

Perancangan Dan Pola Gerak Robot Quadruped Menggunakan Metode *Invers Kinematik*

Amperawan^{1*}, Masayu Anisah², Sabibal Rasyad³, Faisal Damsi⁴, Sengon Andrean⁵

^{1,2,5} Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang, Indonesia

^{3,4} Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang, Indonesia

*e-mail : amperawan@polsri.ac.id

ABSTRAK

Quadruped robot adalah multi-legged robot yang digerakkan dengan 4 kaki menggunakan 12 dynamixel servo AX-12. *Robot quadruped* masih banyak dikembangkan oleh para peneliti dibidang lomba robot dan membantu manusia dalam bencana alam yang beresiko tinggi. Tujuan menggunakan *Invers Kinematik* pada robot quadruped untuk mempercepat gerakan dan waktu lebih singkat dalam navigasinya. Pada penelitian ini digunakan metode *invers kinematic* pada pergerakan kaki robot quadruped. Selama ini cara menggerakkan kaki robot adalah dengan memberi nilai langsung pada setiap joint / sendi akibatnya membutuhkan waktu yang lebih lama. Permasalahan waktu yang lama diatasi menggunakan *inverse kinematic*. *Inverse kinematics* dapat mempercepat proses pendefinisian pose kaki dengan data masukkan berupa titik koordinat dan hasil keluaran berupa nilai untuk setiap joint (sendi robot). Robot menggunakan dynamixel servo AX-12 sebagai aktuator dan kerangka mengikuti polasusunan 3 DOF / 1 kaki. Penelitian ini gerakan robot dalam satu siklus langkah terdapat 4 step langkah dan mencari nilai sudut posisi kaki pada tiap stepnya. Pada penelitian ini rata-rata error ketepatan titik koordinat perstep kaki adalah sebesar 3.51%, pengujian jalan lurus maju, menunjukkan bahwa robot memiliki nilai simpangan rata-rata terbesar 7.14 %, sedangkan pada jalan lurus samping sebesar 3.76%. Kecepatan rata-rata robot sebesar 17,27 cm/detik dalam berjalan maju.

Kata Kunci : Robot Kaki Empat, *Invers Kinematik*, Pola Berjalan, dynamixel Servo AX-12

Design And Motion Pattern Of A Quadruped Robot Using The Inverse Kinematics Method

ABSTRACT

Quadruped robot is a multi-legged robot that is moved by 4 legs using dynamixel 12 AX-12 servos. *Quadruped robots* are still being developed by researchers in the field of robot competitions and helping humans in high-risk natural disasters. The aim of using *Inverse Kinematics* on quadruped robots is to speed up movement and reduce navigation time. In this research, the *inverse kinematic* method is used to move the legs of a quadruped robot. So far, the way to move the robot's legs is to give a direct value to each joint, so it takes longer. The long time problem is solved using *inverse kinematic*. *Inverse kinematic* can speed up the process of defining leg poses with input data in the form of coordinate points and output results in the form of values for each joint (robot joint). The robot uses an dynamixel AX-12 servo as an actuator and a frame following a 3 DOF / 1 leg arrangement pattern. In this research, the robot moves in one step cycle, there are 4 steps and looks for the angle value of the foot position at each step. In this research, the average error in the accuracy of the coordinate points per foot step was 3.51%, testing on a straight forward road showed that the robot had the largest average deviation value of 7.14%, while on a straight side road it was 3.76%. The average speed of the robot is 17.27 cm/second in moving forward.

Keywords : *Quadruped Robot*, *Inverse Kinematics*, *Walking Pattern*, dynamixel Servo AX-12

Correspondence author : Amperawan, Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang, Indonesia.

