

ISSN 2089-1083



SUN MOON UNIVERSITY



Aptikom Wilayah 7
Asosiasi Perguruan Tinggi Informatika & Komputer

PROSIDING Volume 03

SNATIKA 2015

Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Aplikasinya



Malang, 26 November 2015

diorganisasi oleh:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat

Sekolah Tinggi Informatika dan Komputer Indonesia

SNATIKA 2015

**Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Aplikasinya
Volume 03, Tahun 2015**

PROGRAM COMMITTEE

Prof. Dr. R. Eko Indrajit, MSc, MBA (Perbanas Jakarta)

Prof. Dr. Zainal A. Hasibuan (Universitas Indonesia)

Prof. Dr. Ir. Kuswara Setiawan, MT (UPH Surabaya)

STEERING COMMITTEE

Koko Wahyu Prasetyo, S.Kom, M.T.I

Subari, M.Kom

Daniel Rudiaman S., S.T, M.Kom

Jozua F. Palandj, M.Kom

Dedy Ari P., S.Kom

ORGANIZING COMMITTEE

Diah Arifah P., S.Kom, M.T

Laila Isyriyah, M.Kom

Mahendra Wibawa, S.Sn, M.Pd

Elly Sulistyorini, SE.

Siska Diatinari A., S.Kom

M. Zamroni, S.Kom

Ahmad Rianto, S.Kom

Septa Noviana Y., S.Kom

Roosye Tri H., A.Md.

Ery Christianto, Willy Santoso

U'un Setiawati, Isa Suarti

SEKRETARIAT

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat

Sekolah Tinggi Informatika & Komputer Indonesia (STIKI) – Malang

SNATIKA 2015

Jl. Raya Tidar 100 Malang 65146, Tel. +62-341 560823, Fax. +62-341 562525

Website : snatika.stiki.ac.id

Email : snatika@stiki.ac.id

DAFTAR ISI

		Halaman	
Halaman Judul		ii	
Kata Pengantar		iii	
Sambutan Ketua STIKI		iv	
Daftar Isi		v	
1	<i>Danang Arbian Sulisty, Gunawan</i>	Penyelesaian Fill-In Puzzle Dengan Algoritma Genetika	1 - 6
2	<i>Koko Wahyu Prasetyo, Setiabudi Sakaria</i>	Structural And Behavioral Models Of RFID-Based Students Attendance System Using Model-View-Controller Pattern	7 - 11
3	<i>Titania Dwi Andini, Edwin Pramana</i>	Penentuan Faktor Kredibilitas Toko Online Melalui Pendekatan Peran Estetika Secara Empiris	12 - 21
4	<i>Soetam Rizky Wicaksono</i>	Implementing Collaborative Document Management System In Higher Education Environment	22 - 25
5	<i>Johan Ericka W.P</i>	Evaluasi Performa Protokol Routing Topology Based Untuk Pengiriman Data Antar Node Pada Lingkungan Vanet	26 - 29
6	<i>Sugeng Widodo, Gunawan</i>	Template Matching Pada Citra E-KTP Indonesia	30 – 35
7	<i>Adi Pandu Wirawan, Maxima Ari Saktiono, Aab Abdul Wahab</i>	Penghematan Konsumsi Daya Node Sensor Nirkabel Untuk Aplikasi Structural Health Monitoring Jembatan	36 – 40
8	<i>Fitri Marisa</i>	Model Dan Implementasi Teknik Query Realtime Database Untuk Mengolah Data Finansial Pada Aplikasi Server Pulsa Reload Berbasis .Net	41 - 47
9	<i>Septriandi Wira Yoga, Dedy Wahyu</i>	Efisiensi Energi Pada Heterogeneous Wireless Sensor Network Berbasis Clustering	48 - 53

*Herdiyanto,
Arip Andrika*

10	<i>Andri Dwi Setyabudi Wibowo</i>	Kinematik Terbalik Robot Hexapod 3dof	54 - 61
11	<i>Julie Chyntia Rante, Khodijah Amiroh, Anindita Kemala H</i>	Performansi Protokol Pegasis Dalam Penggunaan Efisiensi Energi Pada Jaringan Sensor Nirkabe	62 - 65
12	<i>Megawaty</i>	Analisis Perangkat Ajar Relational Database Model Berbasis Multimedia Interaktif	66 - 69
13	<i>Puji Subekti</i>	Perbandingan Perhitungan Matematis Dan SPSS Analisis Regresi Linear Studi Kasus (Pengaruh IQ Mahasiswa Terhadap IPK)	70 - 75
14	<i>Inovency Permata Wibowo, Hendry Setiawan, Paulus Lucky Tirma Irawan</i>	Desain Prototype Aplikasi Penyembuhan Stroke Melalui Gerak Menggunakan Kinect	76 - 82
15	<i>Diah Arifah P., Laila Isyriyah</i>	Sistem Pendukung Keputusan Evaluasi Kinerja Untuk Penentuan Pegawai Terbaik Menggunakan Fuzzy Simple Additive Weighted (FSAW)	83 - 88
16	<i>Riki Renaldo, Nungsiyati, Muhamad Muslihudin, Wulandari, Deni Oktariyan</i>	Fuzzy SAW (Fuzzy Simple Additive Weighting) Sebagai Sistem Pendukung Keputusan Dalam Memilih Perguruan Tinggi Di Kopertis Wilayah II (Study Kasus: Provinsi Lampung)	89 - 98
17	<i>Nurul Adha Oktarini Saputri, Ida Marlina</i>	Analisis Kualitas Layanan Website Perguruan Tinggi Abdi Nusa Palembang Dengan Metode Servqual	99 - 104
18	<i>Nur Nafi'yah</i>	Clustering Keahlian Mahasiswa Dengan SOM (Studi Khusus: Teknik Informatika Unisla)	105 - 110
19	<i>Philip Faster Eka Adipraja, Sri A.K. Dewi,</i>	Analisis Efektifitas Dan Keamanan Ecommerce Di Indonesia Dalam Menghadapi MEA	111 - 117

