

Udiebot: Implementasi *Inverse Kinematic* pada *Quadruped Robot*

Nuril Esti Khomariah¹, Samsul Huda²

^{1,2} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik,
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jln. Semolowaru No.45, Menur Pumpungan, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60118

¹nuril@untag-sby.ac.id, ²samsul@untag-sby.ac.id

Abstrak

. *Quadruped robot adalah multi-legged robot yang digerakkan dengan 4 kaki. Selama ini cara menggerakkan kaki robot adalah dengan memberi nilai langsung pada setiap joint / sendi. Hal ini tentunya membutuhkan waktu yang lebih lama karena masih menggunakan metode trial-error terlebih lagi jika joint / sendi yang dimiliki robot sangat banyak. Maka dari itu permasalahan ini dapat diatasi dengan menggunakan inverse kinematic. Inverse kinematic dapat mempercepat proses pendefinisian pose kaki dengan data masukan berupa titik koordinat dan hasil keluaran berupa nilai untuk setiap joint / sendi robot. Pada Udiebot, setiap kaki memiliki 3 DOF (degree of freedom) dengan total keseluruhan adalah 12 DOF. Parameter-parameter mekanik kaki robot perlu didefinisikan terlebih dahulu termasuk model forward kinematic. Lalu dilanjutkan dengan implementasi inverse kinematic yang dianalisis dengan pendekatan geometri. Dari hasil pengujian terlihat bahwa maksimal error yang didapatkan sekitar 0.11% yang menandakan bahwa sistem berjalan dengan baik.*

Kata kunci—*Quadruped robot, inverse kinematic, pose, forward kinematic*

Abstract

Quadruped robot is a multi-legged robot driven by 4 legs. During this time, the way to move a robot's leg is to give a direct value for each joint. This certainly requires a longer time because it still uses the trial-error method and if the joint owned by the robot is very much. Therefore this problem can be overcome by using the inverse kinematic. Inverse kinematic can accelerate the process of defining foot poses with coordinate as input and values for each joint / robot joint as output. At Udiebot, each leg has 3 DOF (degree of freedom) with a total 12 DOF. Robot foot mechanical parameters need to be defined first including the forward kinematic model. Then proceed with inverse kinematic implementation which is analyzed by geometry approach. From the test results it can be seen that the maximum error obtained is around 0.11% which indicates that the system is running well.

