



RANCANG BANGUN ROBOT HEXAPOD DENGAN MEKANISME GRIPPER

Daud Hamdan Gulamun Halim

Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Bandung
gulamundaud@gmail.com

Abstract

This study discusses the design and implementation of a hexapod robot with a gripper as a prototype for the Indonesian SAR Robot Contest (KRSRI). The hexapod robot was designed with six legs controlled using inverse kinematics and a tripod gait movement pattern to maintain stability. A gripper was integrated as a manipulator to move objects according to competition criteria. The robot frame was manufactured using 3D printing PETG and carbon-fiber filled materials for lightweight and high stiffness. The control system utilized a Raspberry Pi 4B, two PWM PCA9685 modules, and 22 MG996R servo motors (18 for legs, 4 for gripper). Test results showed that the robot could walk stably for 1 m in an average of 11 seconds (~ 0.9 m/s) and successfully moved cylindrical objects with a diameter of 36 mm weighing ≤ 50 g. The operation duration reached approximately 30 minutes with an 11.1 V/2200 mAh battery. This research contributes to the development of rescue robots in difficult terrains and serves as a foundation for further autonomous navigation development.

Keywords: Hexapod, Save and rescue, inverse Kinematics, autonomous navigation

Abstrak

Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi robot *hexapod* dengan *gripper* sebagai prototipe untuk mendukung cabang lomba Kontes Robot SAR Indonesia (KRSRI). Robot *hexapod* dirancang dengan enam kaki yang dikendalikan menggunakan *inverse kinematics* dan pola gerak tripod gait untuk menjaga stabilitas. *Gripper* digunakan sebagai manipulator untuk memindahkan objek sesuai kriteria lomba. Rangka robot diproduksi dengan 3D printing PETG dan *carbon-fiber filled* untuk bobot ringan dan kekakuan tinggi. Sistem kontrol berbasis Raspberry Pi 4B dengan modul PWM PCA9685 serta 22 servo MG996R (18 untuk kaki, 4 untuk *gripper*). Hasil uji menunjukkan robot mampu berjalan stabil sejauh 1 m dengan rata-rata waktu 11 detik ($\sim 0,9$ m/s) dan berhasil memindahkan objek silinder berdiameter 36 mm dengan beban ≤ 50 g. Durasi operasi mencapai ± 30 menit dengan baterai 11,1 V/2200 mAh. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan robot penyelamatan di medan sulit dan menjadi dasar pengembangan menuju navigasi otonom.

Kata Kunci: *hexapod*, *gripper*, *inverse kinematics*, tripod gait, robot penyelamatan

Article History

Received: January 2026

Reviewed: January 2026

Published: January 2026

Plagiarism Checker No: 235

Prefix DOI :

[10.8734/Kohesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author

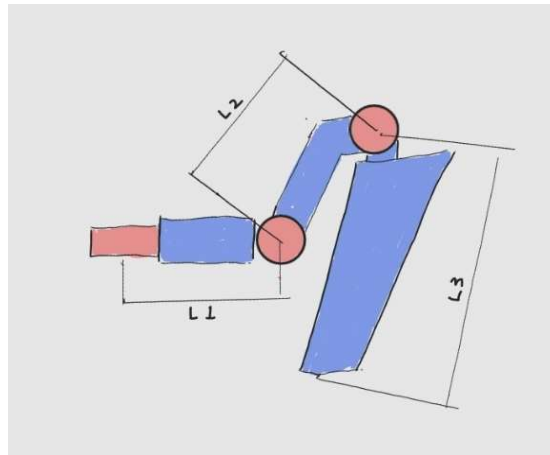
Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robotika di Indonesia semakin pesat seiring meningkatnya kebutuhan sistem otomasi pada pekerjaan berisiko tinggi. Salah satu bidang yang mendapat perhatian khusus adalah robot penyelamatan, terutama setelah berbagai bencana alam yang menimbulkan tantangan bagi tim search and rescue. Kontes Robot Indonesia (KRI) melalui cabang Kontes Robot SAR Indonesia (KRSRI) mendorong pengembangan robot berkaki yang mampu melewati medan sulit dan dilengkapi dengan *gripper* untuk memindahkan objek atau korban [1][2]. Robot *hexapod*, dengan enam kaki yang dikendalikan secara otonom, menawarkan stabilitas dan kemampuan mobilitas yang lebih baik dibandingkan kendaraan beroda [3]. Namun, integrasi mekanisme *gripper* pada robot *hexapod* masih menghadapi keterbatasan, terutama pada kapasitas beban dan stabilitas *locomotion* [4]. Penelitian ini berupaya menjawab kebutuhan tersebut dengan merancang dan menguji robot *hexapod* yang dilengkapi *gripper* sesuai kriteria KRSRI. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan rancangan konstruksi, sistem kontrol, dan program operasi robot *hexapod* dengan *gripper*, serta mengevaluasi kinerja robot melalui pengujian fungsi dasar berjalan dan manipulasi objek. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan robot penyelamatan yang efisien dan kompetitif di Indonesia.



