

# PERANCANGAN ROBOT LENGAN PEMBUAT POLA BATIK BERBASIS GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) DENGAN METODE GERAK INVERSE KINEMATICS

Yuniar Dwi Aman Kurniawan<sup>\*)</sup>, Aris Triwiyatno, and Achmad Hidayatno

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)E-mail:</sup> [yuniardwiamak@gmail.com](mailto:yuniardwiamak@gmail.com)

## Abstrak

Saat ini, perkembangan teknologi robotika tidak hanya pada bidang industri, namun juga mulai merambah di dunia seni. Salah satu contohnya, diadakannya beberapa kontes robot dengan tujuan membuat karya seni. Dalam kompetisi tersebut, salah satu robot yang digunakan adalah robot lengan yang dikontrol agar dapat menghasilkan karya seni yang memukau. Tugas Akhir ini merancang sebuah robot lengan yang memiliki 2 derajat kebebasan (DOF) dan sebuah alat tulis yang dipasang pada ujung lengan (*end effector*) untuk menggambar pola batik. Robot lengan bergerak dengan menggunakan metode *inverse kinematics* dengan mengikuti koordinat-koordinat dari suatu pola batik. Data koordinat dari pola batik diproses dan dikirim oleh komputer dengan menggunakan *software* MATLAB berbasis *Graphical User Interface* (GUI). Robot lengan pembuat pola batik beserta GUI berhasil dirancang. Dalam penelitian ini, robot lengan dapat membuat pola dasar batik berbentuk persegi dengan nilai persentase kemiripan 56,01%, bentuk lingkaran 40%, bentuk segitiga 43,98%, dan bentuk belah ketupat 15,77%.

*Kata kunci:* : Robot lengan, Inverse kinematics, Graphical User Interface (GUI).

## Abstract

Nowadays, the development of robotics technology is not only for industrial purpose, but also begin to explore the arts. For example, there are several robotic competitions for art's making purpose. In that competition, One of the robot is controlled robot arm to produce stunning artwork. This final project designed a robot arm that has two degrees of freedom (DOF) and a stationery that is mounted in the end of the arm (*end effector*) to draw batik's pattern. Robot arm moves using *inverse kinematics* method to follow the coordinates of a batik's pattern. Coordinate data of batik's patterns are processed and sent by the computer using MATLAB software based on *Graphical User Interface* (GUI). Based on the test, Robot arm batik pattern makers and it's GUI are successfully designed. In this research, the robot arm can make basic square shaped batik's pattern with similarity percentage value of 56.01%, 40% for circle shaped pattern, 43.98% for triangle shaped pattern, and 15.77% for rhombus shaped pattern.

*Keyword:* Robot arm, Inverse kinematics, Graphical User Interface (GUI)

## 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi robotika saat ini tidak hanya pada bidang industri, namun sudah mulai merambah ke bidang seni. Perkembangan dunia robotika yang telah memasuki dunia seni contohnya seperti *Robotic Action Painter* yang dibuat oleh Leonel Moura [1] dan robot PAUL yang diperkenalkan oleh Patrick Tresset [2]. Bahkan banyak para ahli di bidang robotika berlomba-lomba dalam menerapkan ilmunya di dunia seni. Salah satunya ahli Andrew Conru mengadakan sebuah kompetisi robot internasional yaitu *2016 1st-Annual International RobotArt Competition* dan *2017 2nd-Annual International RobotArt Competition*.

Robot lengan adalah robot yang memiliki kemampuan bergerak seperti lengan manusia. Robot lengan sering digunakan dalam bidang industri seperti robot lengan pemindah barang dan pemilah barang [3], robot lengan *cartesian space trajectory planning* [4], dan ada juga yang digunakan pada bidang kedokteran seperti robot lengan *Dental Light* [5].

Di Indonesia, dunia robotika belum banyak merambah di dunia seni. Dunia seni di Indonesia beranekaragam. Salah satu contohnya adalah seni batik yang telah menjadi *icon* Indonesia di kancah internasional. Batik Indonesia adalah salah satu warisan budaya dunia (*World Heritage*) yang