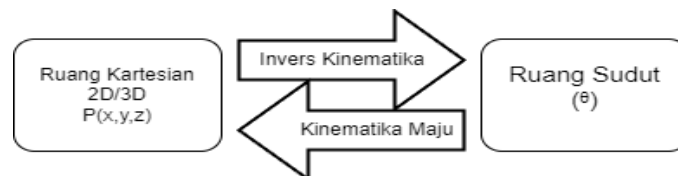
E-Mail: amperawan@polsri.ac.id

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*). Penelitian dibidang robotika sudah berkembang pesat, 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. Salah satu robot berkaki yaitu *robot quadruped*. *Robot quadruped* merupakan robot berkaki empat yang terdiri dari dua belas motor servo. Pada penelitian ini *robot quadruped* menerapkan metode *invers kinematics* pada analisa perancangan pergerakan kaki robot. Robot ini menggunakan *dynamixel servo AX-12* sebagai aktuator dengan pemasangan kerangka mengikuti pola susunan 3 DOF / 1 kaki dan *OpenCM-9.04* sebagai kontrol. Metode *invers kinematics* ini merupakan metode analisa untuk dapat menentukan besar sudut pada setiap joint dengan nilai *end-effector* sudah diketahui. Setiap kaki pada *robot hexapod* tersusun dari 3 sudut penggerak atau *Degree of Freedom* (DOF). Tiap DOF dibentuk oleh servo sebagai motor penggerak yang dihubungkan dengan link *coxa*, *femur* dan *tibia*[1]

Dalam membangun robot quadruped, perlu dilakukan perancangan pola langkah (gait) kaki robot. Dalam perancangan gait kaki robot ini dapat menerapkan metode *forward kinematic* dan *inverse kinematics*. Masukan perhitungan *inverse kinematics* berupa posisi *end of effector* yang terletak pada ujung kaki dalam bentuk nilai koordinat. Hasil perhitungan *Inverse kinematics* ini menghasilkan nilai sudut yang harus ditempuh oleh servo pada tiap DOF [2]. Jadi bisa dikatakan metode invers kinematika ini merupakan kebalikan dari *trial-error*.

Kinematika robot adalah studi analisis pergerakan kaki atau lengan robot terhadap sistem kerangka koordinat acuan yang diamatau bergerak tanpa memperhatikan gaya yang menyebabkan pergerakan tersebut. Model kinematika merepresentasikan hubungan *end effector* dalam ruang tiga dimensi dengan variabel sendi dalam ruang sendi.

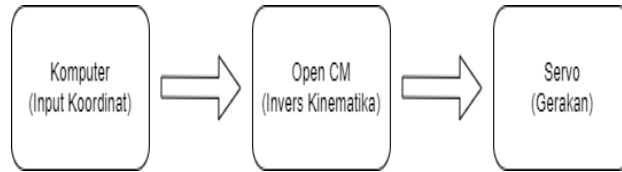


Gambar 1. Model Kinematika Robot

Dalam kinematika dikenal istilah *forward* kinematika dan *inverse kinematics*. *Forward* kinematika adalah metode untuk menentukan orientasi dan posisi *end effector* dari besarnya sudut sendi dan panjang link kaki robot. Sedangkan invers kinematika merupakan kebalikan dari *forward* kinematika yaitu metode untuk mengetahui nilai sudut pada sendi-sendi yang diperlukan agar *end effector* dapat mencapai posisi yangdikehendaki.

Robot Quadruped merupakan *robot multi- legged* robot yang digerakkan dengan 4 kaki. Sistem ini dirancang sesederhana mungkin, dengan hanya membutuhkan satu mikrokontroler dan satu jenis aktuator. Sistem yang sederhana membantu robot dapat berjalan dengan baik, dikarenakan berat yang ringan. Masukan dari sistem ini berupa koordinat yang dimasukkan secara manual melalui PC/ Komputer. Selanjutnya perhitungan *inverse kinematics* diproses pada mikrokontroler OpenCM 9.04. Perhitungan *inverse kinematics* menghasilkan nilai sudut yang

dirubah menjadi format gerakan dan dikirimkan ke servo sehingga servo bergerak sesuai yang diharapkan. Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem yang dibangun pada penelitian ini.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Robot Quadruped

OpenCM 9.04 merupakan papan mikrokontroler yang dirancang oleh ROBOTIS untuk dapat mengontrol *Dynamixel* seri AX, MX, dan XL. *OpenCM 9.04* dapat diprogram menggunakan Robotis IDE dan Arduino IDE. Robotis IDE merupakan *software* yang dikembangkan oleh pihak Robotis untuk para pengguna agar dapat memprogram mikrokontroler yang akan dikembangkan[3-4].