Keywords— *Quadruped robot, inverse kinematic, pose, forward kinematic*

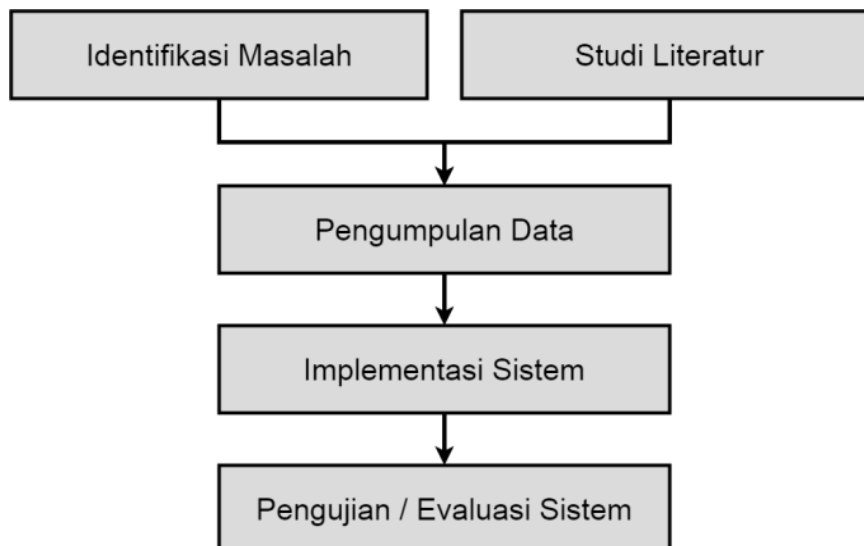
1. PENDAHULUAN

Semakin banyak sekali penelitian mengenai robot terutama pada *multi-legged* robot (Ya-xin, Y., & Bo, J, 2014: 335) seperti berkaki 2 (*humanoid/biped*) (Khomariah, 2015: 73), berkaki 3 (*tripod*), berkaki 4 (*quadruped*) (Semini, 2010: 832) dan berkaki 6 (*hexapod*) (Saranli, 2001: 616). Desain mekanik seperti ini tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan *wheeled* robot. *Multi-legged* robot mampu lebih baik dalam melintasi area tidak rata seperti bebatuan (Raibert, 2008: 10823) tetapi tidak lebih cepat dari *wheeled* robot. Dengan konfigurasi kaki yang banyak tentunya akan menimbulkan permasalahan sendiri seperti bagaimana menggerakkan kaki robot ke posisi yang diinginkan dan mengatur pola gerakannya.

Untuk menggerakkan kaki-kaki robot diperlukan nilai sudut untuk setiap *joint* agar membentuk pose dan mencapai posisi yang diinginkan. Selama ini cara paling mudah adalah menggunakan metode *trial-error* yaitu mencoba berulang kali memasukkan nilai sudut setiap *joint* sampai berada pada posisi yang diinginkan. Cara ini akan semakin membutuhkan banyak waktu jika robot memiliki banyak jenis gerakan dan *joint* yang dikontrol. Maka untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan *inverse kinematic*.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan urutan proses dari suatu penelitian dari menemukan masalah samapai dengan menemukan solusi dari permasalahan tersebut. Penelitian ini dibagi menjadi 5 proses utama yaitu identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, implementasi sistem dan pengujian / evaluasi sistem. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Alur proses metode penelitian

Proses penelitian dimulai dengan melakukan identifikasi masalah dari desain mekanik robot. Pada tahap ini ditemukan permasalahan yaitu bagaimana cara melakukan kontrol gerakan robot. Disamping itu proses studi literatur juga dilaksanakan seperti mencari referensi beberapa penelitian terkait dengan pembahasan

masalah yang sama. Lalu dilanjutkan dengan proses pengumpulan data yaitu dengan mengumpulkan semua parameter-parameter yang berkaitan dengan pergerakan robot. Pergerakan robot difokuskan pada menggerakkan kaki-kaki robot secara beraturan. Pengukuran parameter-parameter pada badan dan kaki robot sangat penting pada proses ini.

Proses selanjutnya adalah implementasi sistem yang telah didesain pada robot. Sistem berupa algoritma yang memiliki proses perhitungan. Menerjemahkan algoritma ke bahasa pemrograman untuk dimasukkan ke perangkat hardware robot sehingga tujuan dapat dicapai. Proses yang terakhir adalah pengujian / evaluasi sistem. Proses ini berupa menghitung presentase kesalahan sistem dengan membandingkan antara hasil aktual dengan target yang seharusnya.

