

## Pemodelan *Hexapod Robot* untuk Sistem Monitoring Keamanan

Munadi<sup>1</sup>, Joga Dharma S.<sup>2</sup>, Elang Priyangga P.<sup>3</sup>, dan Jalu Rahmadi M.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH. Tembalang Semarang 50275, Indonesia  
E-mail: munadi@undip.ac.id

### Abstrak

Artikel ini mempresentasikan pemodelan *hexapod robot* yang digunakan untuk aplikasi sistem monitoring keamanan suatu area dimana *hexapod robot* mengirimkan kondisi visual area yang dijelajahi ke *home base* berdasarkan kamera yang dipasang pada *hexapod robot* dan *hexapod robot* ini digerakkan secara wireless. Model *hexapod robot* ini merupakan sebuah *mobile robot* yang dapat digunakan untuk menjangkau area atau tempat-tempat yang sulit yang didesain menggunakan bahan akrelik agar ringan dalam bergerak atau bermanuver. Model *hexapod robot* dirancang memiliki enam kaki dimana setiap kaki terdiri dari tiga *joint* sehingga secara keseluruhan memiliki 18 *dof*. Model *hexapod robot* didesain menggunakan sofware CAD dan untuk analisa *forward* dan *inverse kinematics* menggunakan bantuan software Matlab dan RoboAnalyzer. Untuk analisa algoritma gerak robot berdasarkan tiga macam metode jalan yaitu *one wave*, *two wave*, dan *tripod*, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar pengujian kecepatan dan konsumsi daya.

**Kata kunci :** *Hexapod robot*, *Forward* dan *Inverse Kinematics*, Algoritma Gerak Robot

### Latar belakang

Perkembangan teknologi otomasi saat ini sangat cepat, contohnya adalah diciptakannya robot yang berfungsi untuk mempermudah atau membantu tugas manusia, khususnya untuk melaksanakan tugas yang tidak dapat dilakukan oleh manusia secara langsung dengan alasan waktu sampai dengan keamanan.

Dalam dunia pertahanan dan keamanan, sudah umum diaplikasikan sebuah jenis robot yaitu *mobile robot* yang mampu menjangkau tempat atau area sulit atau berbahaya jika dijangkau manusia secara langsung, misal untuk mengintai markas teroris. Dan untuk bisa menjangkau medan yang sulit, *mobile robot* jenis robot berkaki (*legged*) lebih aman dalam melewati medan yang bervariasi dibandingkan robot beroda (*wheel*).

*Hexapod robot* merupakan sebuah *mobile robot* yang berjalan dengan menggunakan enam kaki yang dapat dimanfaatkan untuk menjangkau tempat atau area yang sulit atau bahkan tidak mungkin untuk dapat dijangkau menggunakan *mobile robot* berroda. Sehingga dengan kemampuannya melintasi medan yang bervariasi maka *hexapod robot* lebih sering digunakan dibanding jenis yang lain. Pada perkembangan selanjutnya, *hexapod robot* dikembangkan dengan dilengkapi sebuah kamera untuk inspeksi sampai dengan monitoring suatu area yang kena bencana alam maupun tindak terorisme sehingga dapat memberikan data informasi ke *home base*. Akan tetapi ketika kondisi sudah aman dimana tidak

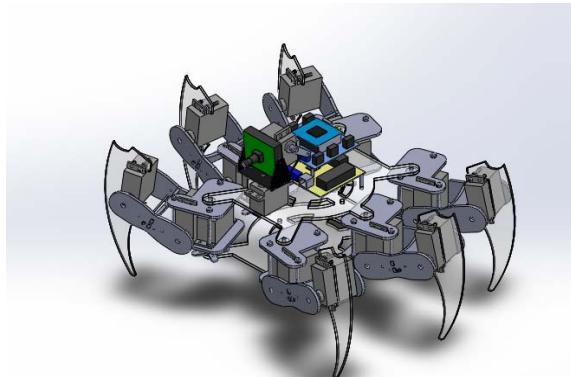
sering adanya gempa atau terorisme, maka *hexapod robot* dapat digunakan untuk proses investigasi maupun monitoring kondisi suatu area sebagai komponen *mobile security monitoring systems* [1].

