

PENERAPAN INVERS KINEMATIKA UNTUK PERGERAKAN KAKI ROBOT BIPED

Surya Setiawan¹, Firdaus², Budi Rahmadya^{3*}, Derisma⁴

^{1,3,4} Jurusan Sistem Komputer Fakultas Teknologi Informasi Universitas Andalas

² Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang

Jln. Kampus Limau Manis Kota Padang 25163 Indonesia

*budi-r@fti.unand.ac.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah menerapkan metode *invers* kinematika terhadap gerakan kaki robot *biped* agar dapat berjalan. Robot *biped* ini menggunakan 6 buah motor servo pada kedua kakinya dan dikontrol oleh mikrokontroler arduino uno. Dengan metode *invers* kinematika, pergerakan kaki robot hanya ditentukan dari posisi koordinat *end effector* kaki pada saat berjalan sehingga tidak perlu lagi menentukan besaran sudut pada masing-masing motor servo. Ada 5 titik koordinat (x, y) kaki kanan dan kaki kiri yang digunakan robot *biped* untuk dapat berjalan yaitu ketika kaki ke depan di titik koordinat (0, 208) dan (205, 208), ketika kaki tegak di titik koordinat (0, 210), dan ketika kaki ke belakang di titik koordinat (0,208) dan (10, 209). Dari hasil pengujian, penerapan *invers* kinematika memiliki *error* terkecil sebesar 2.08% pada saat kaki kanan ke belakang dan yang terbesar 4.44% pada saat kaki kanan ke belakang dan kaki kiri ke belakang.

Kata Kunci: *Invers* Kinematika, Robot *Biped*, Titik Koordinat, Mikrokontroler

ABSTRACT

Aim of this study is to apply the method of inverse kinematics of the biped robot leg movements in order to run. The biped robot using 6 servo motors on both legs and is controlled by a microcontroller arduino uno. With the method of inverse kinematics, the movement of the robot legs only determined from the position coordinates of the end effector foot when walking so no need to determine the amount of the angle of each servo motor. There is a 5 point coordinates (x, y) the right leg and left leg were used robot biped to run is when the leg forward at the coordinates (0, 208) and (205, 208), when a foot tall in the coordinates (0, 210), and when the foot to the back at the point of coordinates (0.208) and (10, 209). From the test results, the implementation of inverse kinematics has the smallest error for 2:08% at the right foot to the rear and the greatest 4:44% when the right foot back and the left foot to the rear.

Keywords: Inverse kinematics, Robot Biped, point coordinates, Microcontroller.

I. PENDAHULUAN

Robot adalah mesin multifungsi yang dapat diprogram dan didesain agar bisa memindahkan material, bagian, kakas, ataupun alat dengan spesifik tertentu melalui variabel gerakan yang terprogram untuk melakukan pekerjaan dari tugas yang bervariasi ^[1]. Jumlah dan jenis robot yang dibuat sudah semakin banyak. Namun berdasarkan alat geraknya robot diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu robot beroda dan robot berkaki ^[2]. Robot beroda adalah robot yang bergerak dengan dua roda atau lebih. Sedangkan robot berkaki adalah robot yang bergerak dengan kaki-kaki, ada yang berkaki dua (*biped*), berkaki tiga (*tripod*),

berkaki empat (*quadrapod*), dan berkaki enam (*hexapod*).

Pada robot beroda, umumnya sistem pergerakan tidak mengalami masalah yang begitu rumit dalam pengaturan rodanya. Namun permasalahan pengaturan justru muncul pada robot berkaki. Robot berkaki terdiri dari motor-motor servo yang harus dikontrol sudutnya untuk menghasilkan pergerakan kaki pada posisi yang diinginkan saat berjalan. Sistem pergerakan kaki pada robot memang dapat ditentukan dengan cara memasukan nilai-nilai sudut pada setiap motor servo atau yang lebih dikenal dengan istilah *trial-error*. Dengan *trial-error*, masing-masing sudut motor servo

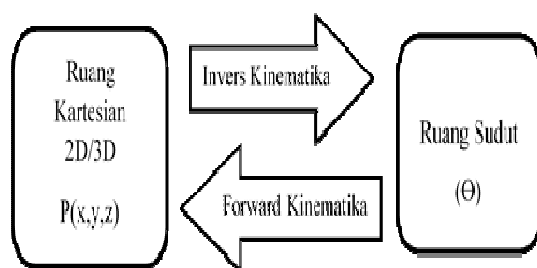
dan *delay* antar motor servo dapat ditentukan untuk membuat gerakan kaki. Metode ini tidak memerlukan komputasi yang rumit tetapi tidak efektif karena harus melakukan *trial-error* yang lebih banyak untuk membuat gerakan yang baru atau beragam sehingga memakan waktu yang lebih lama pada saat pengerjaannya. Untuk mengantisipasi permasalahan itu maka dapat digunakan metode *invers* kinematika.