Gambar 3. OpenCM 9.04

Motor servo dynamixel AX-12A adalah aktuator dan modular yang terdiri atas *gear reducer*, motor DC (*Direct Current*), dan kontroler dengan kemampuan komunikasi. Setiap motor servo AX-12A memiliki dua buah konektor yang masing-masing konektor tersebut terdapat tiga pin. Seperti yang terlihat pada gambar 4, pin ketiga diantaranya adalah Vdd, GND, dan data. Pin data pada konektor yang digunakan dalam komunikasi dengan kontroler. koneksi sumber umumnya diberikan dengan rentang antara 9 hingga 12 volt DC[3-4].



Gambar 4. Dynamixel Motor Servo AX-12A

Dynamixel Servo menggunakan protokol komunikasi data serial UART. Instruksi data perintah gerakan dapat dilihat dari *byte* pertama berisi nilai 0xFF sebagai tanda dimulainya paket, ID servo, panjangnya data pada nilai parameter. Parameter sendiri berisi nilai gerakan servo berupa *hexadesimal*, kemudian diakhiri checksum, urutan protokolnya paket data yaitu : 0xFF-ID-Length-Parameter-Checksum.

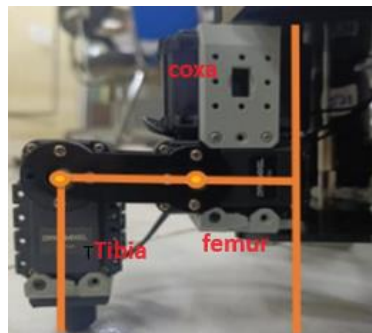
Penggunaan *end-effector* dari robot lengan ke posisi tertentu, maka diperlukan metode gerak *invers kinematics*. Metode ini menggunakan masukan posisi koordinat berupa X, Y, dan Z. Hasil keluaran dari *inverse kinematics* merupakan sudut yang terbentuk pada joint. *Robot quadruped*

memiliki 3 joint pada tiap kakinya. Sudut yang dibentuk oleh setiap joint tersebut, yaitu sudut *coxa* (A_0), sudut *femur* (A_1), sudut *tibia* (A_2). Lalu nilai sudut-sudut tersebut dikonversi menjadi nilai PWM untuk menggerakkan servo. Fungsi *inverse kinematics* yang dirancang membutuhkan masukan koordinat X, Y, dan Z. Besaran X merupakan arah sumbu koordinat yang memiliki arah ke depan dan ke belakang robot. Besaran Y merupakan arah sumbu koordinat yang memiliki arah ke kanan dan ke kiri robot. Besaran Z merupakan arah sumbu koordinat yang memiliki arah ke atas dan ke bawah robot.

Pembahasan rumus sudut yang dihasilkan dari fungsi *inverse kinematics* akan dijelaskan pada bagian kaki kanan depan pada *robot quadruped*. Pertama dimasukan nilai koordinat X, Y, dan Z. Untuk mendapatkan ketiga sudut pada joint maka digunakan pendekatan aljabar dan geometri. Perhitungan yang pertama dilakukan adalah mencari nilai sudut *coxa* (A_0), yaitu menggunakan arcus tangen pada persamaan 1[5-6]:

$$A_0 = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \dots\dots\dots (1)$$

Untuk mencari sudut *femur* (A_1) dan sudut *tibia* (A_2), maka dijelaskan dengan Gambar 5 yang memperlihatkan *robot quadruped* dari samping dimana ukuran femur adalah panjang 4,5 cm, tibia adalah panjang 8 cm.



Gambar 5. Rancangan Kaki Robot Quadruped

Selanjutnya dicarilah nilai resultan besaran dari X dan Y dengan persamaan :

$$XY = \sqrt{X^2 + Y^2} \dots\dots\dots (2)$$

Dikarenakan pengaruh dari mekanik yang tidak dapat membuat sudut *coxa* (A_0) dan sudut *femur* (A_1) menjadi satu titik, maka pada perhitungan menyebut offset dari gambar 7, L_0 merupakan jarak dari joint *coxa* ke joint *femur* secara tegak lurus. Pada perhitungan selanjutnya disebut sebagai R, yaitu XY kurangi dengan L_0 , seperti pada persamaan (3)