Pada penelitian ini, *hexapod robot* akan dikembangkan untuk tugas inspeksi dan monitoring keamanan sebuah area sebagai sebuah unit *mobile security monitoring systems*. Hal ini dilatarbelakangi adanya beberapa kejadian pada area industri atau lingkungan perumahan dimana sering terjadi kehilangan barang khususnya pada malam hari walaupun sudah ada tenaga keamanan dan beberapa CCTV yang dipasang pada beberapa lokasi. Tentunya faktor manusia memiliki keterbatasan dalam memonitor keamanan dengan jangka waktu 24 jam. Model *hexapod robot* yang akan dirancang akan dilengkapi dengan kamera, dan servo motor [2] yang bersuara lebih halus agar dapat menjadi sebuah *snooper hexapod robot*. *Snooper hexapod robot* dirancang dengan software CAD, dan tentunya dianalisa dari segi kinematik. Untuk analisa algoritma gerak robot didasarkan pada tiga macam metode jalan yaitu *one wave*, *two wave*, dan *tripod*. Kelebihan model *hexapod robot* ini yang akan dirancang ini mampu menjangkau medan sulit dan dapat mengirimkan informasi visual kepada operator yang mengendalikannya di pos keamanan (*home base*) baik keadaan pagi, siang terlebih malam hari. Dengan model bergerak *tripod*, maka *hexapod robot* akan dapat berdiri stabil pada tiga kaki atau lebih, dimana robot ini memiliki banyak

fleksibilitas dalam bergerak [3] dimana jika kaki cacat robot masih mempunyai kemungkinan untuk tetap bisa berjalan.

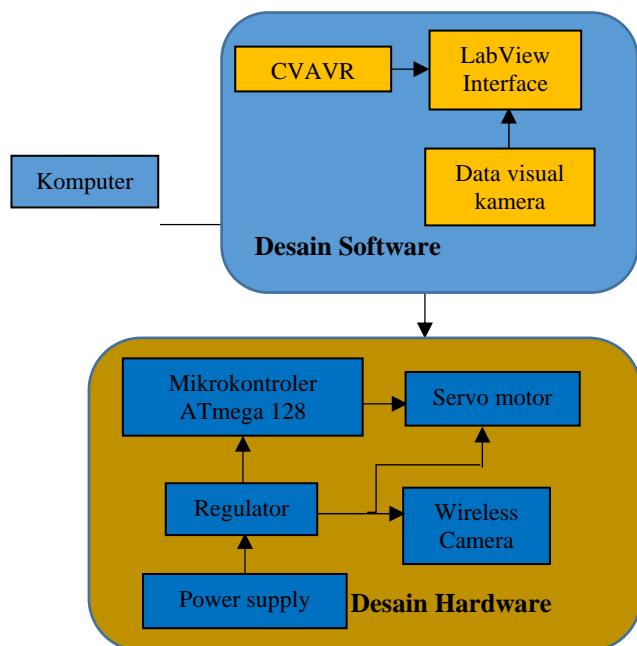
### Desain Model *hexapod Robot*

Dalam penelitian ini, model *hexapod robot* didesain menggunakan softaware CAD yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain *hexapod robot*.

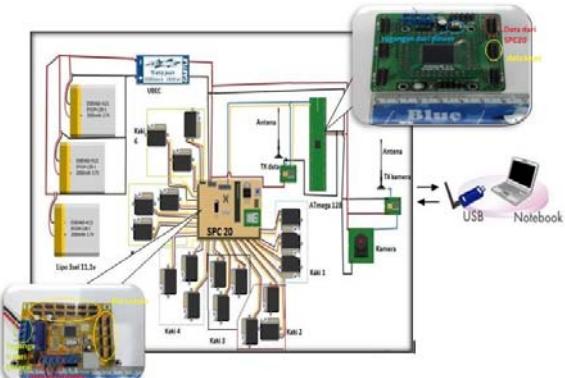
Selanjutnya untuk model *hexapod robot* ini dibutuhkan desain software dan hardware untuk mempermudah dalam merencanakan sistem yang akan dibangun dari robot tersebut. Adapun skema desain software dan hardware ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema desain *software* dan *hardware* *hexapod robot*

### Desain Hardware Elektronik

Untuk sistem elektronik model *hexapod robot* ini terdiri atas beberapa komponen elektronika. Beberapa komponen elektronika tersebut adalah mikrokontroler Atmega 128, SPC *servo controller*, servomotor, wireless modul, wireless camera module, regulator, dan power supply. Komponen-komponen tersebut disusun untuk membentuk sebuah diagram desain *hardware* model *hexapod robot* yang ditunjukkan pada Gambar 3.