Invers kinematika merupakan suatu metode analisa untuk melakukan transformasi dari koordinat kartesius ke ruang sendi. Dari persamaan *invers* kinematika, dapat diperoleh hubungan antar konsep geometri ruang sendi pada robot dengan konsep koordinat yang biasa digunakan untuk menentukan posisi suatu objek [3]. Dengan metode *invers* kinematika, pergerakan robot hanya ditentukan dari posisi koordinat *end effector* kaki pada saat berjalan sehingga tidak perlu lagi menentukan besaran sudut pada masing-masing motor servo. Jadi bisa dikatakan metode *invers* kinematika ini merupakan kebalikan dari metode *trial-error*.

II. LANDASAN TEORI

A. KINEMATIKA ROBOT

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



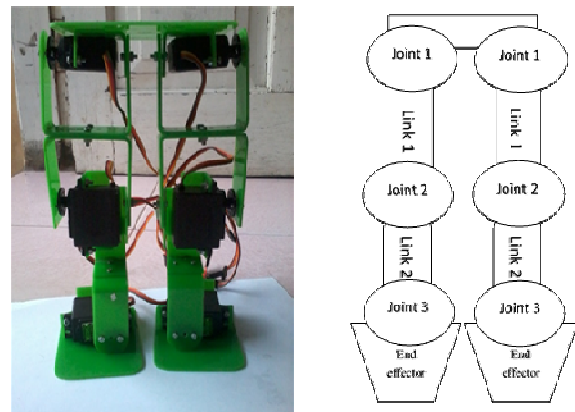
Gbr 1. Model Kinematika Robot

Dalam kinematika dikenal istilah *forward* kinematika dan *invers* kinematika. *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 yang dikehendaki.

B. ROBOT BIPED

Robot *biped* (berkaki dua) merupakan sebuah robot berkaki dua yang dapat bergerak dengan leluasa dan dapat berjalan layaknya manusia. Robot *biped* memiliki struktur kaki seperti manusia dan setidaknya-tidaknya memiliki sendi-sendi yang mewakili pergelangan kaki, lutut, dan pinggul.



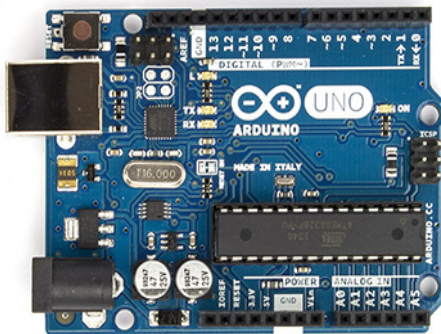
Gbr 2. Robot *Biped* (a) dan Model Transformasi *Link*, *Joint*, dan *End Effector* (b)

Adapun bagian – bagian yang terdapat pada robot *biped* yaitu

1. *Link*
Bagian robot yang bentuknya tetap dan dapat bergerak. *Link* biasanya dihubungkan dengan *joint*.
2. *Joint*
Penghubung *link* dengan *link* atau *base* yang dapat bergerak aktif (biasanya terdapat aktuator). Pada robot *biped*, *joint* ini adalah motor servonya.
3. *End Effector* (ujung)
End effector (ujung) berfungsi sebagai bagian terakhir yang menghubungkan antara manipulator dengan objek yang akan dijadikan kerja dari robot. *End effector* pada robot *biped* yaitu terletak dibagian paling bawah berupa telapak kakinya.
4. DoF (*Degree of Freedom*)
Jumlah derajat kebebasan atau jumlah gerakan independen yang dapat dilakukan oleh suatu robot.

C. ARDUINO UNO

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Arduino jenis ini memiliki 14 pin *input/output* digital (dengan 6 di antaranya bisa digunakan sebagai *output* PWM), 6 analog *input*, *ceramic resonator* 16 MHz, koneksi USB, sambungan untuk *power supply*, *header* ICSP, dan tombol reset. Untuk menghidupkannya, mikrokontroler ini bisa disambungkan ke komputer menggunakan koneksi USB, menggunakan adaptor AC-DC, atau baterai.