2.1 Udiebot : Desain Mekanik dan Sistem Robot

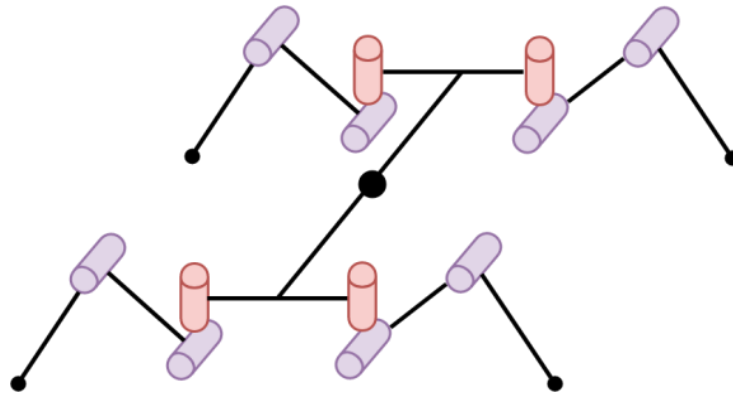
Udiebot adalah sebuah *quadruped* robot yaitu jenis *mobile* robot yang bergerak dengan menggunakan 4 (empat) kaki. Setiap kaki robot terdiri dari 3 (tiga) DOF (Degree of Freedom). Total terdapat 12 DOF pada Udiebot seperti yang terlihat pada **Gambar 2**. Setiap DOF mewakili *joint* / sendi yang dimiliki robot, yang berarti terdapat 3 (tiga) pada setiap kaki robot. Untuk dapat menggerakkan *joint* tersebut maka diperlukan penggerak / aktuator. Pada robot ini aktuator yang digunakan berupa motor servo. Jadi total motor servo yang digunakan pada keseluruhan kaki robot adalah 12 motor servo.

Agar didapatkan pergerakan yang sinkron / selaras pada keseluruhan *joint* kaki maka digunakan jenis motor servo yang sama yaitu Hitec HS-7954SH. Detail dari desain mekanik robot dapat dilihat pada **Gambar 3**. Desain mekanik tampak isometri terlihat pada **Gambar 3(a)**, tampak atas terlihat pada **Gambar 3(b)**, tampak bawah terlihat pada **Gambar 3(c)** dan tampak depan terlihat pada **Gambar 3(d)**.