Gambar 1. 1 *Hexapod robot section Leg*

Pada gambar 1.1 terlihat ilustrasi dari desain leg 3DOF yang akan di buat. Dengan ditandai berwarna merah sebagai joint dari kaki robot *hexapod* dan untuk berwarna biru ditandai sebagai frame kaki dari robot. Rumus dasar inverse kinematik untuk kaki robot *hexapod* :

1. Sudut rotasi *coxa* pada bidang horizontal

$$a = \text{atan2}(y, x) \quad (1)$$

2. Jarak horizontal dari origin ke proyeksi target pada bidang xy

$$r = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad (2)$$

3. Koreksi ketinggian setelah memperhitungkan *offset coxa vertical*

$$z' = z - L_1 \quad (3)$$

4. Jarak horizontal efektif setelah dikurangi panjang *coxa*

$$r' = r - L_1 \quad (4)$$



5. Jarak diagonal dari *joint femur* ke target

$$L = \sqrt{(r'^2 + z'^2)} \quad (5)$$

6. Sudut *femur* (*joint* kedua)

$$\beta = \text{atan2}(z', r') - \arccos\left(\frac{(L^2 + L_2^2 - L_3^2)}{(2 \times L \times L_2)}\right) \quad (6)$$

7. Sudut *tibia* (*joint* ketiga)

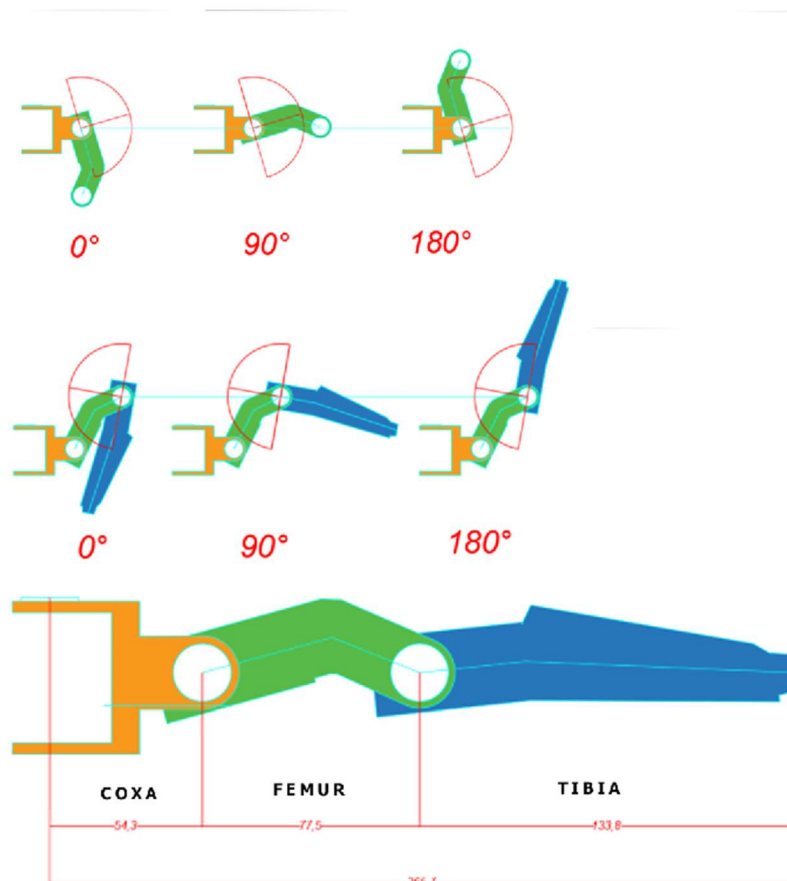
$$Y = \pi - \arccos\left(\frac{(L_2^2 + L_2^2 - L_3^2)}{(2 \times L_2 \times L_3)}\right) \quad (7)$$