Lia Farokhah

- | | | | |
|----|--|--|-----------|
| 20 | <i>Novri Hadinata,
Devi Udariansyah</i> | Implementasi Metode Web Engineering Dalam Perancangan Sistem Informasi Penerimaan Mahasiswa Baru Dan Tes Online | 118 – 125 |
| 21 | <i>Nurul Huda,
Nita Rosa
Damayanti</i> | Perencanaan Strategis Sistem Informasi Pada Perguruan Tinggi Swasta Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Masyarakat Abdi Nusa Palembang | 126 - 131 |
| 22 | <i>Sri Mulyana,
Retantyo Wardoyo,
Aina Musdholifah</i> | Sistem Pakar Medis Berbasis Aturan Rekomendasi Penanganan Penyakit Tropis | 132 - 137 |
| 23 | <i>Setyorini</i> | Sistem Informasi Manajemen Pendidikan Melalui Media Pembelajaran Aplikasi Mobile E-Try Out Berbasis Android | 138 - 142 |
| 24 | <i>Anang Andrianto</i> | Pengembangan Portal Budaya Using Sebagai Upaya Melestarikan Dan Mengenalkan Kebudayaan Kepada Generasi Muda | 143 - 149 |
| 25 | <i>Dinny Komalasari</i> | Perencanaan Strategis Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi Pada Sekretariat Dewan Perwakilan Rakyat Daerah Kota Prabumulih | 150 - 158 |
| 26 | <i>Vivi Sahfitri,
Muhammad Nasir,
Kurniawan</i> | Sistem Penunjang Keputusan Penentuan Penerimaan Beras Miskin | 159 - 164 |
| 27 | <i>Evy
Poerbaningtyas,
L N Andoyo</i> | Sistem Geoserver Pertanian Dengan Postgis Guna Mempermudah Pengolahan Data Penyuluhan Petani Di Kabupaten Malang | 165 - 169 |
| 28 | <i>Kukuh Nugroho,
Wini Oktaviani,
Eka Wahyudi</i> | Pengukuran Unjuk Kerja Jaringan Pada Penggunaan Kabel UTP Dan STP | 170 - 174 |
| 29 | <i>Megawaty</i> | Perancangan Sistem Informasi Stasiun Palembang TV Berbasis Web | 175 - 177 |
| 30 | <i>Emiliana
Meolbatak,</i> | Penerapan Model Multimedia Sebagai Media Pembelajaran Alternatif Untuk | 178 - 184 |

	<i>Yulianti Paula Bria</i>	Meningkatkan Self Motivated Learning Dan Self Regulated Learning	
31	<i>Merry Agustina, A. Mutatkin Bakti</i>	Penentuan Distribusi Air Bersih Di Kabupaten X Menggunakan Metode Simple Additive Weighting (SAW)	185 - 188
32	<i>Nuansa Dipa Bismoko, Wahyu Waskito, Nancy Ardelina</i>	Sistem Komunikasi Multihop Sep Dengan Dynamic Cluster Head Pada Jaringan Sensor Nirkabel	189 - 193
33	<i>Widodo, Wiwik Utami, Nukhan Wicaksono Pribadi</i>	Pencegahan Residivisme Pelaku Cybercrime Melalui Model Pembinaan Berbasis Kompetensi Di Lembaga Pemasarakatan	194 - 201
34	<i>Subari, Ferdinandus</i>	Sistem Information Retrieval Layanan Kesehatan Untuk Berobat Dengan Metode Vector Space Model (VSM) Berbasis Webgis	202 - 212

STABILITY OF WALKING ROBOT (HEXAPOD) WITH INVERSE KINEMATICS

Andri Dwi Setyabudi Wibowo

Teknik Elektro

SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI BONTANG

E-mail : Andhie.13@gmail.com

ABSTRAK

Aplikasi robotika hampir meliputi segala bidang, dan tentu saja memberikan banyak keuntungan. Keuntungan tersebut diantaranya meliputi bidang industry, medika, transportasi, pendidikan dan lain-lain. Dalam bidang pendidikan, robot digunakan sebagai bahan riset dan pengembangan untuk menghasilkan sesuatu yang lebih baik. Berbagai bentuk robot pun dikembangkan, salah satunya adalah robot bergerak (*mobile robot*). Robot beroda adalah yang pertama dikembangkan, namun roda tidak efektif untuk medan yang kasar dan tidak tentu (*tidak rata*), sehingga untuk mengatasi masalah tersebut dikembangkan sistem palet (*tracked*). Namun hal tersebut belum memberikan solusi yang terbaik karena palet menghancurkan jalur yang dilaluinya, dan tidak efisien karena memerlukan daya yang cukup besar untuk menggerakkan palet.

Sistem berkaki dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut karena sebuah robot berkaki dapat berjalan dengan baik pada medan yang tidak rata sekalipun. Hexapod, adalah sebuah robot berkaki enam yang menyerupai laba-laba, memiliki tingkat kestabilan yang tinggi bila 3 atau lebih (maksimal 5) kaki menopang tubuhnya ketika sedang berjalan. Pada project ini, dirancang sebuah robot hexapod dengan 3DOF (*Degree of Freedom*) di setiap kakinya. Dengan penerapan *inverse kinematics* untuk menggerakkan setiap kaki dan *gait pattern* untuk mengkoordinasikan langkah kaki, membuat pergerakan robot menjadi halus dan mudah dikendalikan.

KATA KUNCI : *robot, hexapod, kinematic inverse, gait pattern*

1. Pendahuluan

Meskipun banyak hewan di alam memiliki kaki untuk bergerak, namun kendaraan pertama yang dikembangkan oleh manusia adalah kendaraan beroda. Walaupun roda sukses diterapkan pada berbagai kendaraan termasuk pesawat, roda kurang efektif dan tidak tepat untuk medan yang tidak diketahui (*tidak rata*) dan kasar.