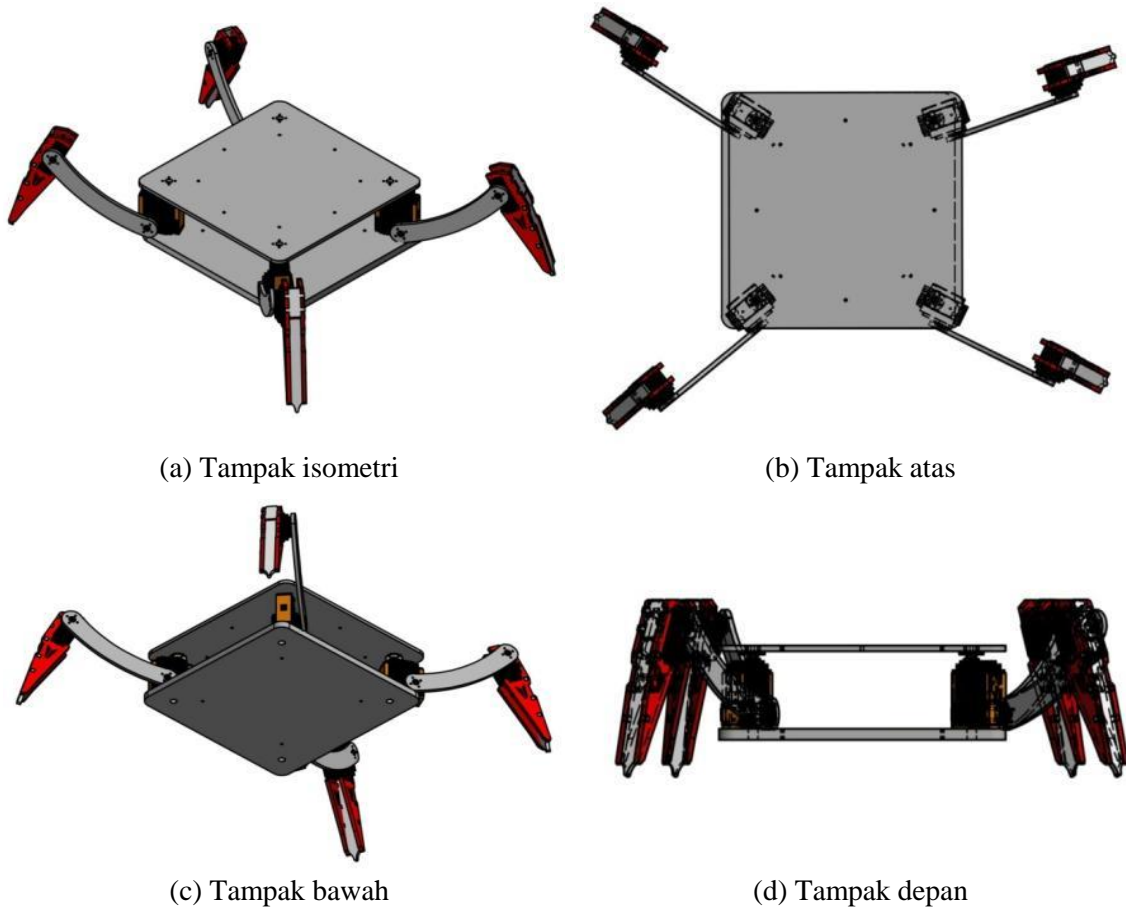
Tabel 1. Spesifikasi Udiebot

Type	<i>Quadruped</i> (4 kaki)
Berat	1.56 Kg
Tinggi	200 mm
Panjang	350 mm
Lebar	350 mm
Total DOF	12 DOF
Aktuator	12 motor servo (Hitec HS-7954SH)
Catu Daya	Baterai 11.1 Volt 5Ah
Kontroler	2x STM32F4 ARM (168MHz)

Berat robot ini adalah 1.56 Kg dengan tinggi 200 mm, panjang 350 mm dan lebar 350 mm. Total keseluruhan DOF pada robot adalah 12 DOF dengan rincian masing-masing 3 DOF setiap kaki. Untuk spesifikasi lainnya seperti berat, dimensi badan, catu daya dan jenis kontroler yang dipakai dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Konfigurasi link Udiebot



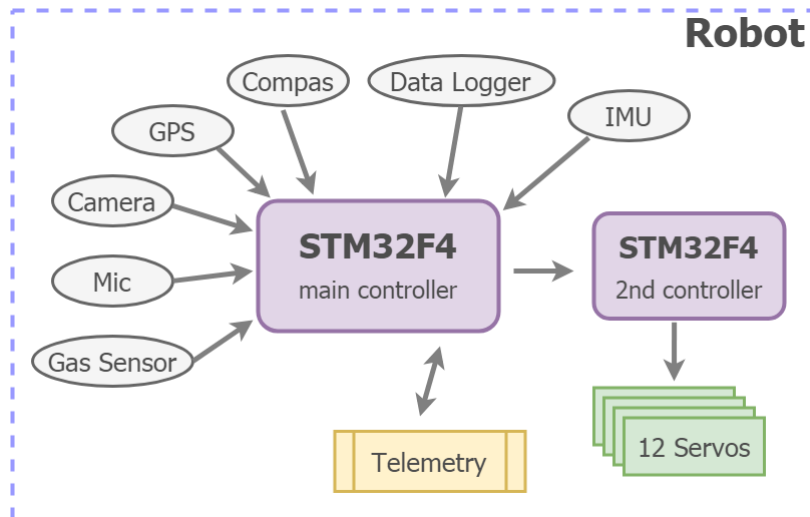
(a) Tampak isometri

(b) Tampak atas

(c) Tampak bawah

(d) Tampak depan

Gambar 3. Desain mekanik Udiebot



Gambar 4. Desain sistem robot

Terdapat 2 (dua) kontroler yang sama-sama menggunakan STM32F4 dengan kecepatan 168 MHz. Kontroler pertama digunakan untuk memproses keseluruhan sistem termasuk komunikasi data, pengambilan dan pemrosesan data-data sensor. Sedangkan kontroler kedua digunakan untuk mengatur pergerakan / navigasi robot. Pada **Gambar 4** terlihat bahwa robot memiliki beberapa komponen pendukung seperti sensor gas, mic, kamera, GPS, sensor kompas, data penyimpanan, sensor IMU, telemetri, 12 motor servo dan 2 kontroler.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Mekanik Udiebot

3.1.1 Mekanik Body

Seperti yang telah disebutkan pada bab sebelumnya bahwa Udiebot adalah *quadruped* robot yang berarti robot dengan 4 kaki. Hasil jadi / *real* mekanik Udiebot dapat dilihat pada **Gambar 5**. Hasil ini dapat dikatakan sudah sangat menyerupai desain perancangan mekanik pada **Gambar 3**.