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan tahapan perancangan, implementasi, dan pengujian. Perancangan Mekanikal Rangka robot *hexapod* dirancang menggunakan perangkat lunak CAD dan diproduksi dengan teknologi 3D printing menggunakan material PETG dan serat karbon. Desain mencakup enam kaki dengan tiga derajat kebebasan (DOF) per kaki, serta mekanisme *gripper* yang terintegrasi dengan lengan robot. Sistem Elektronik dan Kontrol Sistem kontrol menggunakan Raspberry Pi 4B sebagai pusat pemrosesan, dua modul PCA9685 sebagai pengendali PWM, serta 22 servo MG996R (18 untuk kaki dan 4 untuk *gripper*). Sumber daya disuplai oleh baterai LiPo 11,1 V/2200 mAh dengan pengaturan tegangan melalui modul step-down XL4015. Pemrograman dan Algoritma Pemrograman dilakukan dengan bahasa Python. Perhitungan posisi kaki menggunakan metode inverse kinematik, sedangkan pola gerak tripod gait diterapkan untuk menjaga stabilitas. Program operasi mencakup fungsi berdiri, berjalan (maju, mundur, belok), serta manipulasi objek. Pengujian Robot Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi: Fungsi berdiri dan stabilitas robot. Pergerakan maju, mundur, dan belok. Kemampuan *gripper* dalam mencapit dan memindahkan objek silinder berdiameter 36 mm dengan massa hingga 50 g. Durasi operasi berdasarkan kapasitas baterai.

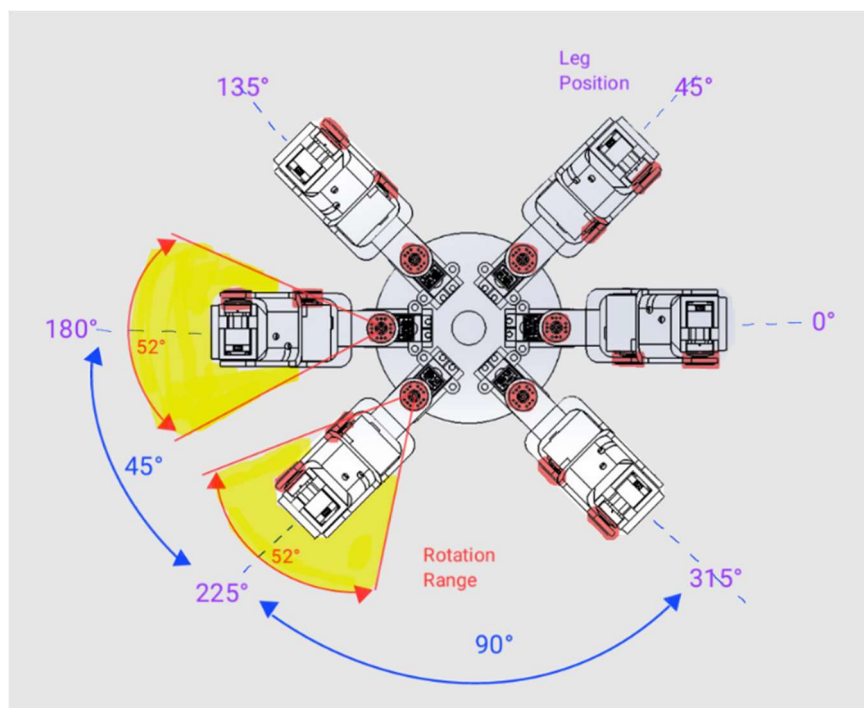
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Robot *hexapod* dengan *gripper* berhasil diwujudkan sesuai rancangan. Proses perakitan menggunakan teknologi 3D printing menghasilkan rangka yang ringan namun cukup kaku untuk menopang sistem aktuator. Integrasi sistem kontrol berbasis Raspberry Pi 4B dan modul PCA9685 mampu mengendalikan 22 servo MG996R secara stabil. Hasil pengujian pergerakan menunjukkan robot mampu berdiri tegak dan bergerak maju, mundur, serta berbelok dengan pola tripod gait. Kecepatan rata-rata yang dicapai adalah 1 m dalam 11 detik (~0,9 m/s). Meskipun terdapat deviasi sudut akibat toleransi perakitan, robot tetap menunjukkan stabilitas yang baik. Pengujian *gripper* memperlihatkan kemampuan mencapit dan memindahkan objek silinder berdiameter 36 mm dengan massa hingga 50 g. Namun, *gripper* gagal mengangkat beban lebih dari 100 g, sehingga kapasitas optimal terbatas pada beban ringan.