Gbr 3. Arduino Uno

D. MOTOR SERVO

Motor servo adalah sebuah motor dengan sistem umpan balik tertutup dimana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo [8]. Motor servo terdiri dari sebuah motor, serangkaian *gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.



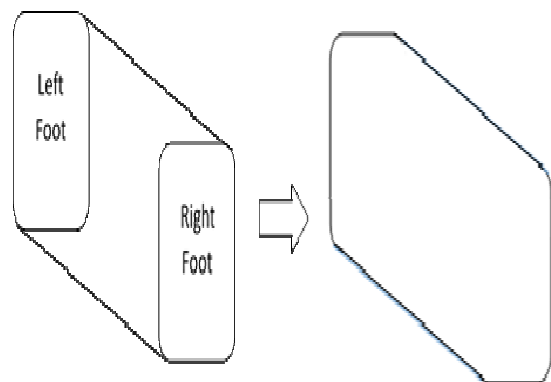
Gbr 4. Motor Servo

Motor servo yang digunakan yaitu motor servo Tower Pro MG995. Motor servo ini merupakan jenis motor servo standard 180° yang hanya mampu bergerak dua arah searah putaran jarum jam dan berlawanan jarum jam (CW dan CCW) dengan defleksi masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total defleksi sudut dari kanan-tengah-kiri adalah 180°. Operasional motor servo dikendalikan oleh sebuah sudut, dimana panjang sudut yang bisa digunakan dari 0° sampai 180°. Apabila motor servo diberikan sudut dengan besar 90° maka servo mencapai gerakan 90° (netral), bila diberikan sudut 0° maka posisi servo 0° (CCW) dan bila diberikan sudut 180° maka posisi servo 180° (CW).

E. TITIK KESEIMBANGAN

Faktor penting dalam merancang robot *biped* adalah faktor keseimbangan. Secara sederhana kestabilan dapat dicapai dengan menyeimbangkan (membuat jadi nol) semua gaya-gaya yang bekerja. Titik pada posisi jumlah semua gaya-gaya yang bekerja menjadi nol disebut titik keseimbangan atau *center of gravity*.

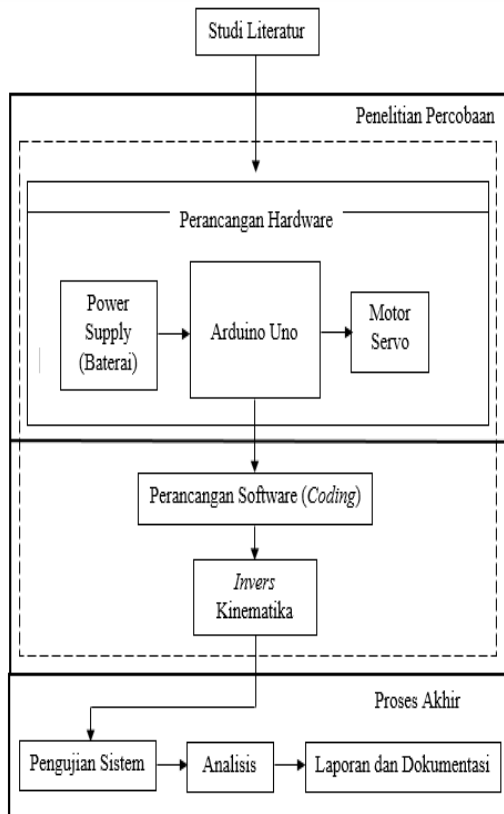
Kestabilan robot paling banyak dipengaruhi oleh bagian kaki. Salah satu teknik yang baik untuk membuat robot seimbang ketika berjalan adalah teknik *support polygon* [10]. *Support polygon* adalah daerah berbentuk segi banyak yang merupakan daerah di antara kedua kaki dengan bantuan kaki dengan bantuan garis lurus yang ditarik dari siku luar masing-masing kaki.