3.1.2 Mekanik Kaki

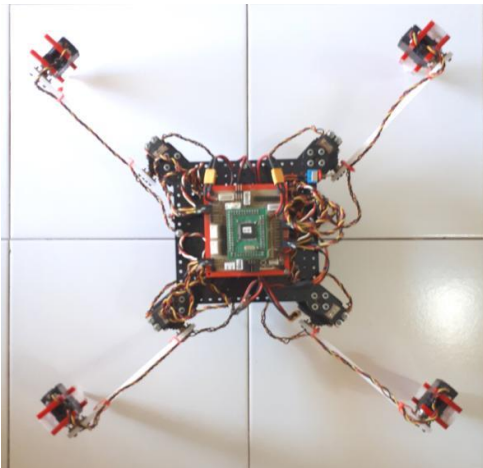
Mekanik kaki robot dapat dilihat pada Gambar 6. Pada Gambar 6(a) dan (b) menunjukkan desain perancangan dan hasil jadi / *real* mekanik kaki. Kaki *quadruped* dibagi menjadi 3 bagian utama yaitu coxa, femur dan tibia. Pada kaki terdapat 3 (tiga) aktuator yang berupa motor servo yaitu servo coxa (θ_1), servo tibia (θ_2) dan servo femur (θ_3). Untuk parameter kaki seperti panjang dari coxa, femur dan tibia dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan Tabel 3 menjelaskan penempatan aktuator dan DOF pada kaki Udiebot.

Tabel 2. Parameter kaki

Parameter	Panjang (mm)
coxa	60
femur	150
tibia	150

Tabel 3. Aktuator dan DOF pada kaki Udiebot

Joint		Aktuator	DOF
hip	pitch	1 servo motor (femur)	1 DOF
	yaw	1 servo motor (coxa)	1 DOF
knee	pitch	1 servo motor (tibia)	1 DOF
Total		4 legs x 3 DOF	12 DOF

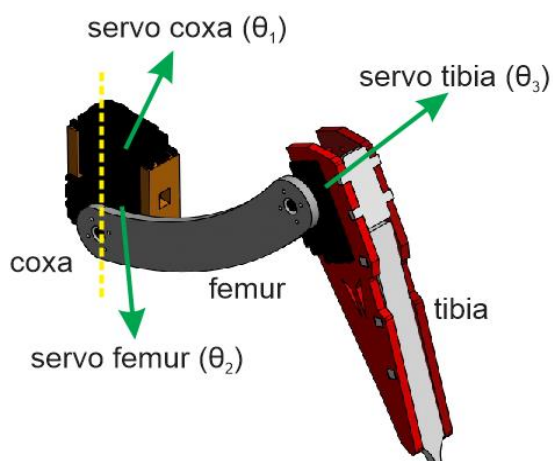


(a) Tampak atas



(b) Tampak isometri

Gambar 5. Udiebot



(a) Desain perancangan mekanik



(b) Hasil jadi / *real*

Gambar 6. Kaki Udiebot

3.2 Forward Kinematic

Forward kinematik digunakan untuk mendapatkan persamaan kinematik yang menghasilkan letak koordinat posisi dan orientasi EoF (*End of Effector*) robot untuk setiap sendi / *joint*. *Denavit-Hartenberg (DH) Parameter* digunakan untuk menyatakan untuk setiap matrik homogen.