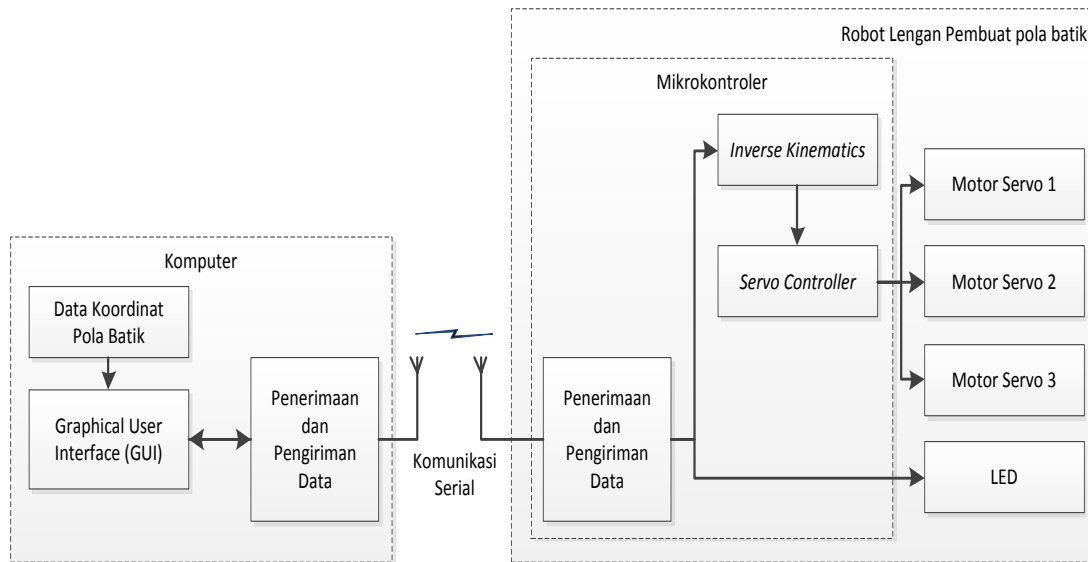
telah diakui dan disahkan oleh *United Nations Educational, Scientific, and Culture Organization* (UNESCO) pada tanggal 2 Oktober 2009 [6].

Beberapa proses sistem kerja robot dilakukan oleh komputer menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) yang sering digunakan untuk interaksi antara pengguna dan komputer. GUI memudahkan manusia dalam mengoperasikan komputer dan mendapatkan berbagai umpan balik yang diperlukan selama bekerja pada sebuah sistem komputer [7].

Tujuan tugas akhir ini yaitu merancang sebuah robot lengan dengan dua derajat kebebasan berbasis GUI yang dapat melukiskan pola dasar batik dengan metode gerak *inverse kinematics*.

## 2. Metode

Robot lengan pembatik dirancang menggunakan konfigurasi robot lengan SCARA (*Selective Compliance Articulated Robot Arm*) [8]. Robot lengan pembatik memiliki 2 DOF (*Degree of Freedom*) dan sebuah alat tulis dipasang pada ujung lengan (*end effector*) untuk menggambar pola batik. Robot lengan bergerak mengikuti koordinat dari suatu pola batik. Pengolahan data masukan dilakukan oleh komputer dengan menggunakan *software* MATLAB berbasis GUI. Pengolahan data masukan berupa pemilahan koordinat-koordinat yang akan dikirim ke robot lengan. Robot lengan dikontrol dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8. Robot lengan menerima data koordinat dari komputer dan bergerak menggunakan metode gerak *inverse kinematics*. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 1.

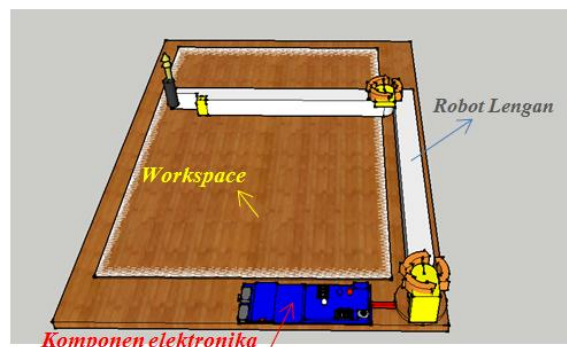


Gambar 1. Diagram blok sistem.

Gambar 1. merupakan diagram blok dari keseluruhan sistem pada robot lengan pembuat pola batik yang akan dirancang. Masukan sistem berupa data koordinat dari pola batik yang dikirim melalui komunikasi serial.

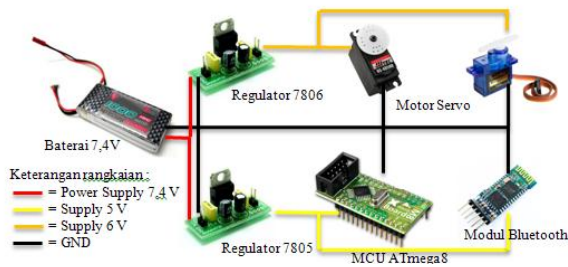
### 2.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan spesifikasi mekanik robot lengan ini dirancang dengan menggunakan 2 DOF, yang terdiri dari 2 *link* dan 2 *joint*. Setiap *joint* pada robot lengan menggunakan motor servo sebagai aktuatornya. Robot lengan memiliki spesifikasi dengan panjang *link* 1 (L1) 224 mm dan *link* 2 (L2) 215 mm. Setiap *joint* pada robot lengan ini dirancang dengan jangkauan sudut yang berbeda-beda. *Joint* 1 ( $\theta_1$ ) dirancang dengan jangkauan sudut sebesar  $90^\circ$  ( $30^\circ$  sampai  $120^\circ$ ), *joint* 2 ( $\theta_2$ ) sebesar  $120^\circ$  ( $50^\circ$  sampai  $170^\circ$ ), dan *end effector* ( $\theta_e$ ) sebesar  $30^\circ$  ( $60^\circ$  sampai  $90^\circ$ ). Gambar 2. menunjukkan tampak rancangan robot lengan pembuat pola batik.