Gbr 5. Support Polygon

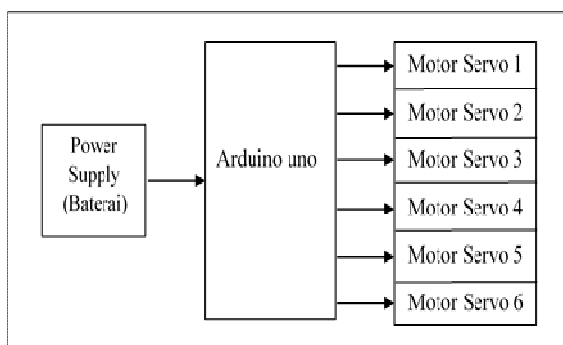
III. METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan penelitian dalam perancangan robot *biped* adalah sebagai berikut :



Gbr. 6 Desain Penelitian

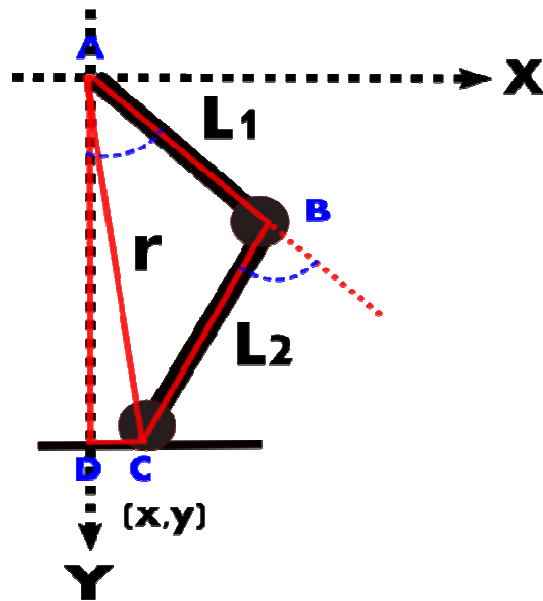
Sistem yang dirancang dan dibangun adalah sebuah robot *biped* (berkaki dua) yang dikontrol oleh mikrokontroler arduino uno sebagai processor yang bertugas memproses perintah untuk menggerakkan motor servo yang berfungsi sebagai sendi-sendi pada robot. Robot akan aktif setelah daya dari baterai terhubung ke sistem mikrokontroler arduino uno dan motor servo. Blok diagram sistem dapat dilihat pada gambar berikut



Gbr 7. Blok Diagram Sistem

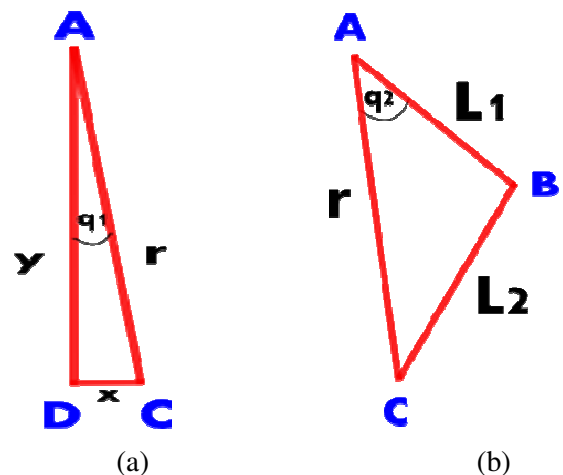
A. ANALISIS *INVERS* KINEMATIKA

Robot *biped* yang dirancang dalam penelitian ini mempunyai 3 derajat kebebasan yang bergerak pada 2 sumbu yaitu sumbu x dan sumbu y, sehingga langkah yang tepat untuk menggambarkan geometri pergerakan kaki robot adalah dengan menggunakan koordinat kartesius.



Gbr 8. Model Kaki pada Koordinat X dan Y

Input yang diberikan merupakan posisi *end effector* pada sumbu x dan y. Untuk mendapat nilai sudut θ_1 dan θ_2 , dapat dimanfaatkan bantuan dari dua buah segitiga, yaitu segitiga ACD dan segitiga ABC. Jadi sebelum mencari sudut θ_1 dan θ_2 terlebih dahulu harus mengetahui besar sudut-sudut q_1 , q_2 dan q_3 dengan menggunakan persamaan trigonometri.