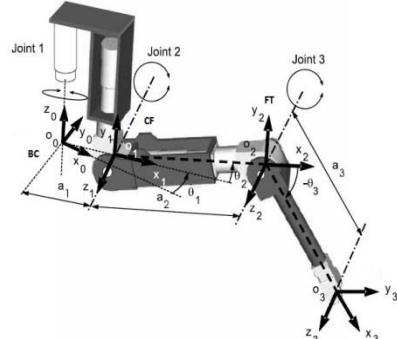


Gambar 3. Assembly hardware elektronik *hexapod robot*

### Hasil dan Analisa

#### *Forward dan Inverse Kinematics*

Setelah model *hexapod robot* diassembly, maka dilakukan analisa *forward* dan *inverse kinematics* dengan menggunakan Matlab sebagai alat bantu perhitungannya. Untuk memverifikasi hasil analisa akan digunakan RoboAnalyzer. Bagian yang dianalisa adalah sampling satu kaki *hexapod robot* yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Koordinat *frames* satu kaki *hexapod robot* [4].

Setelah menentukan koordinat *frames* maka dapat ditentukan *Denavit-Hartenberg parameter* dari link kaki *hexapod robot* yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. DH Parameter

(Link)	$\alpha_{i-1}$	$a_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$
1	$90^0$	$a_1$	0	$\theta_1$
2	$0^0$	$a_2$	0	$\theta_2$
3	$0^0$	$a_3$	0	$\theta_3$

Berdasarkan DH Parameter pada Tabel 1 maka dapat ditentukan transformasi *link* dari kaki *hexapod robot* dengan persamaan berikut [5] :

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pada uji coba *forward kinematic*, kita tentukan nilai DH parameter yang ditablekan pada Tabel 2.

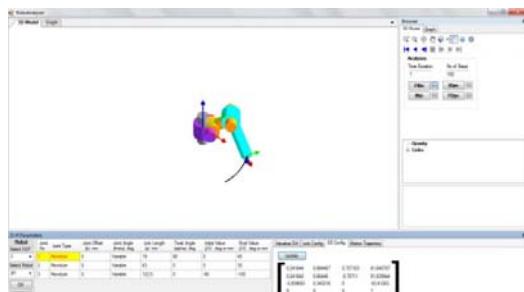
Tabel 2. DH parameter nilai dari desain *hexapod robot*

(Link)	$\alpha_{i-1}$	$a_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$
1	$90^0$	19	0	45
2	$0^0$	63	0	30
3	$0^0$	122,5	0	-100

Dan berikut merupakan hasil perhitungan dari penyelesaian persamaan transformasi *link* dengan menggunakan Matlab :

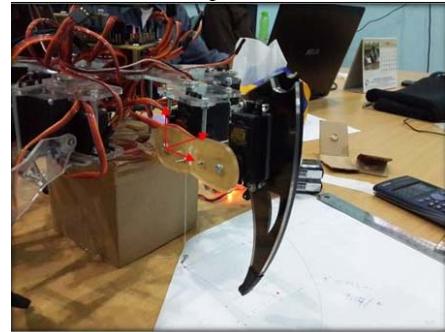
$${}^0T_3 = \begin{bmatrix} 0,241 & 0,664 & 0,707 & 81,640 \\ 0,241 & 0,664 & -0,707 & 81,640 \\ -0,939 & 0,342 & 0 & -83,612 \\ 0 & 0 & 0 & 1,0000 \end{bmatrix}$$

Setelah penyelesaian menggunakan Matlab maka dilakukan verifikasi pada *software RoboAnalyzer* yang ditunjukkan dengan Gambar 5.



Gambar 5. Hasil verifikasi *RoboAnalyzer*

Untuk lebih meyakinkan, maka hasil verifikasi melalui perhitungan Matlab dan memverifikasi dengan *RoboAnalyzer*, maka dilanjutkan dengan pengujian secara langsung pada *hexapod robot* yang ditunjukkan pada Gambar 6, sedangkan hasil keseluruhan ditabelkan pada Tabel 3.



Gambar 6. Posisi awal kaki *hexapod robot*

Tabel 3. Hasil analisa *forward kinematics*

Posisi i	Hasil			Error (%)
	Matlab (mm)	RoboAnaly zer (mm)	Pengujia n (mm)	
P <sub>x</sub>	81	81	78	3,7
P <sub>y</sub>	81	81	86	6,2
P <sub>z</sub>	-83	-83	-87,5	5,4

Kemudian dilanjutkan analisa *inverse kinematics* yang menggunakan perhitungan Matlab dan *RoboAnalyzer*. Gambar 7 merupakan cara menghitung *inverse kinematics* dengan *RoboAnalyzer*.