Gambar 2. Perancangan robot lengan.

Catu daya utama robot lengan ini menggunakan baterai LiPo 2S 7,4 V 1000 mAh. Robot lengan yang dirancang menggunakan 2 catu daya yang berbeda. Pembagian catu daya sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perancangan catu daya.

Sistem mikrokontroler digunakan sebagai kendali robot lengan yang di dalamnya berisi program untuk menerima dan mengirim data dari komunikasi serial, mengatur indikator robot lengan, melakukan perhitungan metode gerak, dan melakukan kontrol aktuator. Secara umum alokasi penggunaan port pada rangkaian mikrokontroler ATmega8 dapat dilihat pada Tabel 1

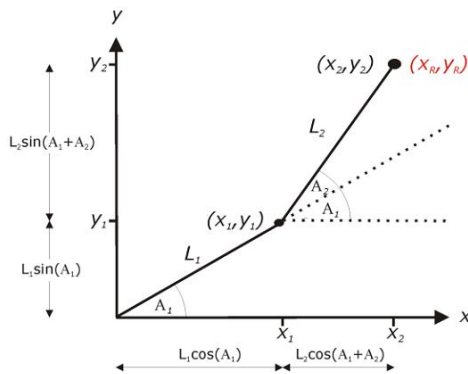
Tabel 1. Alokasi penggunaan port pada ATmega8

No	Komponen	Alokasi Port Mikrokontroler
1	Motor Servo Joint 1	PB1 (OC1A)
2	Motor Servo Joint 2	PB2 (OC1B)
3	Motor Servo End effector	PB3 (OC2)
4	Modul Bluetooth HC-05	Rx → PD1 (Tx) Tx → PD0 (Rx)
5	LED Indikator (Biru)	PC5
6	LED Indikator (Merah)	PD2

## 2.2 Perancangan Kinematika Gerak

### 2.2.1 Forward Kinematics

Forward kinematics adalah analisis kinematika untuk mendapatkan koordinat posisi (x,y,z) jika diketahui sudut dari tiap sendi [9]. Forward kinematics dapat dicari dengan menggunakan prinsip dasar trigonometri [10]. Grafik representasi dari robot lengan dengan 2 joint dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik representasi dari robot dengan 2-joint [10].

Jika panjang link ( $L_1$  dan  $L_2$ ) dan sudut ( $A_1$  dan  $A_2$ ) diketahui, maka nilai koordinat ( $x_R$ ,  $y_R$ ) dapat dicari dengan rumus :

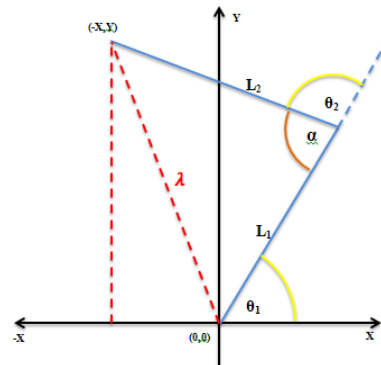
$$x_R = L_1 \cos(A_1) + L_2 \cos(A_1 + A_2) \quad (1)$$

$$y_R = L_1 \sin(A_1) + L_2 \sin(A_1 + A_2) \quad (2)$$

### 2.2.2 Inverse Kinematics

Inverse kinematics adalah analisis kinematika untuk mendapatkan besar sudut dari masing-masing sendi jika mempunyai data koordinat (x, y, z) [9]. Inverse kinematics mendefinisikan bagaimana cara mencapai posisi lengan yang diinginkan dengan melakukan perhitungan terhadap rotasi dan pergeseran titik dari sendi dan lengan. Metode ini memerlukan masukan posisi koordinat X dan koordinat Y secara langsung dan keluarannya berupa sudut-sudut joint.

Model geometri robot lengan dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Solusi inverse kinematics pada robot lengan pembuat batik menggunakan solusi geometri sebagai berikut:



Gambar 5. Menentukan besar sudut  $\theta_2$  dengan pendekatan model geometri.