Gbr 9. Segitiga ACD (a) Segitiga ABC (b)

Dari gambar 9 (a) segitiga ACD berbentuk segitiga siku-siku, sehingga untuk mencari panjang dari r dapat menggunakan rumus pythagoras. Untuk panjang x dan panjang y merupakan nilai dari posisi *end effector* yang telah diberikan pada saat penginputan. Jadi untuk panjang r dapat dicari dengan rumus pythagoras :

$$r = \sqrt{y^2 + x^2} \dots\dots\dots (3.1)$$

Setelah panjang r didapatkan maka selanjutnya kita mencari sudut q1 dengan menggunakan bantuan rumus aturan kosinus :

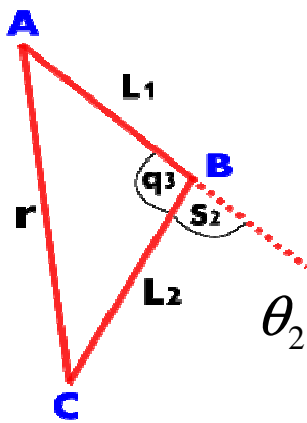
$$q_1 = \text{arc cos } \frac{y}{r} \dots\dots\dots (3.2)$$

Pada gambar 9 (b) segitiga ABC, dengan menggunakan rumus aturan kosinus, maka didapatkan :

$$q_2 = \text{arc cos } \frac{L_1^2 + r^2 - L_2^2}{2L_1r} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan menambahkan q1 dengan q2 maka didapatkan nilai dari :

$$\theta_1 = q_1 + q_2 \dots\dots\dots (3.4)$$



Gbr 10. Segitiga BCA

Pada gambar 10 segitiga BCA, dengan rumus aturan kosinus maka didapatkan nilai dari q3 :

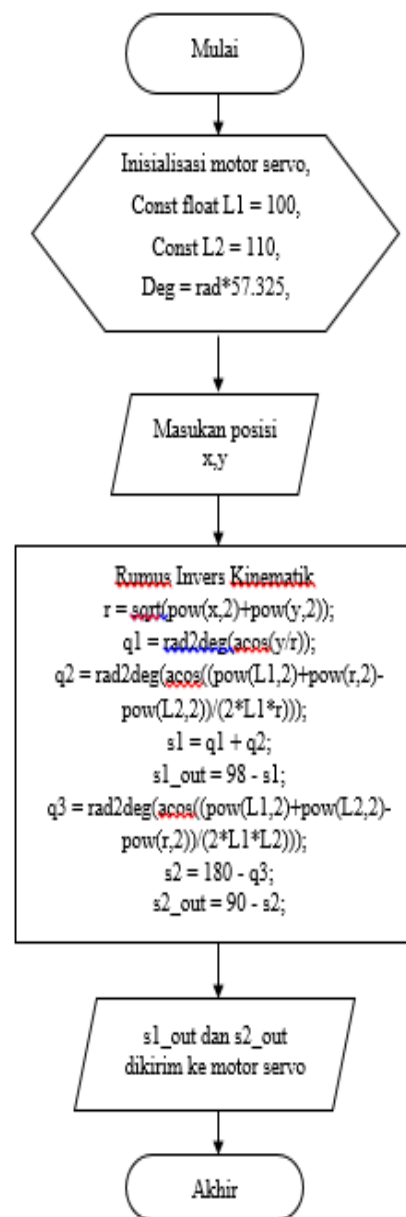
$$q_3 = \text{arc cos } \frac{L_1^2 + L_2^2 - r^2}{2L_1L_2} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dari gambar 3.9 diatas terlihat bahwa besarnya sudut q3 dan θ_2 membentuk garis lurus atau membentuk sudut 180° sehingga :

$$\theta_2 = 180 - q_3 \dots\dots\dots (3.6)$$

Setelah nilai sudut θ_1 dan θ_2 didapatkan, maka nilai dari kedua sudut tersebut yang nantinya dikirim ke motor servo untuk menggerakkan kedua kaki robot *biped*.