System tracked (*palette*) dikembangkan untuk mengatasi masalah ini. Namun, sistem ini bukan tanpa masalah, karena menghancurkan medan pada jalur yang dilaluinya. Sebagai alternatif dari bentuk roda dan tracked, gerak berkaki dikembangkan dengan meniru hewan berkaki di alam. Kelebihan robot berkaki dibandingkan tipe beroda maupun palet adalah dapat berjalan pada medan kasar.

Metode konvensional untuk membuat sebuah robot berkaki berjalan adalah dengan menentukan simpangan dan pewaktuannya masing-masing sendi untuk membuat robot berjalan kemudian memasukkannya ke dalam tabel *look-up*. Dengan *trial & error*, masing-masing besarnya sudut aktuator dan *timing* antar aktuator untuk membuat gerakan kaki dapat

ditentukan. Metode ini tidak perlu komputasi rumit namun tidak fleksibel untuk membuat gerakan yang baru atau beragam dan lebih banyak memerlukan *memory*.

Untuk menggerakkan kaki robot dengan lebih fleksibel diperlukan beberapa algoritma untuk mengendalikan aktuator diantaranya adalah kinematika mundur (*inverse kinematic*) untuk menentukan besar sudut setiap sendi saat ujung kaki berada pada suatu koordinat tertentu, perencanaan trayektori digunakan untuk membentuk lintasan pergerakan ujung kaki robot, *gait pattern* untuk mengatur koordinasi setiap kaki untuk membentuk suatu pola pergerakan dasar dari robot

Untuk menyelesaikan permasalahan yang telah dijabarkan sebelumnya, maka dibuat perumusan masalah yaitu:

1. Konstruksi hexapod dengan 3 DOF
2. Mengakses motor servo Dynamixel AX-12.
3. Persamaan seperti apa yang dapat diterapkan dalam kinematika mundur robot hexapod
4. Bagaimana cara mengkoordinasikan setiap kaki agar menghasilkan suatu pola berjalan yang efektif.

5. Bagaimana membuat algoritma program dalam penerapannya.

Tujuan dari *project* ini adalah merencanakan, merancang dan membuat sebuah algoritma pada platform robot hexapod dasar yang dapat berjalan dengan tingkat stabilitas yang tinggi, yang mana platform ini dapat digunakan untuk tujuan penelitian lebih lanjut lagi.

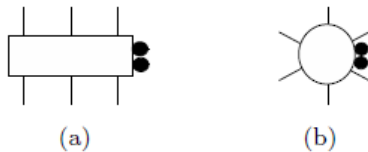
1. Tinjauan Pustaka

1.1 Robot Hexapod

1.1.1 Pengertian

“*Hexapod* adalah sebuah robot yang terinspirasi dari serangga yang memiliki enam kaki yang memungkinkan untuk bergerak fleksibel di berbagai medan. Keuntungan utama dari jenis robot adalah stabilitas. Tidak seperti robot bipedal, robot ini stabil secara statis, sehingga mereka tidak harus bergantung pada mekanisme keseimbangan (Tariq Mamkegh, Hexapod Robot, 2001)”.

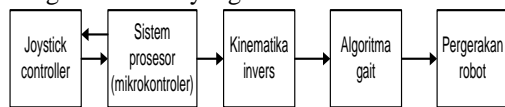
Menurut bentuk tubuhnya, robot hexapod dibagi menjadi dua macam, yaitu *Rectangular* dan *Hexagonal* atau *Circular*. Tipe *rectangular* memiliki letak kaki tegak lurus terhadap titik sumbu kepala dengan titik sumbu ekor, sedangkan tipe *hexagonal* letak kakinya mengelilingi badan robot.



Gambar 1. Robot *Hexapod Rectangular* (a) dan Robot *Hexapod Hexagonal*

1.1.2 Prinsip Kerja Robot

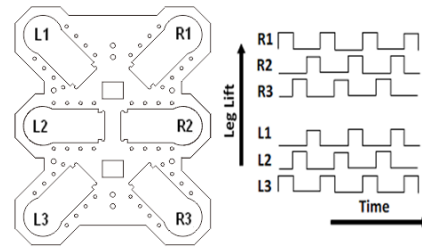
Prinsip kerja dari robot berkaki enam (*Hexapod*) adalah melakukan gerakan kearah tertentu berdasarkan data dan instruksi yang diterima. Secara garis besar sama halnya dengan sebuah *RC-car* dimana ada bagian pengirim yang akan mengirimkan instruksi ke bagian penerima untuk melakukan pekerjaan sesuai dengan instruksi yang diterima.



Gambar 2. Bagan prinsip kerja robot

1.1.3 Diagram Gait Hexapod

Pada robot *hexapod* memungkinkan penerapan beberapa pola berjalan atau yang disebut dengan *gait wave*. Pada robot *hexapod* ini menerapkan algoritma gait jenis *Ripple Gait* (*two wave-gait*) sebagai metode berjalan.



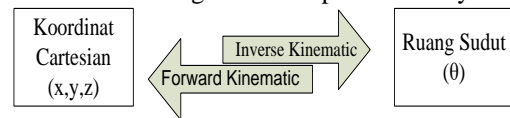
Gambar 3. *Two Wave Gait*

1.1.4 Kinematika Robot Hexapod

Robot *hexapod* dapat dianalisis dengan dua kajian, yaitu analisis kinematika dan dinamika. Analisis kinematika berkaitan dengan pemodelan gerakan robot tanpa memandang efek inersia yang terjadi ketika robot melakukan gerakan, sedangkan analisis dinamika berkaitan dengan efek inersia dari struktur robot yang dihasilkan dari pergerakan pergerakan robot oleh torsi aktuator.

Kontrol Kinematika Robot

Suatu kontroler dikatakan sebagai kontroler kinematika jika mengandung pemodelan dari suatu transformasi ruang Cartesian ke ruang sudut maupun sebaliknya.