Gambar 1. 2 Femur & Tibia mounting angle

Pada gambar 1.2 dapat terlihat motor servo yang berfungsi sebagai mengangkat (*levitate*) dari badan robot keseluruhan memanipulasi sudut *femur* untuk berputar pada posisi 0°, 90° dan 180°. Dengan kemampuan motor servo yang dapat berputar 180°, dalam perhitungan praktiknya motor servo dapat berputar 90° derajat arah *Clock Wise* dan 90° arah *Counter Clockwise*. maka titik tengah motor servo pada 90°. Titik tengah ini lah yang digunakan sebagai referensi putaran motor servo yang akan digunakan pada robot *hexapod*. Pada gambar 1.2 *Stepping Position for Tibia* terlihat tiga posisi 0°, 90°, 180°. Posisi dari tibia digunakan sebagai referensi untuk menentukan dari *range* yang dapat digunakan untuk menghitung *range* langkah kaki robot. *Leg* atau kaki robot menggunakan sistem mekanisme 3DOF untuk pergerakannya dengan mengandalkan setiap *joint* yang dimiliki oleh robot *Hexapod*. Pada gambar 1.2 dapat terlihat bahwa panjang maksimum rentangan robot dapat mencapai 26,5 cm . panjang rentangan kaki robot ini akan menjadi parameter untuk mengukur perubahan posisi yang dapat diraih robot ketika mengambil langkah untuk bergerak maju. Sedangkan untuk operasi secara praktiknya akan dilihat dari langkah aman robot untuk bergerak. Langkah aman robot di dasarkan pada langkah yang dapat diambil robot tanpa mengubah keseimbangan ketinggian *body* robot ketika sedang bergerak maju maupun mundur.

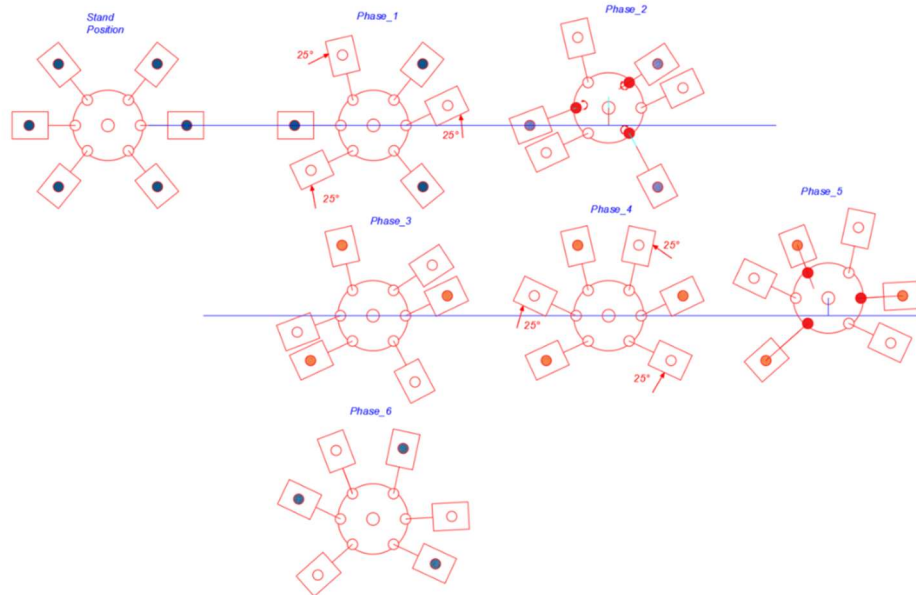


Gambar 1. 3 Coxa mounting angle

Tabel 1. 1 Coxa mounting angle

Leg	Posisi 0°	Range
Right_1	45°	52°
Right_2	0°	52°
Right_3	315°	52°
Left_1	135°	52°
Left_2	180°	52°
Left_3	225°	52°

Range pada gambar 1.3 dan tabel 1.1 coxa position & Range menunjukkan bahwa range untuk melakukan swing pada masing-masing setiap kaki robot memiliki sebesar 52°. Dalam artian setiap kaki robot memiliki kemampuan untuk berputar sebesar 26° arah Clock Wise dan 26° arah Counter Clock Wise.