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} - L_0 \dots\dots\dots (3)$$

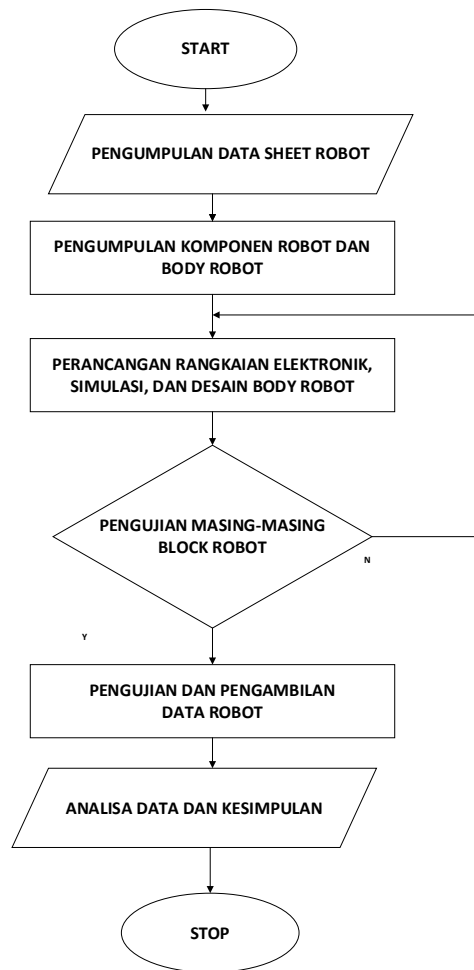
$$A_2 = \cos^{-1} \left\{ \frac{(R^2 + Z^2 - L_1^2 - L_2^2)}{(2L_1 L_2)} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$A_1 = \left(\tan^{-1} \frac{Z}{R} \right) - \left(\tan^{-1} \frac{(L_2 \sin A_2)}{(L_1) + (L_2 \cos A_2)} \right) \dots\dots\dots (5)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan diagram flowchart agar lebih mudah dalam melakukan penelitian, Dimana flowchart seperti gambar dibawah ini:





Gambar 6. Flowchart Penelitian

Metode penelitian "PERANCANGAN DAN POLA GERAK *ROBOT QUADRUPED* MENGGUNAKAN METODE *INVERS KINEMATIK*" yang akan dilakukan sebagai berikut:

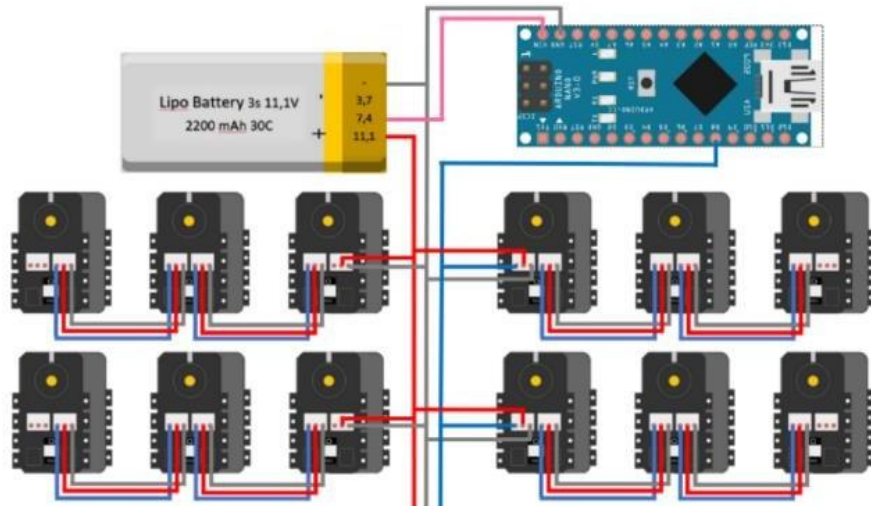
1. Mengumpulkan data sheet dan merancang rangkaian *robot quadruped*.
2. Menentukan komponen yang dikomponen digunakan dan *body robot quadruped*.
3. Perancang elektronik setiap blok, *body* dan simulasi *robot quadruped*, menentukan ID servo, pengaturan urutan *coxa*, *femur* dan *tibia* dari servo.
4. Pengujian jalan lurus robot menggunakan metode *invers kinematics*.
5. Analisa hasil pengujian dan mengambil kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan dan gerakan *robot quadruped* ada 2 yaitu perancangan *hardware* dan pengujian metode *inverse kinematics* pada servo untuk gerakan robot.