Gambar 4. Model Kontrol Kinematika Robot

1. Forward Kinematics

Forward Kinematics adalah metode untuk menentukan orientasi dan posisi *end-effector* dari besarnya sudut sendi dan panjang link lengan. Persamaan *forward kinematics* diperoleh berdasarkan jumlah *DOF* dan jenis *kinematic chain* dari kaki robot *hexapod*.

2. Inverse Kinematics

Inverse Kinematics adalah kebalikan dari *forward kinematics*, yaitu menentukan besarnya sudut sendi dari orientasi dan posisi *end-effector* saat panjang link telah ditetapkan. Metode ini diperlukan untuk mengetahui besarnya sudut pada persendian yang diperlukan agar *end-effector* dapat mencapai posisi yang dikehendaki.

Inverse Kinematics lebih banyak diaplikasikan, namun memiliki kerumitan dalam penghitungannya karena beberapa hal, diantaranya :

1. Melibatkan persamaan non-linier
2. Solusi yang dihasilkan bisa banyak dan bahkan menjadi tak hingga
3. Kemungkinan tidak mendapatkan solusi terjadi ketika posisi *end-effector* berada di luar *workspace* atau *configuration space*.
4. Solusi perhitungan akan semakin rumit ketika jumlah link dan sendi semakin

banyak namun posisi *end-effector* menjadi semakin akurat.

2. Metode Penelitian

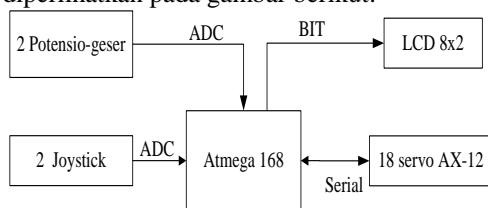
Untuk menyelesaikan Project Penelitian ini digunakan beberapa metodologi seperti berikut ini:

1. Studi literatur, yaitu menggunakan referensi yang sesuai dengan tema di atas dan juga data-data serta rangkaian-rangkaian yang berhubungan dengan hal tersebut.
2. Rancang bangun perangkat keras yang meliputi tahap perancangan blok diagram sistem, dan perancangan mekanik robot *hexapod*.
3. Rancang bangun perangkat lunak yang meliputi analisis permodelan kinematika dan algoritma robot *hexapod*.
4. Pengujian alat, yaitu untuk mengetahui cara kerja dari alat yang telah dibuat apakah sesuai dengan harapan atau masih terdapat kekurangan.

5. analisa data, yaitu untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dari perancangan dan implementasi.

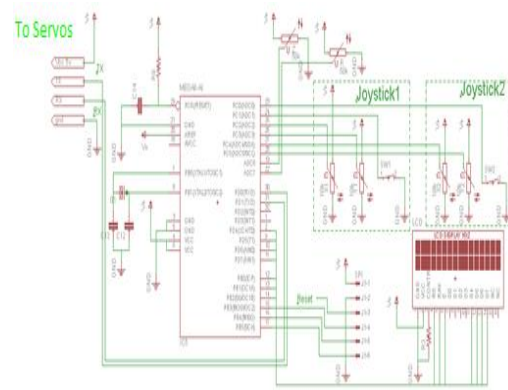
Rancang Bangun Perangkat Keras

Secara umum konfigurasi system dari robot *hexapod* terdiri dari input, kontroler dan output. Dari bagian besar tersebut didalamnya terdapat perangkat keras (*hardware*) dan lunak (*software*). Sisi masukan (*input*) terdiri dari *Joystick-Analog*. Untuk kontroler menggunakan mikrokontroler jenis AVR seri ATmega168. Pada sisi keluaran (*output*) terdapat LCD 8x2 dan *converter half-duplex to UART*. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler menggunakan bahasa C. Blok diagram sistem kontrol robot diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 5 Blok Diagram Sistem Kontrol Robot

Adapun rangkaian kontroler yang harus dibuat agar system dapat berjalan sesuai dengan harapan, rangkaian tersebut diperlihatkan pada gambar berikut:

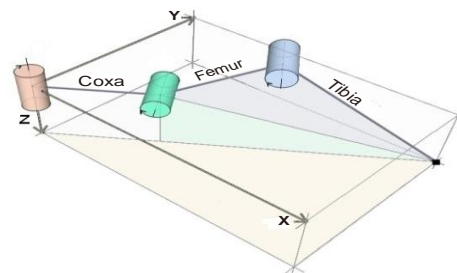


Gambar 6. Skematik rangkaian kontroler **Solusi Kinematika Terbalik**

Untuk dapat mengendalikan robot *hexapod*, perlu dilakukan pemodelan dari kinematika robot. Pemodelan kinematika yang digunakan terdiri dari robot *manipulator* dengan solusi *inverse kinematics*.

Parameter Kinematika Terbalik Untuk Kaki Robot

Peramaan-persamaan kinematika mundur dapat ditentukan dengan penerapan trigonometri dengan melihat setiap persendian yang berada pada satu arah pergerakan. Berikut pemodelan kaki robot dalam 3 dimensi:

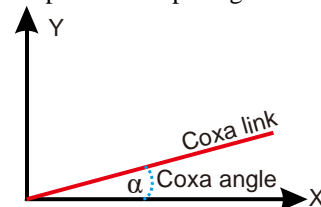


Gambar 7. Model 3D Kaki robot 3DOF

Sehingga untuk menemukan solusi dari kinematika mundur, perlu penyederhanaan dengan cara mengubah bentuk 3D menjadi 2D. Untuk menemukan nilai parameter dari *hip*, dapat dilihat pergerakan dari link *coxa* yaitu pada sumbu x dan y sehingga nilai parameter sendi dapat ditentukan dengan persamaan:

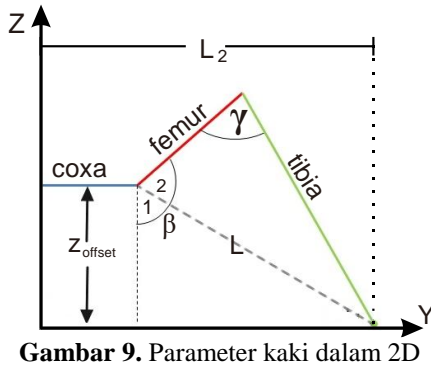
$$\alpha = \text{arc tg} \left(\frac{y}{x} \right) \dots\dots$$

Fungsi tangent diperlihatkan pada gambar 10.