Gambar 1. 4 Walking Path Diagram

Metode grafis merupakan metode untuk menghitung besarnya sudut menggunakan aplikasi autocad, dapat terlihat pada gambar 1.4 dengan menghitung setiap *phase* perubahannya terdapat 7 posisi dalam siklus perubahan kaki robot *hexapod*, trajektori dari robot dapat terlihat pada *phase 2* dan *phase 5*, dimana kaki robot menggunakan mekanisme *extent* dan *retract* untuk memindahkan posisi.

Tabel 1. 2 Sleep & Sleep Position in Walking path

Posisi_0 (SLEEP)					Posisi_1 (STAND)				
No	Servo	ID	Degree (°)	Direction	No	Servo	ID	Degree (°)	Direction
1	Servo_1	LEFT#1	0	-	1	Servo_1	LEFT#1	0	-
2	Servo_2		106	CCW	2	Servo_2		43	CW
3	Servo_3		61	CW	3	Servo_3		29	CW
4	Servo_4	LEFT#2	0	-	4	Servo_4	LEFT#2	0	-
5	Servo_5		106	CCW	5	Servo_5		43	CW
6	Servo_6		61	CW	6	Servo_6		29	CW
7	Servo_7	LEFT#3	0	-	7	Servo_7	LEFT#3	0	-
8	Servo_8		106	CCW	8	Servo_8		43	CW
9	Servo_9		61	CW	9	Servo_9		29	CW
10	Servo_10	RIGHT#1	0	-	10	Servo_10	RIGHT#1	0	-
11	Servo_11		106	CCW	11	Servo_11		43	CW
12	Servo_12		61	CW	12	Servo_12		29	CW
13	Servo_13	RIGHT#2	0	-	13	Servo_13	RIGHT#2	0	-
14	Servo_14		106	CCW	14	Servo_14		43	CW
15	Servo_15		61	CW	15	Servo_15		29	CW
16	Servo_16	RIGHT#3	0	-	16	Servo_16	RIGHT#3	0	-
17	Servo_17		106	CCW	17	Servo_17		43	CW
18	Servo_18		61	CW	18	Servo_18		29	CW



Pada tabel 1.2 menampilkan data posisi berdiri kaki pada setiap sudut, nilai dari sudut *coxa* berbeda satu sama lain, perbedaan ini menunjukkan posisi dari kaki robot *hexapod*. Nilai yang dapat dilihat pada posisi sudut pada setiap *joint* digunakan untuk referensi awal robot berjalan.

Tabel 1. 3 Swing Position in Walking path

Posisi_2 (SWING)					
No	Servo	ID	Degree (°)	Direction	STATUS
1	Servo_1	LEFT#1	26	CW	SWING
2	Servo_2		0	-	
3	Servo_3		39	CCW	
4	Servo_4	LEFT#2	0	-	SUPPORT
5	Servo_5		0	-	
6	Servo_6		0	-	
7	Servo_7	LEFT#3	26	CW	SWING
8	Servo_8		0	-	
9	Servo_9		39	CCW	
10	Servo_10	RIGHT#1	0	-	SUPPORT
11	Servo_11		0	-	
12	Servo_12		0	-	
13	Servo_13	RIGHT#2	25,5	CCW	SWING
14	Servo_14		0	-	
15	Servo_15		39	CCW	
16	Servo_16	RIGHT#3	0	-	SUPPORT
17	Servo_17		0	-	
18	Servo_18		0	-	