$$H_3^0 = H_1^0 H_2^1 H_3^2 \quad (1)$$

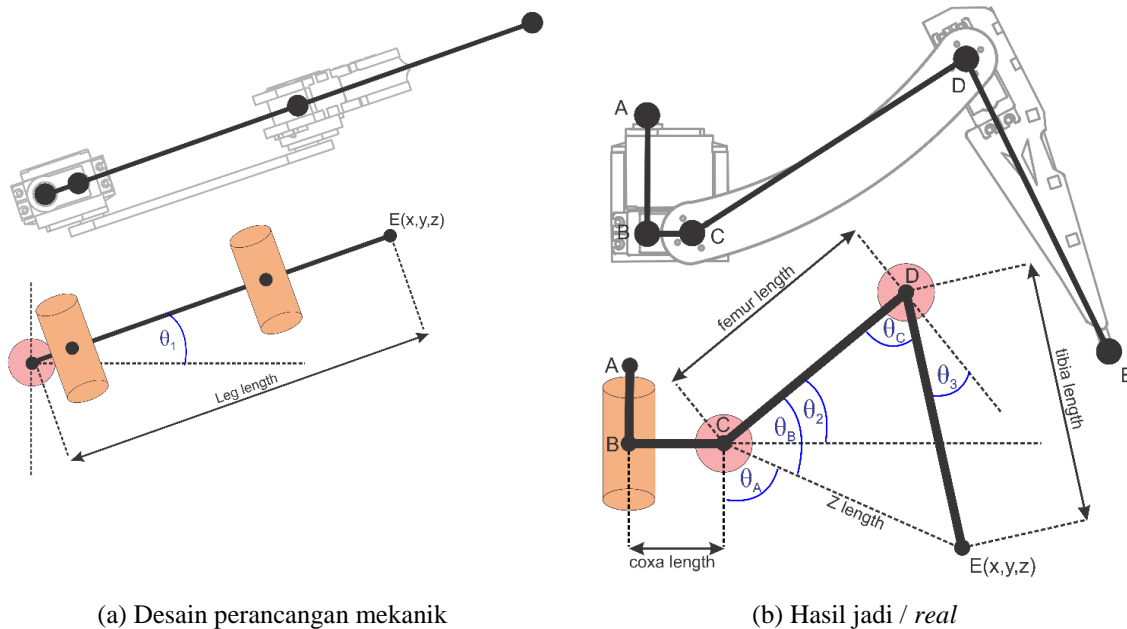
$$H_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i) \sin(\alpha_i) & \alpha_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i) \sin(\alpha_i) & \alpha_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3.3 Inverse Kinematic

Pada umumnya *inverse kinematic* digunakan untuk menggerakkan sebuah robot manipulator berdasarkan posisi titik koordinat yang dikehendaki. Untuk dapat menggerakkan kaki robot kita harus mendefinisikan posisi titik koordinat dalam *Cartesian space* terlebih dahulu. Proses ini membutuhkan data masukan berupa titik koordinat (x,y,z) yang menghasilkan data keluaran berupa nilai sudut tiap *joint* kaki robot seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok diagram kontrol pose



Gambar 8. Analisis kaki Udiebot

$$\text{legLength} = \sqrt{\text{posX}^2 + \text{posY}^2} \quad (3)$$

$$\text{Zlength} = \sqrt{\text{posZ}^2 + \text{legLength}^2} \quad (4)$$

$$\theta_A = \tan^{-1}((\text{legLength} - \text{coxaLength})/\text{posY}) \quad (5)$$

$$J = \cos^{-1}\left(\frac{\text{Zlength}^2 - \text{femurLength}^2 - \text{tibiaLength}^2}{-2 \cdot \text{FemurLength} \cdot \text{Zlength}}\right) \quad (6)$$

$$K = \cos^{-1}\left(\frac{\text{femurLength}^2 + \text{tibiaLength}^2 - \text{Zlength}^2}{-2 \cdot \text{FemurLength} \cdot \text{tibiaLength}}\right) \quad (7)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}(\text{posX}, \text{posY}) \quad (8)$$