Gambar 8. Fungsi tangent

Parameter selanjutnya yang diperlukan adalah nilai parameter *knee*, parameter ini diperlukan untuk menggerakkan link *femur* dan parameter *joint* untuk menggerakkan *tibia*. Pemodelan 2 dimensi kaki robot diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Parameter kaki dalam 2D

$$L_2 = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{L_2 - coxa}{z_{offset}}\right) \dots\dots\dots$$

$$L = \left(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\right) - coxa$$

Dengan aturan cosinus, parameter β_2 dan ω dapat diperoleh dengan:

$$\cos \beta_2 = \frac{L^2 + femur^2 - tibia^2}{2 \cdot L \cdot femur}$$

$$\beta_2 = \arccos\left(\frac{L^2 + femur^2 - tibia^2}{2 \cdot L \cdot femur}\right) \dots\dots\dots (3)$$

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 \dots\dots\dots$$

$$\cos \gamma = \frac{tibia^2 + femur^2 - L^2}{2 \cdot femur \cdot tibia} \dots\dots\dots$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{tibia^2 + femur^2 - L^2}{2 \cdot femur \cdot tibia}\right) \dots\dots\dots$$

Pada bahasa pemrograman, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan:

- Fungsi arc cos (acos) tidak memiliki akurasi yang baik dalam memperoleh kembali nilai dari cos karena $\cos(\theta) = \cos(-\theta)$
- Ketika $\sin(\theta)$ mendekati nol, yakni $\theta \approx 0^\circ$ atau $\theta \approx 180^\circ$, akan terjadi suatu kesalahan perhitungan yang tidak akurat dan bahkan tidak dapat didefinisikan. Dalam pemrograman computer, hal ini dapat menyebabkan hasil perhitungan menjadi NaN (tidak dapat didefinisikan).

Untuk mencegah terjadinya kesalahan perhitungan dalam pemrograman, dilakukan manipulasi perhitungan dengan fungsi yang digunakan dalam bahasa pemrograman adalah atan2(y,x). Dengan melihat kuadran dari fungsi atan2 (arc tan2)

$$\theta = \arctan2(y,x) = \begin{cases} 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ & \text{untuk } +x \text{ dan } +y \\ 90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ & \text{untuk } -x \text{ dan } +y \\ -180^\circ \leq \theta \leq -90^\circ & \text{untuk } -x \text{ dan } -y \\ -90^\circ \leq \theta \leq 0^\circ & \text{untuk } +x \text{ dan } -y \end{cases}$$

Beberapa hal mengenai fungsi atan2(y,x):

- Fungsi atan2 mengembalikan nilai antara $\frac{\pi}{2}$ dan $-\frac{\pi}{2}$
- Fungsi atan2 mengembalikan nilai antara π dan $-\pi$ dengan menggunakan x dan y adalah bilangan bertanda (+ atau -).
- $\tan \theta^\circ = \frac{\sin \theta^\circ}{\cos \theta^\circ}$

Sehingga persamaan 3 dan 6 dapat diubah menjadi:

$$\cos \beta_2 = \frac{L^2 + femur^2 - tibia^2}{2 \cdot L \cdot femur}$$

dengan permisalan $\cos \beta_2^\circ = A$ dan $\sin \beta_2^\circ = \pm\sqrt{1 - A^2}$, maka:

$$\beta_2 = \arctan2\left(\frac{\sqrt{1 - A^2}}{A}\right) \quad \text{dan}$$

$$\cos \gamma = \frac{tibia^2 + femur^2 - L^2}{2 \cdot femur \cdot tibia}$$

dengan permisalan $\cos \gamma^\circ = D$ dan $\sin \gamma^\circ = \pm\sqrt{1 - D^2}$, maka:

$$\gamma = \arctan2\left(\frac{\sqrt{1 - D^2}}{D}\right)$$

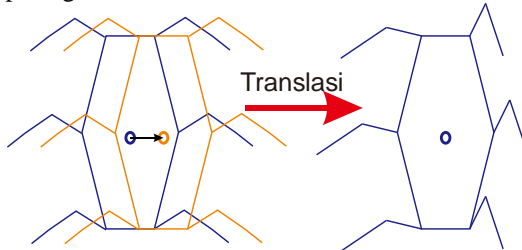
Persamaan Kinematika Terbalik yang telah diperoleh diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman :

```
void invers_kinematik(byte leg, float x, float y, float z, byte speed)
{
    float alpha, beta, gamma, temp, LF;
    float A1,A2, B1, B2,L;
    if(speed=100){speed=100;};
    if(x>25){x=25;};
    if(y>25){y=25;};
    if(z>50){z=50;};
    x=28+x; y=28+y; z=90+z;
    LF=sqrt((x*x)+(y*y)+(z*z));
    LF=LF-coxa;
    L=sqrt((y*y)+(x*x)); L=L-coxa;
    temp=atan2(L,H);
    temp=57.29577951*temp;
    A1= ((tibia*tibia)-(LF*LF)-(femur*femur))/(-2*femur*LF);
    A2=sqrt(1-(pow(A1,2)));
    alpha=atan2(A2,A1);
    alpha=57.29577951*alpha;
    alpha=alpha+temp;
    alpha=240-alpha;
    B1= ((LF*LF)-(femur*femur)-(tibia*tibia))/(-2*femur*tibia);
    B2=sqrt(1-(pow(B1,2)));
    beta=atan2(B2,B1);
    beta=57.29577951*beta;
    beta=60+beta;
    gamma= atan2(x,y);
    gamma=57.29577951*gamma;
    gamma=105+(gamma);
    if (alpha>=195) {alpha=195;}
    else if(alpha<=60) {alpha=60;}
    else if(beta>=160) {beta=160;}
    else if(beta<=60) {beta=60;}
    else if(gamma>=172) {gamma=172;}
    else if(gamma<=128) {gamma=128;};
    posisi((leg*10)+1,gamma,speed);
    posisi((leg*10)+2,alpha,speed);
    posisi((leg*10)+3,beta,speed);
}
```