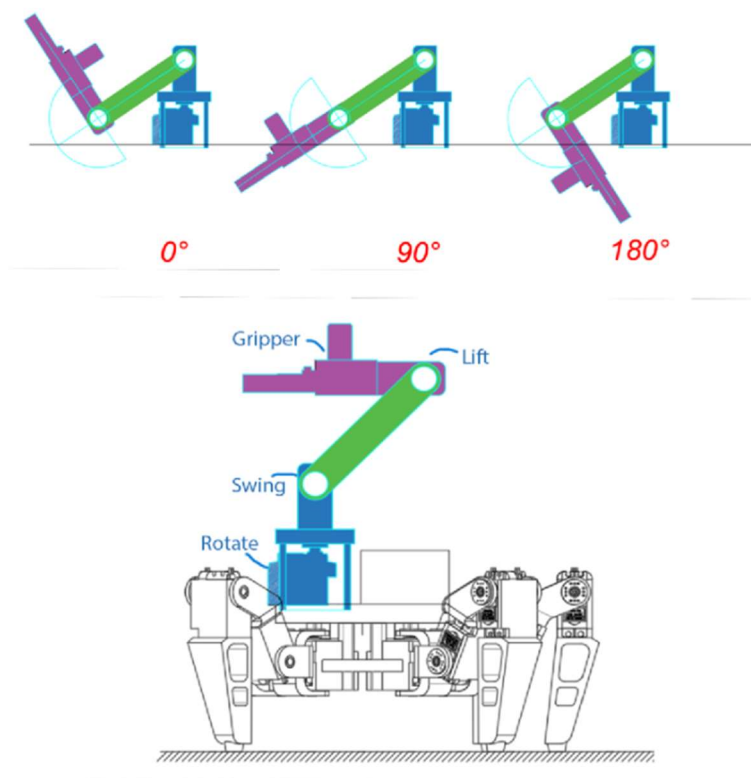
Pada tabel 1.3 menunjukkan data perubahan sudut pada tiga kaki robot, untuk memudahkan memahami pemetaan dari pembagian kelompok kaki robot dengan dua jenis kelompok, kelompok A terdiri dari *Left_1* - *Right_2* dan *Left_3*, dan untuk kelompok B terdiri dari *Right_1* - *Left_2* dan *Right_3*, setiap kelompok bergerak pada setiap langkah yang berbeda, pada tabel 1.4 memperlihatkan pergerakan pada kelompok B.

Tabel 1. 4 Extend & Retract Position in walking path

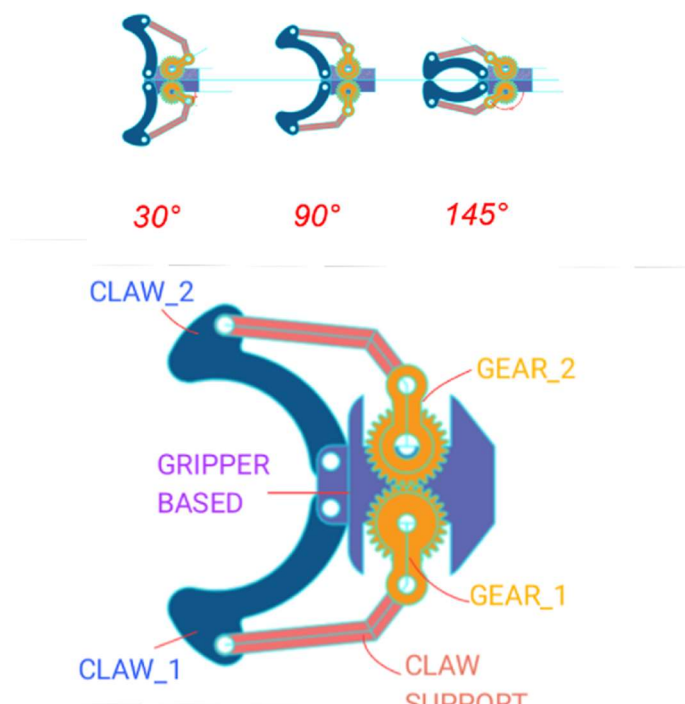
Posisi_2 (FORWARD) +40mm					
No	Servo	ID	Degree (°)	Direction	STATUS
1	Servo_1	LEFT#1	0	-	SWING
2	Servo_2		0	-	
3	Servo_3		0	-	
4	Servo_4	LEFT#2	23	CCW	SUPPORT RETRACT
5	Servo_5		0	-	
6	Servo_6		0	-	
7	Servo_7	LEFT#3	0	-	SWING
8	Servo_8		0	-	
9	Servo_9		0	-	
10	Servo_10	RIGHT#1	22	CCW	SUPPORT RETRACT
11	Servo_11		0	-	
12	Servo_12		0	-	
13	Servo_13	RIGHT#2	0	-	SWING