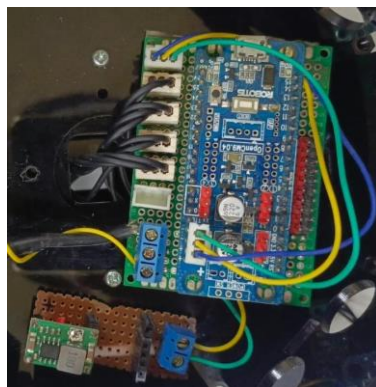
Pada Gambar 7 rancangan rangkaian modul *OpenCM* terhubung dengan *Dynamixel Servo AX-*

12A pada Robot. Untuk 1 kaki urutan servo 1 dari dibawah *tibia*, servo 2 ditengah *femur* dan servo 3 diatas/ menyatu body robot *coxa* untuk kaki 1 di kiri depan.



Gambar 7. Rancangan Modul *OpenCM* Terhubung Dynamixel Servo AX-12A Pada Robot

Perancangan pada gambar 8 koneksi masing-masing komponen dengan modul *OpenCM 9.04* dari sistem *robot quadruped*.



Gambar 8. Koneksi Masing-Masing Komponen Dengan Modul *OpenCM 9.04*

Hasil penelitian dirancang *robot quadruped* sudah dapat dibuat pada gambar 9 dan dari hasil pengujian sesuai dengan rancangan dan teori yang dari *robot quadruped*.



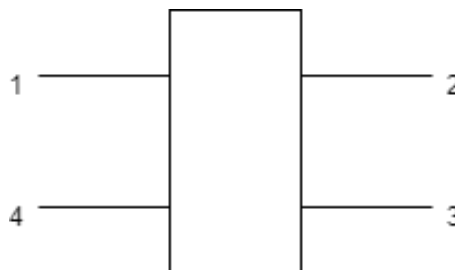
Gambar 9. Robot Quadruped Yang Sudah Dirancang Dapat Di Implementasikan

Setelah *hardware robot quadruped* sudah dibuat setelah itu dilakukan pengujian *robot quadruped* dan pola jalan lurus yang dirancang dan diimplementasikan menggunakan *inverse kinematics* pada saat robot quadruped bergerak, data terlihat tabel 1 Pola Langkah, tabel 2 Data Pengujian Akurasi *End of Effector* dimana pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi gerakan kaki pada tiap stepnya dari koordinat *end of effector* pada tiap kaki. Pada Tabel 3. Data Pengujian akurasi jalan lurus untuk memastikan akurasi dari robot dan Tabel 4 Data pengujian waktu tempuh mengetahui kecepatan dari robot dengan metode *invers kinematics*.

Tabel 1. Pola Langkah

Kaki	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4
1	Angkat	Maju	Turun	Mundur
2	Turun	Mundur	Angkat	Maju
3	Angkat	Maju	Turun	Mundur
4	Turun	Mundur	Angkat	Maju

Pada gambar 5 saat pergerakan kaki robot dengan penomoran kaki 1 (kaki kiri depan), 2 (kaki kanan depan), 3 (kaki kanan belakang), dan 4 (kaki kiri belakang) pada *robot quadruped*.



Gambar 10. Penomoran Urutan Kaki Robot

Tabel 2 Data Pengujian Akurasi End of Effector

Masukan			Keluaran			Error %		
x	y	z	x	Y	z	x	y	Z
-3.5	5	-8	-3.6	5.6	-8	2.85	12	0
-1	4.65	-8	-1	4.9	-8	0	5.38	0
-1	4.65	-6	-1	4.8	-6.15	0	3.32	2.5
-1	4.65	-6	-1	4.8	-6.15	0	3.32	2.5
-3.5	5	-6	-3.3	5.1	6.15	5.72	2	2.5