B. Flowchart Invers Kinematika

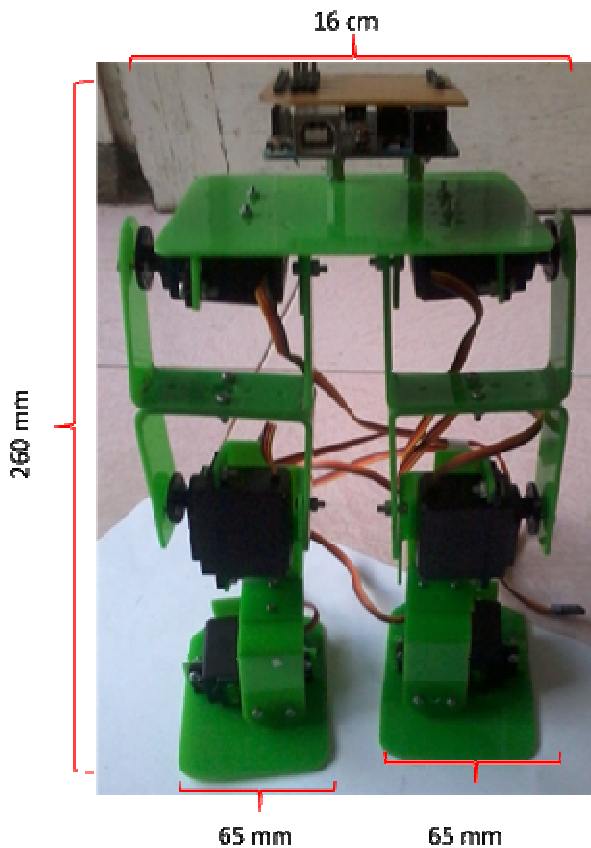


Gbr 11. Flowchart Invers Kinematika

IV. HASIL DAN ANALISA

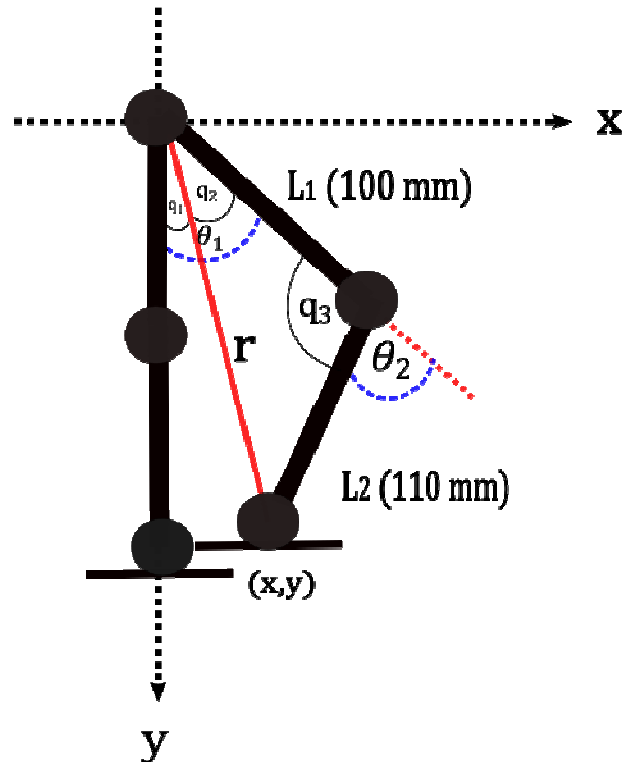
A. IMPLEMENTASI *INVERS* KINEMATIKA

Pengujian gerak kaki robot *biped* bertujuan untuk mengetahui respon gerak untuk masing-masing kaki yang digunakan pada robot *biped*, selain itu juga untuk mengetahui apakah koordinat yang dimasukkan sesuai dengan gerakan kaki pada robot *biped*. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan motor servo dengan mikrokontroler dan rangkaian catu daya. Catu daya yang digunakan adalah 5 V untuk motor servo dan 12 V untuk rangkaian mikrokontroler.



Gbr 12. Dimensi Robot *Biped*

Dalam perhitungannya, *invers* kinematika membutuhkan masukan sebanyak 2 variabel, yaitu posisi kaki di sumbu x dan y. Hasil dari perhitungan *invers* kinematika ini berupa sudut θ_1 dan θ_2 . Untuk mendapatkan nilai sudut θ_1 dan θ_2 terlebih dahulu harus diukur panjang *link* 1 dan *link* 2. Dari hasil pengukuran didapatkan panjang *link* 1 sebesar 100 mm dan panjang *link* 2 sebesar 110 mm.



Gbr 13. Posisi Kaki saat ke Depan pada Koordinat X dan Y

Agar robot dapat melangkah harus diketahui berapa besar sudut yang akan dikirim ke motor-motor servo dengan menggunakan metode *invers* kinematika. Penentuan nilai sudut θ_1 dan θ_2 ini dapat dicari melalui rumus-rumus trigonometri. Dari gambar diatas, dimisalkan posisi kaki saat ke depan terletak pada koordinat sumbu x dan y sebesar 25 mm dan 108 mm. Posisi x dan y ini yang digunakan sebagai masukan pada perhitungan *invers* kinematika.

