengan menggunakan metode *invers kinematic*.

TABEL IV. IMPLEMENTASI GERAKAN PADA KAKI ROBOT

No.	Posisi	Bentuk gerakan
1	Tegak	
2	Melangkah	
3	Maju	

Pengaruh Tipe Kaki dan Tinggi Robot *Humanoid* pada Penerapan Metode *Invers Kinematic*

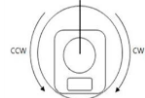
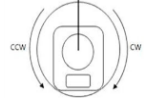
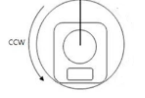

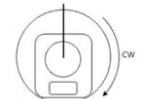

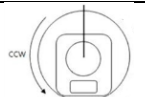

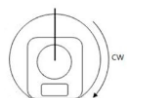



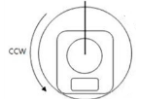

Robotis Bioloid memiliki tiga tipe perakitan robot *humanoid*, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Terdapat tiga tipe yaitu tipe A, tipe B, dan tipe C yang memiliki perbedaan pada susunan servo pada kaki bagaian atas robot. Susunan servo ini akan menmpengaruhi pergerakan dari robot, tipe A memiliki kelebihan dengan dapat melakukan tiga gerakan pada kakibagian atas atau bisa disebut persendian pada bagian paha, dibandingkan dengan dua tipe lainnya yang hanya dapat melakukan dua gerakan.

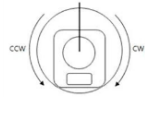

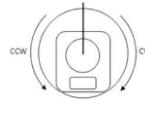

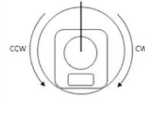

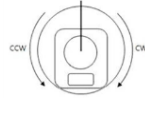

Metode *invers kinematik* pada analisa pergerakan kaki robot *humanoid*, dapat disesuaikan dengan bentuk robot yang kita butuhkan. Dengan menerapkan metode ini kita dapat menentukan bagaimana robot akan bergerak, gerakan apa saja yang dibuthkan oleh robot, serta servo apa saja yang dibutuhkan untuk pergerakan tersebut dengan kata lain kita membuat robot tau harus bergerak kemana. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelum oleh Ahmad Iqbal pada penelitiannya yang membahas evaluasi *invers kinematic*, metode ini juga digunakan untuk keseimbangan robot *quardruped*.

Pada penelitian ini menerapkan tipe A, pada perakitan robot dengan tinggi tobot yang bertikai ± 10 cm. Panjag kaki robot dibagi menjadi dua bagian yaitu kaki bagian atas $f_m =$

10 cm dan kaki bagian bawah $t_b = 12$ cm. Panjang kaki robot sangat mempengaruhi analisa dari pergerakan kaki dengan metode *invers kinematic*, jika ukuran panjang kaki tidak sesuai dengan robot yang digunakan, maka pergerakan yang dirancang pada robot tidak akan sinkron. Panjang kaki robot diukur dari antar *joint* yang dapat dilihat pada gambar 4 yang ditandai dengan titik biru. Namun ukuran ini dapat diganti kapanpun sesuai kebutuhan tanpa mengubah analisa rancangan pergerakan lainnya. Pergerakan yang dirancang dengan *invers kinematic* dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8. Untuk arah putaran dari servo dynamixel yang digunakan pada robot dapat dilihat pada tabel V.

TABEL IV. IMPLEMENTASI METODE INVERS KINEMATIK TERHADAP DYNAMIXEL SERVO PADA KAKI ROBOT

No.	Posisi kaki	Arah putaran dynamixel servo	Visualisasi	Arah aksis
1.	Pinggang kanan, <i>horn</i> menghadap kebawah	Ditetapkan pada <i>center position</i>		-
2.	Pinggang kiri, <i>horn</i> menghadap kebawah	Ditetapkan pada <i>center position</i>		-
3.	Paha kanan, <i>horn</i> menghadap kekanan	Dari <i>center position</i> , servo akan berputar berlawanan arah jarum jam.		
4.	Paha kiri, <i>horn</i> menghadap kekiri	Dari <i>center position</i> , servo akan berputar searah jarum jam.		
5.	Bokong kanan, <i>horn</i> membelakangi servo paha	Dari <i>center position</i> , servo akan berputar berlawanan arah jarum jam.		
6.	Bokong kiri, <i>horn</i> membelakangi servo paha	Dari <i>center position</i> , servo akan berputar searah jarum jam.		
7.	Lutut kanan	Dari <i>center position</i> , servo akan berputar searah jarum jam.		
8.	Lutut kiri	Dari <i>center position</i> , servo akan berputar berlawanan		

		arah jarum jam.		
9.	Mata kaki kanan	Dari <i>center position</i> , servo akan difungsikan berputar dua arah sesuai kebutuhan.		
10.	Mata kaki kiri	Dari <i>center position</i> , servo akan difungsikan berputar dua arah sesuai kebutuhan.		
11.	Tumit kanan	Dari <i>center position</i> , servo akan difungsikan berputar dua arah sesuai kebutuhan.		
12.	Tumit kiri	Dari <i>center position</i> , servo akan difungsikan berputar dua arah sesuai kebutuhan.		