Mencari nilai  $\lambda$ ,

$$\lambda = \sqrt{(-X)^2 + Y^2} \quad (3)$$

Menentukan besar sudut  $\alpha$ ,

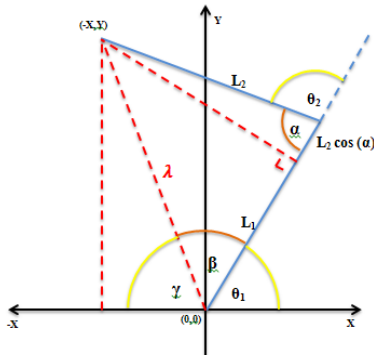
$$\theta_2 = 180 - \alpha \quad (4)$$

$$\alpha = 180 - \theta_2$$

Besar sudut  $\theta_2$  dapat ditentukan dengan menggunakan aturan cosinus (Persamaan 5) dan memasukan Persamaan 3 dan Persamaan 4.

$$\lambda^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2\cos(\alpha) \quad (5)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left( \frac{X^2 + Y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \right) \quad (6)$$



$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{L_1 + L_2 \cos(\theta_2)}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) \quad (8)$$

Berdasarkan Gambar 6, besar sudut  $\theta_1$  dapat dicari dengan,

$$\theta_1 = 180 - \gamma - \beta \quad (9)$$

$$\theta_1 + \beta = 180 - \gamma$$

$$\theta_1 + \beta = \cos^{-1} \left( \frac{X}{\lambda} \right)$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left( \frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) - \beta \quad (10)$$

Gambar 6. Menentukan besar sudut  $\theta_1$  dengan pendekatan model geometri.

Besar sudut  $\beta$  didapatkan dari segitiga kecil yang terbentuk oleh sudut  $\alpha$  dan garis  $L_2$  dengan diketahui panjang sisi *opposite* dan sisi *adjacent*.

$$\cos(\beta) = \frac{L_1 - L_2 \cos(\alpha)}{\lambda} \quad (7)$$

$$\cos(\beta) = \frac{L_1 + L_2 \cos(\theta_2)}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$$

Dengan,

$\theta_1$  = sudut *joint* 1

$\theta_2$  = sudut *joint* 2

$\lambda$  = panjang garis lurus titik (0,0) hingga titik (X,Y)

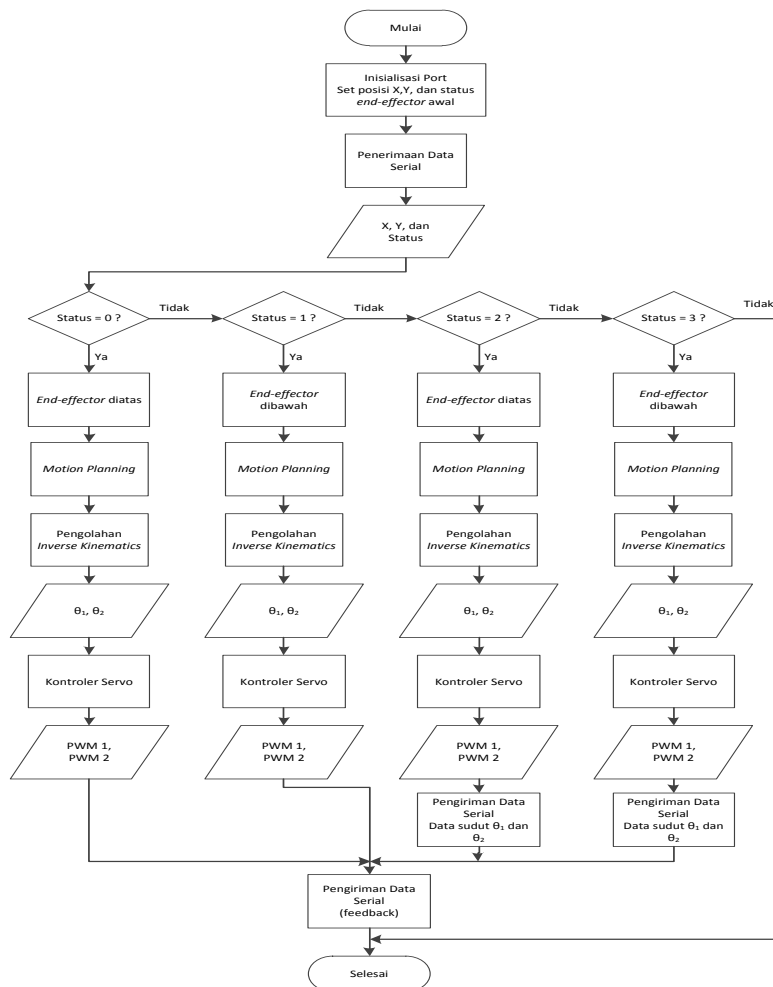
$\beta$  = sudut yang terbentuk antara garis  $\lambda$  dengan *link* 1

X = koordinat *end effector* sumbu x

Y = koordinat *end effector* sumbu y

$L_1$  = panjang *link* 1

$L_2$  = panjang *link* 2

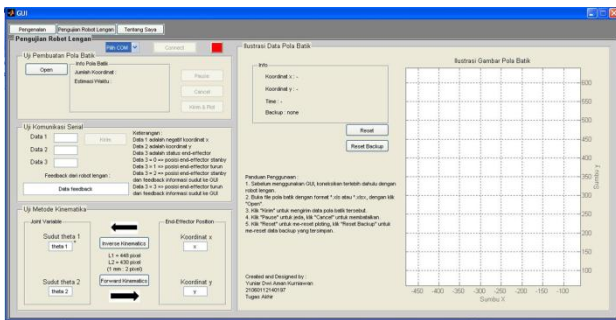


Gambar 7. Flowchart program robot lengan pada mikrokontroler.