Gambar 10. Listing Program Kinematika Terbalik

Parameter Kinematika Terbalik Untuk Tubuh Robot

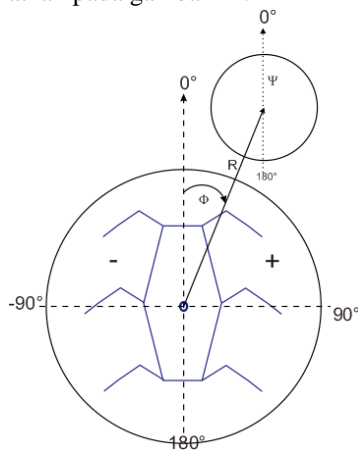
Prinsip dari pergerakan tubuh dengan kinematika mundur adalah mengubah pusat koordinat tubuh berarti mengubah koordinat dari kaki. Dalam *hexapod* digunakan metode pergerakan tubuh dengan cara translasi dan rotasi. Skema perpindahan robot diperlihatkan pada gambar 11.



Gambar 11. Gerak Translasi Robot Hexapod Untuk mengontrol perpindahan robot, harus memenuhi persamaan : $F = f(R, \Phi, \theta)$

Dimana : F = Pergerakan
 R = Jarak dari titik awal ke titik akhir pergerakan
 Φ = Sudut translasi robot
 θ = Sudut rotasi robot.

Kaki adalah *stasioner*, memindahkan tubuh tidak akan mengubah posisi absolut kaki tetapi mengubah posisi relatif kaki terhadap pusat tubuh. Sehingga untuk memindahkan pusat tubuh, kita perlu menghitung koordinat relatif dari setiap kaki menggunakan kinematika mundur tubuh. Skema translasi dan rotasi robot diperlihatkan pada gambar 12.



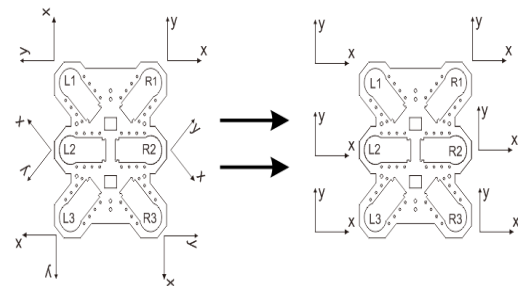
Gambar 12. Arah translasi dan rotasi robot

Berdasarkan gambar 12, perhitungan koordinat relatif dari kaki robot diperoleh dengan menghitung koordinat point awal sebagai arah translasi dan koordinat point akhir sebagai arah rotasi. Sehingga perhitungan koordinat relatif kaki robot dapat ditentukan dengan persamaan transformasi bangun, yaitu rotasi dan dengan beranggapan bahwa $y = R$ dan $x = 0$, maka :

$$P1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R \sin(\Phi + \psi) \\ R \cos(\Phi + \psi) \end{pmatrix}$$

$$P3 = \begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \sin(\Phi + \psi) \\ -R \cos(\Phi + \psi) \end{pmatrix}$$

Ketika persamaan untuk mencari koordinat relatif kaki telah ditemukan, selanjutnya adalah menentukan koordinat kartesian setiap kaki robot. Penentuan garis koordinat ini dilakukan berdasarkan ruang gerak setiap kaki. Dengan setiap kaki memiliki parameter dan arah rotasi servo yang sama sehingga peletakan garis koordinat menjadi seperti berikut:



Gambar 13. Transformasi Garis Koordinat Kaki

Kaki R1 digunakan sebagai acuan pergerakan translasi dan rotasi robot, karena garis koordinat dari kaki R1 adalah sejajar dengan garis koordinat tubuh. Untuk mempermudah pengontrolan parameter setiap kaki, maka hanya parameter kaki R1 yang akan digunakan untuk mengontrol semua parameter kaki namun dengan syarat data yang dihasilkan harus sesuai dengan pergerakan robot yang diharapkan. Sehingga dengan menggunakan metode transformasi bangun (rotasi), data setiap kaki (kecuali kaki R1) dapat ditentukan dengan persamaan 7 dan 8 dimana besarnya sudut rotasi yang digunakan adalah besar sudut yang dihasilkan oleh titik pusat kaki R1 terhadap kaki-kaki lainnya jika setiap titik pusat koordinat kaki ditarik garis lurus terhadap titik pusat tubuh. Besarnya sudut yang dihasilkan berturut-turut adalah:

Tabel 1. Besar sudut rotasi kaki R1 terhadap kaki lainnya

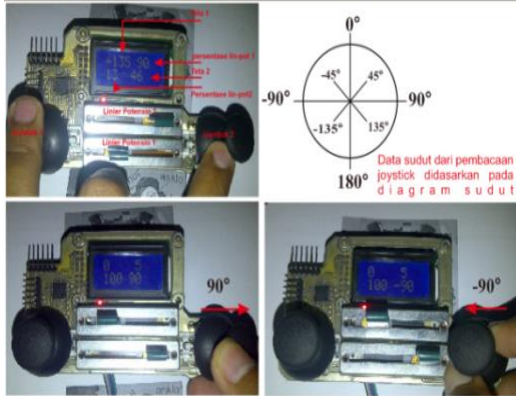
Kaki	Besar sudut rotasi
R2	45°
R3	90°
L1	-90°
L2	-135°
L3	180°

3. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

1. Pengujian Kontroler Pembacaan Input

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui data joystick-controller berdasarkan pembacaan joystick dan linier-potensiometer berdasarkan linieritas data ADC. Pada LCD akan tampil data sudut dari pembacaan joystick

dan persentase pembacaan linieritas dari linier-potensio. Data pembacaan sudut yang dihasilkan berdasarkan pada arah putaran jarum jam. Jika searah dengan jarum jam maka nilai sudut adalah positif (yaitu 0° s/d 180° , terletak pada gradient 1 dan 4) dan nilai sudut adalah negatif (-1° s/d 179° , terletak pada gradient 2 dan 3) jika arah joystick berlawanan arah jarum jam.