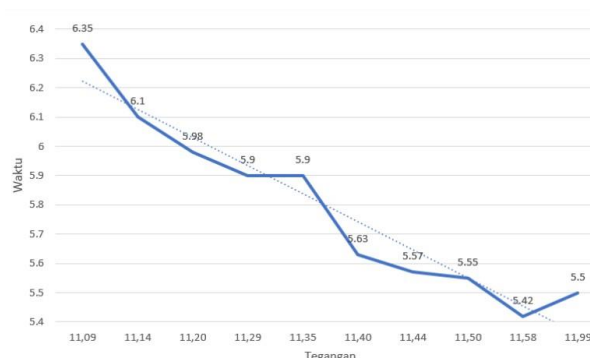
Tabel 3. Data Pengujian akurasi jalan lurus

No	Jarak Melenceng	Sudut Melenceng	Error
1	19 cm	11.01°	6.12 %
2	13 cm	7.49°	4.16 %
3	30 cm	17.72°	9.84 %
4	17 cm	9.83°	5.46 %
5	9 cm	5.17°	2.87 %
6	21 cm	12.21°	6.78 %
7	40 cm	14.62°	8.12 %
8	15 cm	24.21°	1.34 %
9	30 cm	8.66°	4.8 %

Tabel 4. Data Data pengujian waktu tempuh

Uji Ke	Tegangan Baterai	Waktu Tempuh
1	11,99 V	5.5 DETIK
2	11,58 V	5.42 DETIK
3	11,50 V	5.55 DETIK
4	11,40 V	5.57 DETIK
5	11,35 V	5.63 DETIK
6	11,29 V	5.90 DETIK
7	11,20 V	5.90 DETIK

Pada gambar 11 grafik pengaruh tegangan batere terhadap waktu tempuh memiliki trend yang terus menurun.



Gambar 11. Grafik waktu terhadap tegangan



KESIMPULAN

Robot quadruped sudah dapat di implementasikan dengan menggunakan 12 buah *Dynamixel servo AX-12* dengan modul *OpenCM 9.04* yang disuplai menggunakan batere *lithium polymer* 12 volt. *Jalan robot quadruped* menggunakan menggunakan *inverse kinematics* terbukti berhasil untuk membuat robot dapat berjalan sesuai yang diharapkan. Ketepatan koordinat kaki pada tiap step memiliki error rata-rata sebesar 3.51 %. Pengujian akurasi jalan lurus menghasilkan error rata-rata sebesar 5,79 %. Akurasi jalan lurus dipengaruhi akumulasi error koordinat dalam total langkah kaki. Robot memiliki kecepatan rata-rata sebesar 14.27 cm/detik. Kecepatan dan waktu robot bergerak sewaktu berjalan dipengaruhi juga oleh tegangan dari batere.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutawati, L. A., Kumara I, N. S., Widiadha, W. "Pengembangan *Three Degree of Freedom Hexapod* sebagai Robot Pemadam Api dengan Sensor UV Tron Hamamatsu". 2018. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*.
- [2] Habibi, D.Y. "Penerapan Invers Kinematik Terhadap Pergerakan Kaki Pada Robot Hexapod". *Jurnal ITS Undergraduate Paper*.
- [3] Agusma. W, Rheo. M, Supriadi. Achmad. F., " Optimization of Humanoid Robot Leg Movement Using Open CM 9.04". *Journal of Robotics and Control (JRC)*, Vol. 3, p.p 702-703, 2022
- [4] Ulfa. W, Thamrin. " Perancangan Pergerakan Kaki Robot Humanoid Menggunakan Servo Dynamixel Berbasis *OpenCM 9.04* ". *J. Voteknika*, vol.7, no.3, p.p 77-78, 2019.
- [5] Rofiq, C. P., Aris, T., Sumardi. " Perancangan Robot Berkaki 4 (*QUADRUPED*) Dengan *Stabilization Algorithm* Pada *Uneven Floor* Menggunakan 6-DOF IMU Berbasis *Invers Kinematic* ". *J. Transient*, vol.7, no. 2, p.p 545-546, 2018.
- [6] Ahmad, I. N., Khairul, A., M., Agung, P., "Evaluasi Inverse Kinematics untuk Robot Quadruped Menggunakan Sensor Accelerometer" *J. Rekayasa ElektriKa*, vol. 15, no. 3, p.p 189, 2019.