Berikut baris program yang digunakan untuk mencari sudut-sudut yang terbentuk dalam perhitungan *invers* kinematika.

```

biped_terbaru26apri | Arduino 1.0.5-r2
File Edit Sketch Tools Help

biped_terbaru26apri
//Rumus Invers Kinematik
r = sqrt(pow(x,2)+pow(y,2));
q1 = rad2deg(acos(y/r));
q2 = rad2deg(acos((pow(L1,2)+pow(r,2)-pow(L2,2))/(2*L1*r)));
s1 = q1 + q2;
s1_out = 98 - s1;
q3 = rad2deg(acos((pow(L1,2)+pow(L2,2)-pow(r,2))/(2*L1*L2)));
s2 = 180 - q3;
s2_out = 90 - s2;

//Sudut dikirim ke motor servo
servoka_1.write(s1_out);
servoka_2.write(s2_out);
    
```

Gbr 14. Baris Program *Invers* Kinematika

Untuk dapat berjalan, robot *biped* diberi 3 buah titik masukan koordinat x dan y pada kedua kakinya yaitu posisi pada saat tegak, posisi pada saat kaki ke depan, dan posisi pada saat kaki ke belakang. Koordinat (x, y) kaki pada saat tegak sebesar 0 dan 210. Koordinat (x,y) kaki pada saat kaki ke depan sebesar 25 dan 208. Koordinat (x,y) kaki pada saat kaki ke belakang sebesar 10 dan 209. Sedangkan koordinat (0, 208) merupakan titik bantu atau titik tengah untuk membantu kaki pada saat ke depan dan ke belakang. Jadi ada 2 buah titik koordinat yang digunakan pada saat kaki ke depan dan ke belakang.

Tabel 4.1 Koordinat (x,y) pada Kaki Robot *Biped*

Kaki	Posisi Kaki	X (mm)	Y (mm)
Kanan	Ke Depan	0	208
		25	208
	Tegak	0	210
	Ke Belakang	0	208
10		209	
Kiri	Ke Depan	0	208
		25	208
	Tegak	0	210
	Ke Belakang	0	208
		10	209

Adapun perhitungan *invers* kinematika pada kedua kaki robot *biped* saat berjalan untuk 5 buah titik koordinat dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Penerapan *Invers* Kinematika pada Kaki Kanan

Posisi Kaki Kanan	q_1	q_2	q_3	θ_1	θ_2
Ke Depan	0°	8.31°	164.24°	8.31°	15.76°
	6.86°	4.16°	172.15°	11.02°	7.85°
Tegak	0°	0°	180°	0°	0°
Ke Belakang	0°	8.31°	164.24°	8.31°	15.76°
	2.74°	5.12°	170.32°	7.86°	9.68°

Tabel 4.3 Penerapan *Invers* Kinematika pada Kaki Kiri

Posisi Kaki Kiri	q_1	q_2	q_3	θ_1	θ_2
Ke Depan	0°	8.31°	164.24°	8.31°	15.76°
	6.86°	4.16°	172.15°	11.02°	7.85°
Tegak	0°	0°	180°	0°	0°
Ke Belakang	0°	8.31°	164.24°	8.31°	15.76°
	2.74°	5.12°	170.32°	7.86°	9.68°

B. PENGUJIAN *ERROR INVERS* KINEMATIKA

Tabel 4.4 Pengujian *Error Invers* Kinematika Kaki Kanan pada Rentang Jangkauan $0^\circ - 90^\circ$

Kaki Kanan	Teori		Praktik		Error (%)	
	θ_{1_out}	θ_{2_out}	θ_{1_out}	θ_{2_out}	θ_{1_out}	θ_{2_out}
Posisi Ke Depan	82°	75°	84°	78°	2.71	4.44
	79°	83°	81°	85°	2.81	2.68
Posisi Tegak	90°	90°	92°	92°	2.47	2.47
Posisi ke Belakang	98°	105°	96°	107°	2.27	2.08
	97°	99°	95°	101°	2.29	2.20

Tabel 4.5 Pengujian *Error Invers* Kinematika Kaki Kiri pada Rentang Jangkauan $0^\circ - 90^\circ$