Gambar 14. Hasil pengujian joystick-controller

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa pembacaan nilai sumbu x dan y pada joystick yang kemudian dikonversi ke dalam nilai sudut dapat dilakukan dan sesuai dengan perancangan.

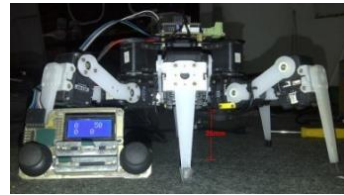
2. Pengujian Kinematika Terbalik

Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui keakurasian pergerakan robot berdasarkan input data yang diberikan dengan robot dalam kondisi tidak berjalan. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan input kepada robot untuk memindahkan badan robot ke arah yang ditentukan namun dalam keadaan posisi kaki yang tidak berpindah tempat. Seperti pada gambar 15 dimana posisi robot secara normal yaitu dengan data masukan sudut arah perpindahan, sudut rotasi, nilai sumbu z dan nilai r (jauhnya perpindahan) masing-masing adalah nol yang dalam hal ini dikatakan kondisi default.



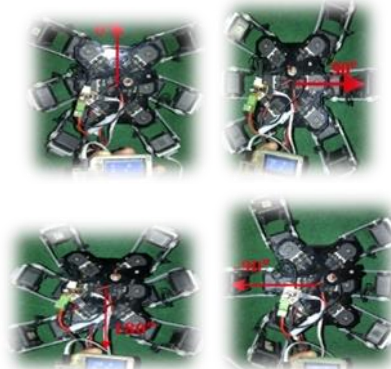
Gambar 15. Kondisi default robot tampak samping & atas

Dari kondisi robot seperti pada gambar di atas, kemudian nilai koordinat sumbu Z diubah berdasarkan joystick-controller yaitu 50% dari tinggi maksimum (50mm) yang berarti 25mm, maka badan robot akan naik dari posisi semula (menuju ke arah sumbu z) sejauh 25mm.



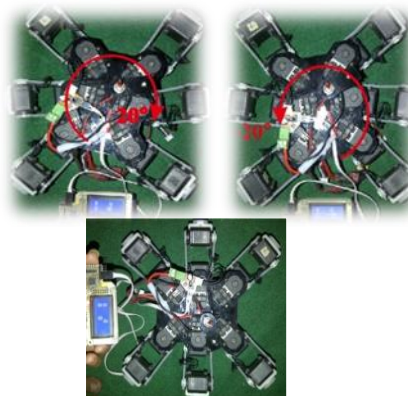
Gambar 16. Data masukan ($\Phi = 0$, $\omega = 0$, $r = 0$ dan $Z = 50\text{mm} \times 50\%$)

Nilai R (jauhnya pergerakan) diatur sebesar 100% (40mm) dan secara berturut-turut nilai sudut arah translasi diubah dengan nilai 0° , 90° , 180° dan -90° .



Gambar 17. gerak translasi badan robot dengan nilai translasi 0° , 90° , 180° dan -90°

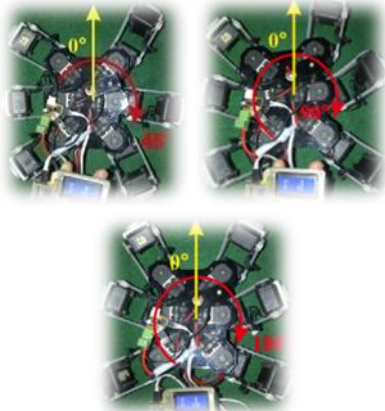
Pengujian berikutnya dilakukan untuk menguji perputaran badan robot berdasarkan nilai sudut rotasi yang diberikan. Nilai R dan sudut arah translasi adalah 0 sedangkan nilai sudut rotasi secara berturut-turut adalah 90° dan -90° . Hasil pengujian ini diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 18. Perputaran badan robot CW dan CCW

Dari gambar 20 menjelaskan bahwa badan robot hanya dapat berputar sejauh -20° hingga 20° . Hal ini disebabkan oleh konstruksi kaki dan sudut kebebasan yang dimiliki oleh sendi hip adalah 40° untuk mencegah terjadinya tabrakan antar kaki yang bersebelahan.

Pengujian berikutnya dilakukan dengan memasukkan nilai $R=100\%$ dan sudut arah translasi sebesar 0° , kemudian besarnya sudut rotasi secara berturut-turut diberikan 45° , 90° , dan 180° . Hasil pengujian diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 19. Pergerakan badan robot dengan sudut rotasi 45° , 90° dan 180° .

3. Pengujian Metode Berjalan dengan “Two Wave Gait”

Tujuan dari pengujian adalah untuk mengetahui efisiensi dan efektifitas dari metode berjalan two wave-gait yang dikombinasikan dengan penggunaan kinematika-invers. Robot diperintahkan untuk berjalan dengan maju dengan nilai yang diberikan adalah $R=100\%$, sudut arah translasi = 0° dan sudut rotasi = 0° . Metode berjalan robot yang digunakan adalah *two wave gait*, kemudian dilakukan pengamatan pada titik akhir perpindahan robot terhadap titik awal perpindahan robot. Tahapan perpindahan robot diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 20. Robot melangkah dengan metode two wave gait

Gambar 20 menjelaskan bahwa robot melangkah dengan mengangkat dua kaki yang berlawanan arah berurutan secara bergantian. Dengan penerapan kinematika invers, slip yang terjadi menjadi lebih kecil dibandingkan dengan metode konvensional. Berikut adalah hasil dari pengujian metode berjalan robot dengan metode konvensional dan penerapan Kinematika Terbalik