### 2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan *software* mikrokontroler menggunakan bahasa pemrograman C dengan *compiler* Codevision AVR. Mikrokontroler ATmega8 dirancang agar dapat mengontrol motor servo, melakukan perhitungan metode gerak *inverse kinematics*, serta berkomunikasi dengan *interface* komputer. *Flowchart* perancangan *software* mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 7.

GUI pada perancangan robot lengan ini digunakan untuk mengolah data masukan sebelum dikirim ke robot lengan dan beberapa pengujian. GUI dibuat dengan menggunakan *software* MATLAB. Gambar 8 merupakan tampilan *interface* pembuatan pola batik.

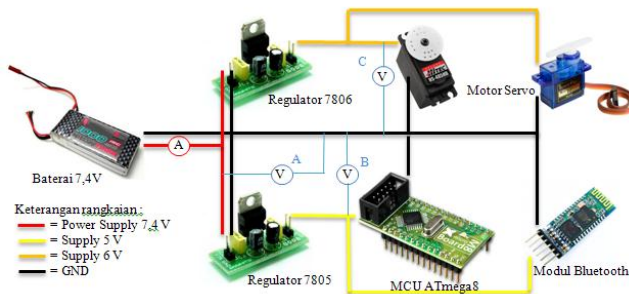


Gambar 8. Tampilan *interface* robot lengan pembuat pola batik.

## 3. Hasil dan Analisa

### 3.1 Pengukuran Catu Daya

Pengukuran catu daya dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus pada sumber tegangan adaptor. Pengukuran tegangan dilakukan dengan menggunakan multimeter digital sesuai dengan *wiring power supply* pada perancangan catu daya. Proses pengukuran tegangan pada robot lengan dilakukan seperti pada Gambar 9. Data hasil pengukuran tegangan uji *hardware* disusun pada Tabel 2.



Gambar 9. Pengukuran catu daya.

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan, keluaran tegangan rata-rata pada baterai 7,75 V, regulator 7805 4,884 V, dan regulator 7806 5,968 V. Pengukuran ke-2 dan seterusnya tegangan baterai menurun yang

diakibatkan pemakaian baterai, namun keluaran tegangan dari regulator 7805 maupun 7806 tetap stabil.

Tabel 2. Hasil pengukuran tegangan uji *hardware*.

Pengukuran	Output Baterai (A)	Output Regulator 7805 (B)	Output Regulator 7806 (C)
1	7,82 V	4,88 V	5,96 V
2	7,76 V	4,89 V	5,97 V
3	7,74 V	4,88 V	5,97 V
4	7,73 V	4,88 V	5,97 V
5	7,70 V	4,89 V	5,97 V
Rata-rata	7,75 V	4,884 V	5,968 V

Pengukuran arus pada keluaran baterai dilakukan dengan menggunakan multimeter digital pada *output*. Pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali percobaan dengan kondisi *end effector* robot lengan *stanby* dan kondisi bergerak. Hasil pengukuran arus pada *supply* disusun pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran arus *supply* utama.

Pengukuran	Arus (Ampere)	
	Keadaan <i>stanby</i>	Keadaan bergerak
1	0,12 A	0,68 A
2	0,10 A	0,59 A
3	0,12 A	0,72 A
4	0,11 A	0,45 A
5	0,09 A	0,49 A
Rata-rata	0,108 A	0,586 A

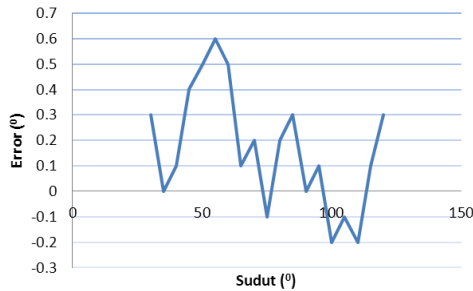
Berdasarkan hasil pengukuran arus, keluaran arus rata-rata saat posisi *end effector* diam adalah 0,108 A dan pada saat *end effector* bergerak 0,586 A. Waktu lama pemakaian suatu baterai dapat dicari dengan membagi kapasitas baterai (mAh) dengan arus beban (mA). Baterai yang digunakan memiliki kapasitas 1000mAh, maka robot lengan dalam keadaan *stanby* dapat bertahan selama ±9,25 jam, dan dalam keadaan bergerak dapat bertahan selama ±1,7 jam.