Gambar 7. Parameter pada kolom *inverse kinematics*

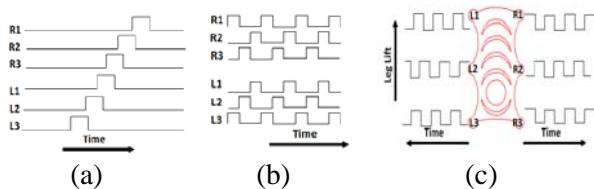
Nilai parameter *end-effector* didapat dari analisa sebelumnya yaitu *forward kinematics*. Setelah memasukkan parameter selanjutnya maka hasil lengkap *inverse kinematics* ditabelkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisa *inverse kinematics*

Sudut (Theta )	Matla b (deg)	RoboAnalyz er (deg)	Pengujia n (deg)	Erro r (%)
$\theta_1$	45	45	41,1	8,7
$\theta_2$	30,8	30,8	29,8	3,2
$\theta_3$	-101	-101	-105,7	4,6

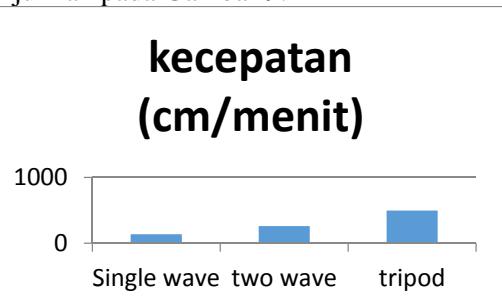
## Pengujian Kecepatan

Pada pengujian kecepatan, sampling dilakukan oleh model *hexapod robot* dengan melintasi lintasan sepanjang 100 cm dimana gerakan kaki dibedakan tiga jenis, yaitu *one wave*, *two wave* dan *tripod*. *One wave* maksudnya kaki bergerak secara satu persatu dimulai dari kaki paling belakang, kemudian diulang oleh sisi yang lainnya. *Two wave* maksudnya gerakan yang dihasilkan dua kaki yang diangkat. Sedangkan *tripod* terdiri dari kaki depan dan kaki belakang serta kaki tengah pada sisi lainnya dimana untuk setiap *tripod*, kaki diangkat, diturunkan, dan digerakkan maju mundur secara bersamaan. Untuk detailnya ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema *one wave* (a) *two wave*, dan *tripod* (c)<sup>[22]</sup>

Berdasarkan tiga skema pengujian kecepatan model *hexapod robot*, maka diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Gambar 9.



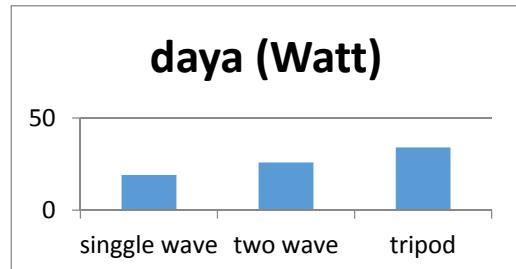
Gambar 9. Grafik hasil pengujian kecepatan

Dari grafik Gambar 9 diatas didapatkan nilai rataan kecepatan dalam mencapai jarak 100 cm yaitu 136,7 cm/menit untuk tipe gerak *one wave*, 260,87 cm/menit untuk tipe gerak berjalan *two wave*, dan 495,46 cm/menit untuk tipe gerak berjalan *tripod*.

## Pengujian Konsumsi Daya

Pengujian konsumsi daya dilakukan untuk mengetahui laju konsumsi daya oleh *hexapod robot* ketika sedang bergerak. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur laju arus pada sistem robot pada kondisi robot benar-benar berjalan kemudian diambil nilai rataannya. Pengukuran dilakukan dengan alat *ampere meter* dengan titik bacaan adalah keluaran dari baterai. Dengan demikian, ketika robot beroperasi dapat terukur laju arus listrik yang bekerja pada sistem robot

untuk kemudian menghitung daya (W). *Ampere meter* yang digunakan untuk pengambilan data arus pada *hexapod robot* membaca nilai arus setiap 0,5 detik. Dan pada pengujian ini diambil 10 data *sample* tiap jenis gerak robot untuk diambil nilai rataannya. Hasil pengujian konsumsi daya model *hexapod robot* yang telah dirata-rata ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik hasil pengujian konsumsi daya