Tabel 2. Hasil pengujian metode berjalan robot

Langkah Robot (langkah ke-n)	Metode Konvensional		Penerapan Kinematika Invers	
	Slip	Jarak tempuh (cm)	Slip	Jarak tempuh (cm)
1	Ya	1.3	Ya	1.6
2	Ya	2.6	Tidak	3.6

3	Ya	3.9	Tidak	5.6
4	Tidak	5.9	Tidak	7.6
5	Ya	7.2	Tidak	9.6
6	Ya	8.5	Tidak	11.6
7	Ya	9.8	Tidak	13.6
8	Ya	11.1	Tidak	15.6
9	Tidak	13.1	Tidak	17.6
10	Ya	14.4	Tidak	19.6
11	Ya	15.7	Tidak	21.6
12	Ya	17	Tidak	23.6
13	Ya	18.3	Tidak	25.6
14	Ya	19.6	Tidak	27.6
15	Ya	20.9	Tidak	29.6

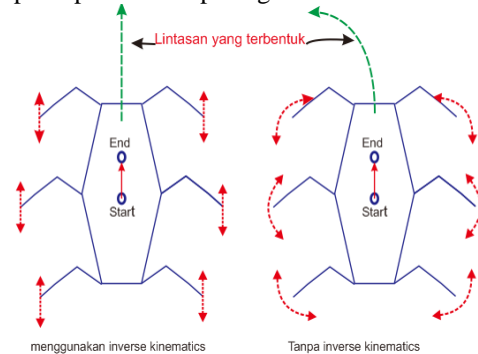
Persentase slip yang terjadi pada kedua metode berjalan robot adalah:

$$\text{Persentase Slip} = \frac{\text{Jumlah slip}}{\text{Jumlah pengujian}} \times 100\%$$

$$\text{Persentase slip}_{\text{konvensional}} = 86,67\%$$

$$\text{Persentase slip}_{\text{IK}} = 6,67\%$$

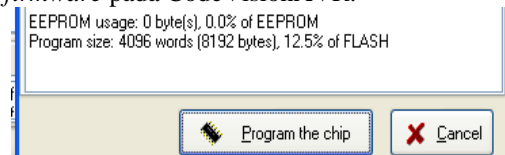
Lintasan yang terbentuk dari berjalannya robot dapat diperlihatkan pada gambar berikut:



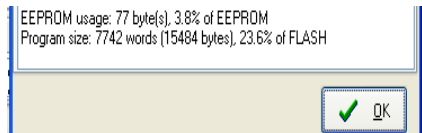
Gambar 21. Perbandingan metode berjalan robot

Gambar 21 menjelaskan bahwa dengan penggunaan kinematika invers, slip menjadi lebih kecil karena pergerakan end-effector kaki robot mengikuti garis vector. Sedangkan tanpa kinematik invers, gerakan kaki robot menjadi sedikit berputar (lintasan end-effector membentuk garis lengkung) yang menyebabkan banyak slip yang terjadi dan arah dari perpindahan robot menjadi tidak menentu.

Besarnya ukuran memori yang diperlukan kontroler untuk menyimpan *firmware* yang dapat menggerakkan robot dengan penerapan kinematika invers menjadi lebih kecil dibandingkan dengan besarnya ukuran memori yang diperlukan untuk menyimpan *firmware* metode konvensional. Berikut adalah *screenshot* hasil kompilasi *firmware* pada CodeVisionAVR.



Gambar 22. Screenshot hasil kompilasi program kinematika invers



Gambar 23. Screenshot hasil kompilasi program konvensional

Dari gambar 22 diketahui bahwa ruang memori *flash* yang diperlukan oleh kontroler adalah sebesar 8192byte sedangkan pada gambar 23 diperlihatkan bahwa ruang memory yang diperlukan adalah sebesar 15484byte.

4. Kesimpulan Dan Saran

4.1 Kesimpulan

Setelah melakukan perencanaan dan pembuatan system kemudian melakukan pengujian dan analisa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Slip yang dihasilkan bila digunakan penerapan kinematika invers dalam metode berjalan adalah sebesar 6,67% sedangkan ketika menggunakan metode konvensional, yaitu sebesar 86,67%.
2. Memory yang diperlukan kontroler untuk menyimpan program kinematika invers lebih sedikit yaitu 8192byte bila dibandingkan dengan program berjalan robot dengan metode konvensional yaitu 15484byte
3. Robot dapat bergerak secara statis, dinamis maupun kombinasi.

4.2 Saran

Untuk mendapatkan performa yang lebih baik dari robot ini maka perlu diterapkan metode *trajectory curve* pada trajectory plan langkah kaki robot. Selain itu agar dapat berjalan pada hampir segala medan, diperlukan penginderaan pada setiap end-effector kaki robot yang menggunakan sensor FSR (*Force Sensitive Resistor*). Untuk mendapatkan tingkat akurasi yang tinggi dari pencapaian titik koordinat oleh *end-effector* maka perlu ditambah jumlah persendian dari setiap kaki.

5. Daftar Pustaka

- [1] R. Clark, A. El-Osery, K. Wedeward, dan S. Bruder, "A Navigation and Obstacle Avoidance Algorithm for Mobile Robots Operating in Unknown, Maze-Type Environments", Proc. International Test and Evaluation Association Workshop on Modeling and Simulation, Las Cruces, NM, December 2004.
- [2] Franco Tedeschi and Giuseppe Carbone, "Design Issues for Hexapod Walking Robots", University of Cassino and Southern

Lazio.2014 (<http://www.mdpi.com/2218-6581/3/2/181/pdf>)

- [3] Mamkegh, Tareq; Hindash,Ahmad; Al-Jabari,Mohammad.2010. Hexapod Robot :Robot design, model and control. German
- [1] Joseph L, Jones, "Robot Programming a practical Guide to Behavior Base Robotics", New York : McGraw-Hill, 2004
- [4] Pitowarno, Endra. "Robotika desain, control dan kecerdasan buatan". Yogyakarta : Andi Offset. 2006.