### 3.2 Pengujian Motor Servo

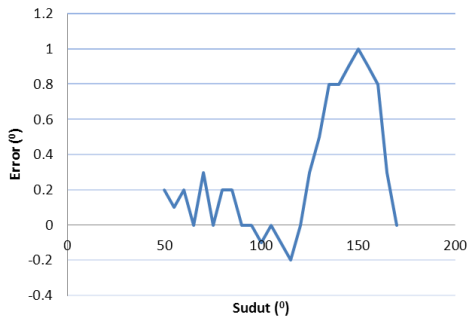
Pengujian motor servo dilakukan untuk mengetahui respon motor servo dari masing-masing *joint* terhadap masukan yang diberikan. Pengujian motor servo *joint* 1 dilakukan pada rentang sudut dari 30° sampai dengan 120°. Grafik perbandingan pemberian masukan sudut terhadap *error* yang terjadi pada motor servo *joint* 2 dapat dilihat pada Gambar 10. Berdasarkan Gambar 10, *error* sudut terbesar pada motor servo *joint* 1 adalah 0,6°.

Pengujian motor servo *joint* 2 dilakukan pada rentang sudut 50° sampai dengan 170°. Gambar 11 merupakan grafik perbandingan pemberian masukan sudut terhadap *error* yang terjadi pada motor servo *joint* 2. Berdasarkan

Gambar 11, *error* sudut terbesar pada motor servo *joint 2* adalah  $1^\circ$ .

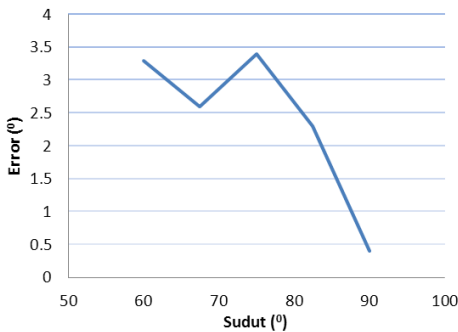


Gambar 10. Grafik perbandingan masukan sudut dan *error joint 1*.



Gambar 11. Grafik perbandingan masukan sudut dan *error joint 2*.

Pengujian motor servo *end effector* dilakukan dengan rentang sudut dari  $60^\circ$  sampai dengan  $90^\circ$ . Gambar 12 merupakan grafik perbandingan pemberian masukan sudut terhadap *error* yang terjadi pada motor servo *end effector*. Berdasarkan Gambar 12, *error* sudut terbesar pada motor servo *end effector* adalah  $3,4^\circ$ .



Gambar 12. Grafik perbandingan masukan sudut dan *error end effector*.

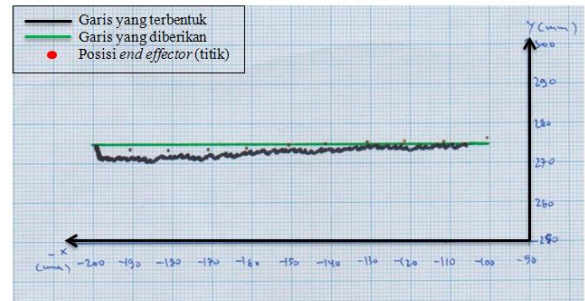
### 3.3 Pengujian Inverse Kinematics

Pengujian *inverse kinematics* dilakukan untuk menguji tingkat ketelitian dari robot lengan terhadap metode *inverse kinematics* yang digunakan. Dalam pengujian ini

terdapat dua jenis data pengujian. Pengujian pertama yaitu data pengujian dengan membuat suatu garis sesuai dengan variasinya, sedangkan pengujian kedua dengan menggerakkan *end effector* ke posisi tertentu sesuai dengan variasi tanpa membuat garis hanya berupa titik.

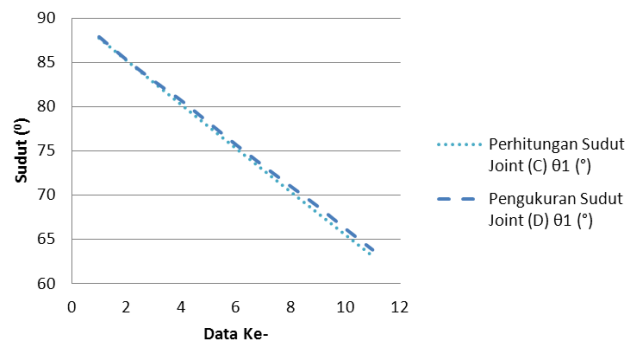
#### 3.3.1 Pengujian Inverse Kinematics Variasi Sumbu X

Pengujian pada variasi sumbu X dilakukan dengan cara mempertahankan nilai dari koordinat sumbu Y = 550 atau 275 mm dan memvariasikan sumbu X. Gambar 13 adalah hasil pengujian *inverse kinematics* variasi sumbu X. *Error* terbesar pada pengujian pertama adalah 5 mm untuk sumbu X dan 4,5 mm untuk sumbu Y. *Error* terbesar pada pengujian kedua adalah 1,5 mm untuk sumbu X dan 1,87 mm untuk sumbu Y.