$$\theta_2 = J + \theta_A \quad (9)$$

$$\theta_3 = 90^\circ - (K) \quad (10)$$

3.4 Hasil Pengujian Inverse Kinematic

Pengujian diperlukan untuk mengetahui performa dari suatu sistem. Proses pengujian yang pertama yaitu menentukan titik koordinat kaki lalu digunakan sebagai data masukan pada *inverse kinematic* yang menghasilkan data keluaran berupa nilai dari tiap *joint* ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$). Lalu diimplementasikan ke kaki robot. Setelah itu dilakukan perhitungan dari posisi nyata / *real* kaki robot dengan proses *forward kinematic*. Nilai error dihitung dari selisih data masukkan / input dengan hasil perhitungan *forward kinematic*.

Tabel 4. Pengujian *inverse kinematic* untuk sumbu x

Input Koordinat (cm)			Hasil Inverse Kinematic			Perhitungan Forward Kinematic (cm)			Error (cm)		
x	y	z	(θ_1)	(θ_2)	(θ_3)	x	y	z	x	y	z
30	0	0	0	0	-0.072	30	-0.018	0	0.000	0.018	0
28	0	0	0	21.031	-42.134	27.994	-0.017	0	0.006	0.017	0
26	0	0	0	29.914	-59.901	25.993	-0.016	0	0.007	0.016	0
24	0	0	0	36.855	-73.782	23.993	-0.015	0	0.007	0.015	0
22	0	0	0	42.816	-85.704	21.993	-0.013	0	0.007	0.013	0
20	0	0	0	48.17	-96.413	19.993	-0.012	0	0.007	0.012	0
18	0	0	0	53.108	-106.289	17.994	-0.011	0	0.006	0.011	0
16	0	0	0	57.745	-115.564	15.994	-0.01	0	0.006	0.010	0
14	0	0	0	62.156	-124.386	13.994	-0.009	0	0.006	0.009	0
12	0	0	0	66.395	-132.862	11.995	-0.007	0	0.005	0.007	0
Rata-rata Error									0.006	0.013	0
Presentase Error									0,03%	0%	0%

Tabel 5. Pengujian *inverse kinematic* untuk sumbu x dan y

Input Koordinat (cm)			Hasil Inverse Kinematic			Perhitungan Forward Kinematic (cm)			Error (cm)		
x	y	z	theta 1	theta 2	theta 3	x	y	z	x	y	z
26	10	0	0	42.808	-43.632	26	9.977	0	0	0.023	0
26	8	0	0	42.023	-49.928	26	7.978	0	0.000	0.022	0

Input Koordinat (cm)			Hasil Inverse Kinematic			Perhitungan Forward Kinematic (cm)			Error (cm)		
x	y	z	theta 1	theta 2	theta 3	x	y	z	x	y	z
26	6	0	0	40.174	-54.443	25.998	5.979	0	0.002	0.021	0
26	4	0	0	37.464	-57.516	25.996	3.98	0	0.004	0.020	0
26	2	0	0	34.016	-59.31	25.995	1.982	0	0.005	0.018	0
26	0	0	0	29.914	-59.901	25.993	-0.016	0	0.007	0.016	0
26	-2	0	0	25.222	-59.31	25.992	-2.015	0	0.008	0.015	0
26	-4	0	0	19.979	-57.516	25.991	-4.014	0	0.009	0.014	0
26	-6	0	0	14.196	-54.443	25.99	-6.012	0	0.010	0.012	0
26	-8	0	0	7.832	-49.928	25.99	-8.011	0	0.010	0.011	0
Rata-rata Error									0.006	0.017	0
Presentase Error									0,02%	1,72%	0%