14	Servo_14	0	-	
15	Servo_15	0	-	
16	Servo_16	12	CW	
17	Servo_17	RIGHT#3	0	-
18	Servo_18	0	-	SUPPORT EXTEND



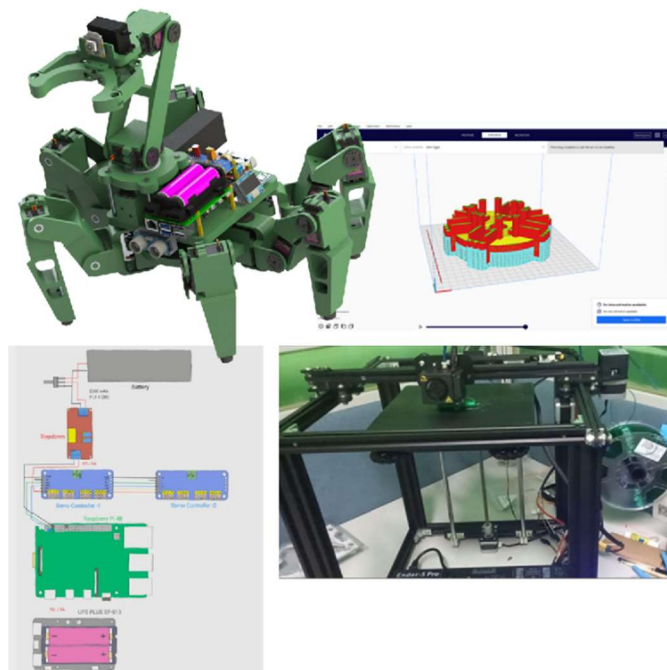
Gambar 1. 5 Arm Mounting Angle



Gambar 1. 6 Gripper Mounting Angle

Pada gambar 1.5 menunjukkan range area *arm* untuk berayun, dapat dilihat bahwa *arm* dapat berayun dari $0^\circ - 180^\circ$ dengan mengatur dari pemasangan *arm*, titik netral (90°) dapat diubah lebih condong ke sebelah kiri, dengan tujuan *arm* dapat memudahkan *gripper* menjangkau objek. Pada gambar 1.5 dapat dilihat kemampuan *gripper* untuk meraih objek dan memindahkannya, terdapat indikasi derajat pada gambar untuk melihat posisi netral maksimal dan minimum pada mekanisme *gripper*.

Sistem *gripper* pada robot *hexapod*, didukung dengan sistem *arm* yang dapat terlihat pada gambar 1.5, namun pada segi praktisnya *arm* masuk dalam mekanisme *gripper* sebagai pendukung, *gripper* memberikan fungsi tambahan pada robot *hexapod* seperti memindahkan objek ke tempat lain, dengan mekanisme *gear* pada *gripper*, dapat menyesuaikan perpindahan sudut satu sama lain. Komponen inti *gripper* diantaranya terdapat, *Gear_1*, *Gear_2*, *Claw Support*, *Claw_1*, *Claw_2* dan *gripper* based. Seperti terlihat pada gambar 1.6 *Gear_1* & *Gear_2* memiliki kontak satu sama lain dimana kontak ini berfungsi sebagai transmisi gaya rotasi, arah rotasi dari *gear 1* akan berlawanan dengan arah *gear 2* namun pada kecepatan yang sama. Pada Gambar 1.6 menunjukkan detail dari dimensi *gripper*. Untuk referensi *mounting* pada motor servo terhadap mekanisme *gripper* ditentukan oleh sudut netral. Kemampuan maksimal dari *gripper* untuk memindahkan objek terdapat pada 126.1 mm.



Gambar 1. 7 Manufacture & Assembly Process

Design Assembly dilakukan setelah seluruh mekanisme robot. Pada Gambar 1.7 dapat terlihat dari bentuk keseluruhan desain robot *hexapod* yang telah final, dan siap untuk dilakukan proses manufaktur. telah disesuaikan berulang kali dengan parameter kesesuaian setiap komponen yang dimasukkan pada final *design*. Dari hasil perhitungan dimensi dan kinematika dari robot *hexapod*, desain telah melewati tahap pengujian kompatibilitas dimensi untuk diaplikasikan pada robot *hexapod*. Maka komponen dicetak menggunakan mesin *3D printing*, dan disiapkan segala komponen yang dibutuhkan untuk digabungkan menjadi robot *hexapod*.