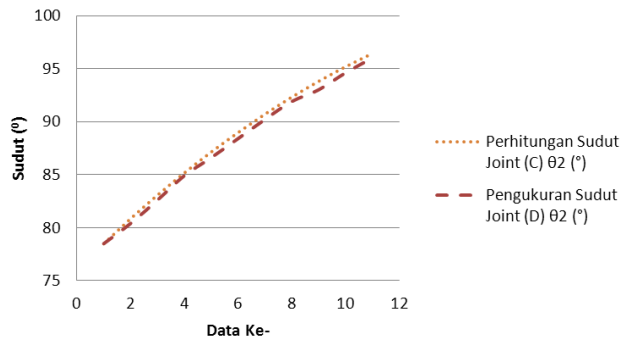


Gambar 13. Hasil pengujian *inverse kinematics* variasi sumbu X.

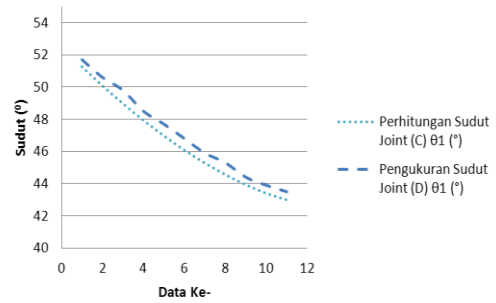
Grafik perbandingan perhitungan dan pengukuran sudut *joint* variasi sumbu X dapat dilihat pada Gambar 14. Berdasarkan Gambar 14, tiap *joint* memiliki *error* sudut terbesar  $0,77^\circ$  untuk *joint 1* dan  $-0,8^\circ$  untuk *joint 2*.



(a) Perhitungan dan pengukuran sudut  $\theta_1$ .



(b) Perhitungan dan pengukuran sudut  $\theta_2$ .

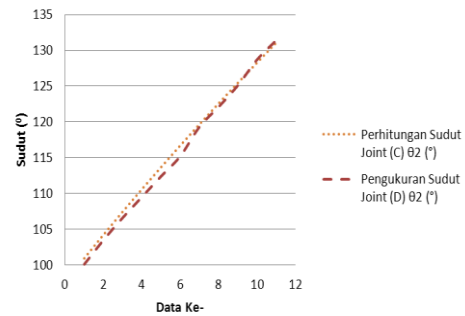


(a) Perhitungan dan pengukuran sudut  $\theta_1$ .

**Gambar 14.** Grafik perbandingan perhitungan dan pengukuran sudut *joint* variasi sumbu X.

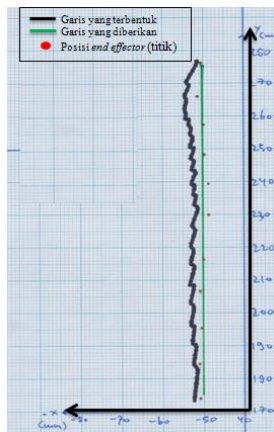
### 3.3.2 Pengujian Inverse Kinematics Variasi Sumbu Y

Pengujian pada variasi sumbu Y dilakukan dengan cara mempertahankan nilai dari koordinat sumbu X = -100 atau -50 mm dan memvariasikan sumbu Y. Gambar 15 adalah hasil pengujian *inverse kinematics* variasi sumbu Y. *Error* terbesar pada pengujian pertama adalah 1,5 mm untuk sumbu X dan 5 mm untuk sumbu Y sedangkan *error* terbesar pada pengujian kedua adalah -1,83 mm untuk sumbu X dan 4,67 mm untuk sumbu Y.