## Sistem Monitoring

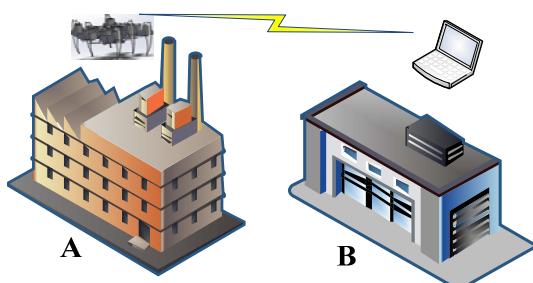
Pada pembuatan model *hexapod robot* ini, dibuat sebuah *user interface* atau antarmuka yang berfungsi sebagai pusat kendali dan penerimaan data visual yang dikirim oleh robot dan ditunjukkan pada Gambar 11. *User interface* ini memberikan kemudahan bagi operator dalam mengoperasikan robot, serta menyajikan tampilan visual kondisi di sekitar robot yang ditangkap oleh kamera dan dikirim secara nirkabel, dimana tombol pada *keyboard* komputer digunakan untuk mengontrol gerak robot serta mengubah arah kamera. Adapun fungsi masing-masing tombol telah didefinisikan untuk menggerakkan robot ke kiri, kanan, mundur, maju, rotasi, maupun arah kamera ke atas, bawah, kanan, kiri, dan lain-lain.

Untuk mengoperasikan *user interface* ini yang pertama dilakukan adalah menghubungkan modul *wireless serial* dan kamera. Setelah semua terhubung, pada *interface* sebelah bawah kolom kamera kita pilih kamera yang terhubung, lalu klik tombol *start* dan visualisasi dari kamera akan tersaji pada jendela yang tersedia. Kemudian di sebelah kanan *user interface* kita pilih COM yang terhubung untuk komunikasi serial, kemudian klik tombol *connect* dan *start* maka robot sudah terhubung dan dapat dikendalikan melalui *user interface* seperti pada Gambar 11 tersebut.



Gambar 11. Pengambilan gambar pada model hexapod robot user interface

Pada pengaplikasiannya, robot berjalan dan mengambil sekaligus mengirimkan data visual dengan dioperasikan oleh operator dari jarak jauh secara nirkabel di suatu tempat yang lain. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Ilustrasi aplikasi hexapod robot  
Dari ilustrasi tersebut dapat dilihat bahwa robot berjalan dan mengambil data visual dari gedung A, kemudian mengirimkannya kepada operator yang mengendalikan robot dari gedung B (*home base*) secara nirkabel. Dengan demikian, robot dapat berfungsi sebagai *surveillance robot* untuk sistem monitoring keamanan yang meminimalkan kasus pencurian atau hal lainnya di suatu area.

## Kesimpulan

Pada penelitian ini berhasil dibuat model *hexapod robot* yang digunakan untuk sistem monitoring keamanan suatu area dimana kondisi visual area yang dimonitor dikirimkan secara nirkabel ke *home base*. Model *hexapod robot* dianalisa *forward* dan *inverse kinematics* dan menunjukkan tingkat error yang kecil antara hasil perhitungan dengan pengujian.

## Referensi

- [1] K. Dempsey, N.S. Chawla, A. Johnson, A.C. Jones, A. Orebough, M. Scholl, K. Stine, Information security continuous monitoring (ISCM) for federal information systems and organizations”, National Institute of Standards and Technology U.S. Department of Commerce, NIST Special Publication (2011), pp. 800-137.
- [2] P.S. Pa, C.M. Wu, Design of a Hexapod Robot with a Servo Control, and a Man-Machine Interface, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 28 (2012), pp. 351-358.
- [3] Z. Wang, X. Ding, A. Rovetta, A. Glusti, Mobility Analysis of the Typical Gait of a Radial Symmetrical Six-Legged Robot, Mechatronics, Vol. 21, No. 7 (2011), pp. 1133-1146.
- [4] P.G. de Santos, E. Garcia, J. Estremera, Quadrupedal Locomotion : An Introduction to The Control Of Four-Legged Robots, Springer, Spain, 2005.
- [5] J.J. Craig, Introduction to Robotics Mechanics and Control 2<sup>nd</sup> Edition,” Addition-Wesley Publishing Company, USA, 1989, pp. 76-84.