Pada pengujian pergerakan maju robot akan dilihat seberapa kecepatan dan kemampuan robot dalam mempertahankan ketinggian badan robot keseluruhan dalam berjalan. Pada gambar 1.7 dapat terlihat robot *hexapod* sedang berjalan secara bertahap searah garis biru, panjang garis biru yang diletakkan pada permukaan lantai sepanjang 1 meter. Dengan asumsi melihat kecepatan robot berjalan dalam jarak 1 meter. Dimana dalam mekanisme berjalan

robot *hexapod* menggunakan mekanisme *tripod gait*, *tripod gait* memudahkan robot untuk berpindah tempat secara beriringan. Namun saat proses pengujian dilakukan masih terdapat guncangan yang terlihat pada *based sensor* yang mengakibatkan kurangnya stabil dalam mempertahankan ketinggian robot *hexapod*. Hasil dari pengujian robot *hexapod* dapat terlihat pada tabel 1.5 dimana hasil di dapat secara pengamatan dengan membandingkan dari pergerakan robot *hexapod* secara teoritis dengan praktis.

Tabel 1. 5 *Walking Path Test*

Parameter	Nilai Per Siklus	Nilai Total (≈ 1 m)
Jarak tempuh	9,2 cm	100 cm
Jumlah siklus	1 siklus	5 siklus
Jumlah fase	2 fase	21,74 fase
Jumlah sub-step (servo)	20 step	217,4 step
Waktu tempuh (cycle time=1s)	1 detik	11 s



Gambar 1. 8 Testing Robot Hexapod

Tabel 1. 6 *Gripper Range Test*

Joint	Range Teoritis	Range Aktual
Base Rotate	0° - 180°	5° - 175°
Arm Swing	0° - 180°	10° - 170°
Arm Lift	0° - 180°	15° - 165°
Gripper	0° - 180°	0° - 180°



Pada gambar 1.8 dan tabel 1.6 dapat terlihat objek yang di uji menggunakan botol obat dengan dimensi persis seperti miniatur korban pada lomba robot Indonesia. Setelah mengidentifikasi jarak dari objek yang akan di angkat maka robot *hexapod* masuk pada mode *gripper*, dimana ke empat servo yang di terapkan pada robot *hexapod* menggerakkan mekanisme *arm & Gripper*. Dapat dilihat dari gambar 1.8 dimana robot *hexapod* sedang mengayunkan *arm* untuk memudahkan *gripper* memindahkan objek. Dengan memanjangkan *arm* atau mendekatkan posisi robot *hexapod* dengan objek yang ingin di pindahkan. Dapat dilihat pada table 1.6 *gripper range* terjadi deviasi nilai dari data praktik dan data aktual. Kemampuan grip dan ketahanan mekanisme *gripper* untuk menahan objek memiliki hasil yang bervariasi

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan menguji robot *hexapod* dengan mekanisme *gripper* sesuai kriteria KRSRI. Rangka berbahan PETG dan serat karbon melalui proses 3D printing memberikan kombinasi bobot ringan dan kekakuan tinggi. Sistem kontrol berbasis Raspberry Pi 4B, PCA9685, dan 22 servo MG996R mampu menjalankan fungsi berdiri, berjalan, serta manipulasi objek dengan stabilitas yang baik. Hasil pengujian menunjukkan robot mampu bergerak dengan kecepatan rata-rata 0,9 m/s dan mengoperasikan *gripper* untuk beban ≤ 50 g. Durasi operasi mencapai sekitar 30 menit dengan baterai LiPo 11,1 V/2200 mAh. Keterbatasan kapasitas *gripper* dan deviasi perakitan menjadi aspek yang perlu ditingkatkan pada penelitian lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chàvez-Clemente, D., 2011. *Hexapod Walking Robots: Design and Applications*. *Robotics Journal*, Vol. 5, No. 2, pp. 45-52
- [2] Ceccarelli, M., 2005. *Fundamentals of Robotics*. Springer, Berlin.
- [3] Ritzman, L., 2004. *Manipulator Design for Lightweight Robots*. IEEE Robotics Conference, pp. 120-126.
- [4] Bolton, W., 2015. *Mechatronics: Principles and Applications*. Pearson Education, London.
- [5] Indarini Dwi Pursitasari, Bibit Harianto, Sinta Srie Wulan, Dody Hermanto, Didit Ardianto (2024), Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) in the Field of Health and Mathematics and Natural Sciences Educations, *jurnal Ilmiah Kanderang Tingang* (2024), Vol. 15. No 1
- [4] Bolton, W., 2015. *Mechatronics: Principles and Applications*. Pearson Education, London.
- [5] Linden, D., & Reddy, T., 2011. *Handbook of Batteries*. McGraw-Hill, New York.