IV. PENUTUP

Setelah melakukan pengujian penerapan invers kinematic pada pergerakan jalan robot humanoid, maka dapat diambil kesimpulan yaitu, analisa perancangan gerakan jalan robot dapat diimplementasikan pada robot. Robot menggunakan struktur perakitan Robotis Bioloid tipe A. Gerakan robot dibuat berdasarkan analisa metode *invers kinematic* yang menghasilkan tiga gerakan yang diinisialisasikan dengan tegak, melangkah dan maju. Ketentuan yang berlaku dalam penerapan metode *invers kinematic* mengacu pada panjang antar *joint* pada kaki robot, menentukan arah putaran dynamixel servo, menentukan batasan pergerakan sudut, dan konversi nilai sudut analisa metode invers kinematic ke nilai putaran dynamixel servo. Gerakan dibuat dengan menentukan arah putaran dynamixel servo seperti pada tabel IV.

Berdasarkan pembuatan alat ini dengan penerapan metode *invers kinematic* pada perancangan pergerakan jalan robot humanoid, masih banyak kekurangan yang terdapat pada alat. Untuk itu penulis akan memberikan beberapa saran dan masukan agar kedepannya alat ini bisa lebih baik lagi. Berikut saran dan tambahan dari penulis yang dapat dikembangkan, yang pertama pergerakan jalan pada robot ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut lagi, juga dapat menggunakan servo yang berbeda. Selanjutnya, perhitungan proposional kerangka penyusun bodi robot

(*frame*) sangat berpengaruh pada perge rakan jalan robot. Buatlah perhitungan proposional robot, serta gunnakan frame yang berbahan ringan agar robot lebih mudah untuk bergerak.

REFERENSI

- [1] R. Andianto, R. Maulana, and G. E. Setyawan, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pola Berjalan Pada Robot Humanoid Menggunakan Metode Inverse Kinematic," vol. 2, no. 8, pp. 2753–2760, 2018.
- [2] A. R. Kurniawan and A. Triwiyatno, "Perancangan Robot Bipedal Dengan Sistem Berjalan Berbasis Inverse Kinematic Dengan Sensor Mpu 6050 Sebagai Indikator Kemiringan."
- [3] S. Setiawan, Firdaus, B. Rahmadya, and Derisma, "Penerapan Invers Kinematika Untuk Pergerakan Kaki Robot Biped," no. November, pp. 1–9, 2015.
- [4] W. Budiharto and P. A. Nalwan, "Membuat-Sendiri-Robot-Humanoid.pdf," Jakarta: PT Elexmedia Komputindo, p. 229.
- [5] Mochamad Farid Mustofa, *Sistem Pengaturan Keseimbangan Robot Humanoid Untuk Berdiri Dan Berjalan Pada Bidang Miring*. 2016.
- [6] A. A. Samarskij and P. N. Vabishchevich, *Numerical methods for solving inverse problems of mathematical physics*, vol. 52. 2007.
- [7] Robotis, "BIOLOID Premium," *ROBOTIS*. 2019.
- [8] U. W. Putri and Thamrin, "Perancangan Pergerakan Kaki Robot Humanoid Menggunakan Servo Dynamixel Berbasis Opencm 9.04," vol. 7, no. 2, pp. 1–9, 2019, doi: 10.2478/amsc-2014-0077.
- [9] A. I. Nasrudin, K. Anam, and M. A. P. N, "Evaluasi Inverse Kinematics untuk Robot Quadruped Menggunakan Sensor Accelerometer," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 15, no. 3, p. 9, 2019.
- [10] M. K. Wilis Kaswidjanti, S.Si., "Algoritma dan Pemrograman Function," *Tek. Inform. Fak. Teknol. Ind. Univ. Pembang. Nas. "Veteran" Yogyakarta*.
- [11] T. G. S. Utami Afriyani Soraya; Ngilma, Nisa Latifatul; Surya B., Tito Garry; Dwi J., Raysita Galuh, "Jasa Pembuatan Dan Pengembangan Teknologi Robotika Sebagai Media Pembelajaran Pendidikan Menuju Indonesia Modern," *Progr. Kreat. Mhs. - Kewirausahaan*, vol. 49, no. PKM-K 2013, pp. 1134–1140, 2013.

Biodata Penulis

Fuji Widia, lahir di Pasar Lansek Kadok, 02 Februari 1998. Menyelesaikan studi DIV Teknik Elektro Industri pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Risfendra, S.Pd, MT, Ph.D, lahir di Riau, 1979. Sarjana Teknik Elektronika di Universitas Negeri Padang, lulus tahun 2004. Program S2 ditempuh pada Teknik Sistem Pengaturan, ITS Surabaya tahun 2008 dan S3 Shouthern Taiwan University of Science and Technology, Taiwan tahun 2017 dalam kajian robotik dan otomasi industri, teknik kontrol dan realisasinya pada rangkaian terpadu. Staf pengajar pada Jurusan Teknik Elektro FT UNP sejak tahun 2005–sekarang.