Kaki Kiri	Teori		Praktik		Error (%)	
	θ_{1_out}	θ_{2_out}	θ_{1_out}	θ_{2_out}	θ_{1_out}	θ_{2_out}
Posisi Ke Depan	98°	105°	100°	107°	2.27	2.11
	101°	97°	103°	99°	2.20	2.29
Posisi Tegak	90°	90°	92°	93°	2.47	3.70
Posisi ke Belakang	82°	75°	84°	78°	2.71	4.44
	83°	81°	86°	84°	4.01	4.11

V. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Berdasarkan dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Ada 3 bentuk posisi kaki kanan dan kaki kiri agar robot *biped* dapat berjalan yaitu posisi pada saat tegak, posisi pada saat kaki ke depan dan pada saat kaki ke belakang.
2. Ada 5 buah titik koordinat (x,y) kaki kanan dan kaki kiri yang digunakan robot *biped*

untuk dapat berjalan yaitu ketika kaki ke depan di titik koordinat (0,208) dan (25,208), ketika kaki tegak di titik koordinat (0,210), dan ketika kaki ke belakang di titik koordinat (0,208) dan (10,209).

3. Nilai sudut-sudut yang dihasilkan pada perhitungan *invers* kinematika pada kaki kanan dan kaki kiri robot *biped* yaitu ketika kaki ke depan q_1 sebesar 6.86° , q_2 sebesar 4.16° , q_3 sebesar 172.15° , θ_1 sebesar 11.02° , θ_2 sebesar 7.85° , ketika kaki tegak q_1 sebesar 0° , q_2 sebesar 0° , q_3 sebesar 180° , θ_1 sebesar 0° , θ_2 sebesar 0° , dan ketika kaki ke belakang q_1 sebesar 2.74° , q_2 sebesar 5.12° , q_3 sebesar 170.32° , θ_1 sebesar 7.86° , θ_2 sebesar 9.68° .

B. SARAN

Dalam pengembangan sistem selanjutnya disarankan beberapa hal, sebagai berikut :

1. Tambahkan beberapa posisi koordinat pada setiap gerakan kaki agar pergerakan kaki robot tampak tidak kaku.
2. Robot *biped* dapat ditambahkan sensor *Gyroscope* atau *Accelerometer* agar robot dapat berjalan lebih seimbang.
3. *Bracket* robot dapat diganti menggunakan aluminium atau besi yang ringan supaya lebih kokoh dan dapat ditambahkan beberapa motor servo untuk mendapatkan gerakan kaki robot yang lebih halus.
4. Untuk ke depannya robot *biped* dikembangkan dapat bergerak belok kanan, belok kiri, dan mundur.

DAFTAR ISI

- Jatmiko, W, Mursanto, P, dan Tawakal, M. 2012. Robotika : Teori dan Aplikasi. Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia.
- Supriyanto, Raden, dkk. 2010. Buku Ajar Robotika. Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Gunadarma.
- Kusuma, Johan Wijaya, dkk. 2013. Penerapan Invers Kinematik Terhadap Pergerakan Kaki Pada Robot Hexapod. Jurusan Teknik Informatika. STMIK GI MDP.
- Kucuk, Serdar dan Bingul, Zafer. 2006. Robot Kinematics : Forward and Inverse Kinematics. http://www.intechopen.com/books/industrial_robotics_theory_modelling_and_control/robot_kinematics_forward_and_inve

- [rse_kinematics](#). Diakses tanggal 10 Agustus 2014, jam 23.00 WIB.
- Budiharto, W dan Nalwan, P.A. 2009. Membuat Sendiri Robot Humanoid. PT Elex Media Komputindo : Jakarta.
<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>. Diakses tanggal 10 Agustus 2014, jam 21.00 WIB.
- Kadir, Abdul. 2013. Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemogramannya Menggunakan Arduino. Penerbit Andi : Yogyakarta.
- Sigit, Riyanto. 2007. Robotika, Sensor, dan Aktuator. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- <http://www.servodatabase.com/servo/towerpro/mg995>. Diakses tanggal 12 September 2014, jam 22.00 WIB.
- Kim, J.Y, Park, I.W, dan Oh, J.H. Tanpa Tahun. Walking Control Algorithm of Biped Humanoid Robot on Uneven and Inclined Floor. Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology.
<http://www.lynxmotion.com/images/html/build104.htm>. Diakses tanggal 12 September 2014, jam 23.00 WIB.
<http://www.klinikrobot.com/products/servo-controller/servo-bracket>. Diakses pada tanggal 13 September 2014, jam 01.00 WIB.