Tabel 6. Pengujian *inverse kinematic* untuk sumbu x dan z

Input Koordinat (cm)			Hasil Inverse Kinematic			Perhitungan Forward Kinematic (cm)			Error (cm)		
x	y	z	theta 1	theta 2	theta 3	x	y	z	x	y	z
26	0	10	21.029	21.779	-43.632	25.996	0	9.994	0.004	0	0.006
26	0	8	17.095	24.927	-49.928	25.995	0	7.994	0.005	0	0.006
26	0	6	12.989	27.185	-54.443	25.994	0	5.996	0.006	0	0.004
26	0	4	8.742	28.722	-57.516	25.994	0	3.997	0.006	0	0.003
26	0	2	4.396	29.619	-59.31	25.993	0	1.998	0.007	0	0.002
26	0	0	0	29.914	-59.901	25.993	-0.016	0	0.007	0	0.000
26	0	-2	-4.396	29.619	-59.31	25.993	0	-1.998	0.007	0	-0.002
26	0	-4	-8.742	28.722	-57.516	25.764	0.424	-3.961	0.236	0	-0.039
26	0	-6	-12.989	27.185	-54.443	25.994	-0.017	-5.996	0.006	0	-0.004
26	0	-8	-17.095	24.927	-49.928	25.995	-0.017	-7.994	0.005	0	-0.006
Rata-rata Error									0.029	0	-0.003
Presentase Error									0,11%	0%	0,3%

4. KESIMPULAN

Hasil jadi / *real* mekanik *quadruped* robot dan kaki sesuai dengan desain perancangan. Sebelum memulai untuk menggerakkan kaki-kaki robot terutama yang menyerupai model manipulator robot maka diperlukan parameter kaki, mencari *forward kinematic*, dan solusi *inverse kinematic*. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat bahwa hasil error yang didapat sangat kecil dengan nilai maksimal hanya 0.236 cm. Hal ini menandakan bahwa sistem sudah berjalan dengan baik.

Nilai error untuk data masukkan berupa sumbu x saja sebesar 0.006 cm atau 0.03%. Untuk data masukkan berupa sumbu x dan y adalah 0.006 cm atau 0.02% dan 0.017 atau 1.72%. Sedangkan untuk data masukkan sumbu x dan z adalah 0.029 mm

atau 0.11% dan -0.003 cm atau 0.3%. Meskipun masih terdapat error minimal, namun hasil perhitungan *inverse kinematic* sangat membantu dalam mempermudah mengatur pergerakan kaki robot.

5. SARAN

Penelitian ini masih banyak yang harus dikembangkan dan dilanjutkan, seperti memperbaiki / memperkuat lagi konstruksi mekanik robot terutama dibagian femur. Setelah solusi *inverse kinematic* selesai maka bias diteruskan dengan membangun *trajectory walking*, mempertimbangkan *stability criteria* robot serta sistem navigasi robot secara otomatis dengan penambahan beberapa sensor / komponen pendukung lainnya .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DRPM Kemenristekdikti melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula dan selalu didukung oleh Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Khomariah, N. E., Pramadihanto, D., & Dewanto, R. S. (2015). *FLoW Bipedal Robot : Walking Pattern Generation*. In Electronics Symposium (IES), 2015 International (pp. 73-78). IEEE.
- Kucuk, S., & Bingul, Z. (2006). *Robot kinematics: Forward and Inverse Kinematics*. In Industrial robotics: theory, modelling and control. InTech.
- Raibert, M., Blankespoor, K., Nelson, G., & Playter, R. (2008). *Bigdog, The Rough-Terrain Quadruped Robot*. IFAC Proceedings Volumes, 41(2), 10822-10825.
- Saranli, U., Buehler, M., & Koditschek, D. E. (2001). *RHex: A Simple and Highly Mobile Hexapod Robot*. The International Journal of Robotics Research, 20(7), 616-631.
- Semini, C. (2010). *HyQ-Design and Development of a Hydraulically Actuated Quadruped Robot*. Doctor of Philosophy (Ph. D.), University of Genoa, Italy.
- Ya-xin, Y., & Bo, J. (2014). *Gait Generation and Control of a Hexapod Walking Robot*. Open Electrical & Electronic Engineering Journal, 8, 335-341.