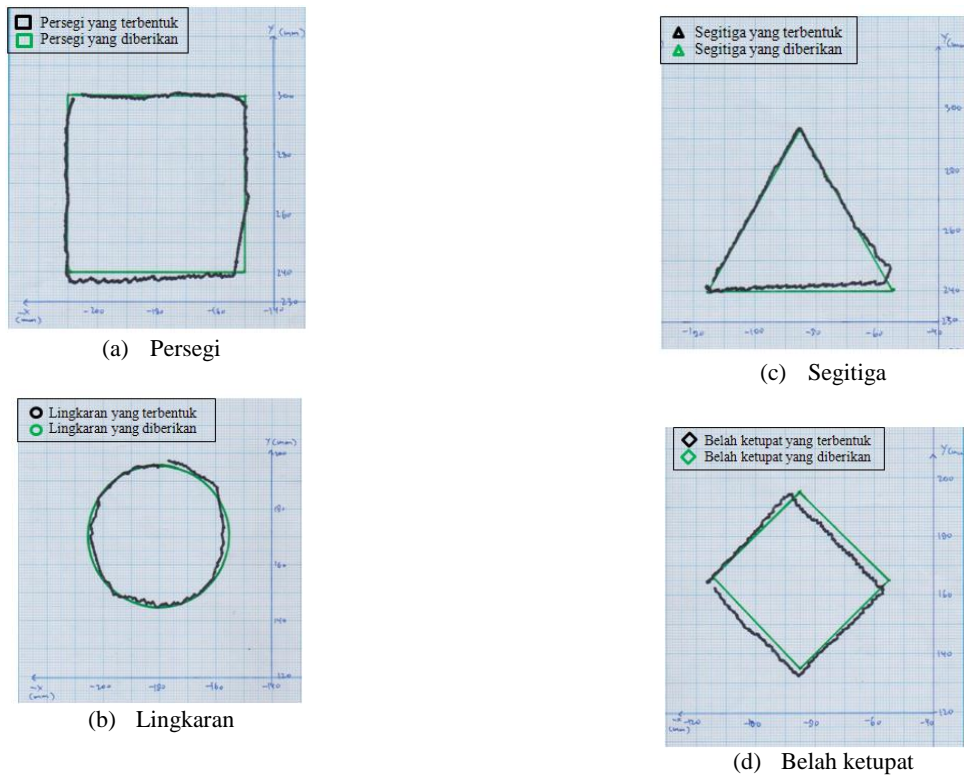
(b) Perhitungan dan pengukuran sudut  $\theta_2$ .

**Gambar 16.** Grafik perbandingan perhitungan dan pengukuran sudut *joint* variasi sumbu Y.



**Gambar 15.** Pengujian *inverse kinematics* variasi sumbu Y.

Grafik perbandingan perhitungan dan pengukuran sudut *joint* variasi sumbu Y dapat dilihat pada Gambar 16. Berdasarkan Gambar 16, tiap *joint* memiliki *error* sudut terbesar  $0,83^\circ$  untuk *joint* 1 dan  $-1,27^\circ$  untuk *joint* 2.



Gambar 17. Hasil pengujian pembuatan pola dasar batik.

### 3.4 Pengujian Pembuatan Pola Dasar Batik

Pengujian pembuatan pola dasar batik dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari robot lengan. Pengujian dilakukan dengan 4 variasi bentuk pola dasar, yaitu bentuk persegi, bentuk lingkaran, bentuk segitiga, dan bentuk belah ketupat. Pengujian ini menghitung nilai persentase kemiripan pada setiap pola yang dibuat dengan mencari nilai distorsi. Nilai distorsi adalah jumlah *pixel* yang tidak sesuai dengan pola yang diberikan.

$$\text{Jumlah pixel yang sesuai} = \text{Total pixel} - \text{Jumlah pixel yang terdistorsi} \quad (11)$$

$$\text{Persentase kemiripan} = \frac{\text{Jumlah pixel yang sesuai}}{\text{Total pixel}} \times 100\% \quad (12)$$

Berdasarkan Gambar 17, robot lengan dapat membuat pola dasar batik berbentuk persegi dengan nilai persentase kemiripan 56,01%, bentuk lingkaran 40%, bentuk segitiga 43,98%, dan bentuk belah ketupat 15,77%.

### 3.5 Pengujian Pembuatan Pola Batik

Pengujian pembuatan pola batik dilakukan dengan memberi masukan pola batik. Pola batik tersebut berasal dari kombinasi pola dasar batik. Hasil dari pengujian pembuatan pola batik dapat dilihat pada Gambar 18.

(a) Medium kertas. (b) Medium *acrylic*.  
Gambar 18. Hasil pengujian pembuatan pola dasar batik.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, Robot lengan berhasil membuat pola batik menyerupai pola yang diberikan. Hasil pembuatan pola pada medium *acrylic* lebih baik dari pada hasil pembuatan pola pada medium kertas.

## 4. Kesimpulan

Robot lengan pembuat pola batik berbasis *Graphical User Interface* telah berhasil dirancang dan dapat dijalankan dengan durasi maksimal selama  $\pm 1,7$  jam untuk mode bergerak dan  $\pm 9,25$  jam untuk mode *stanby* dengan catu daya baterai LiPo 2 cell 1000mAH. Metode gerak *inverse kinematics* yang diterapkan pada robot lengan mempunyai *error* posisi terbesar pada variasi sumbu X dan variasi sumbu Y sebesar 4,67 mm. Metode gerak *inverse kinematics* yang diterapkan pada robot lengan mempunyai *error* sudut terbesar pada variasi sumbu X dan variasi sumbu Y sebesar  $1,27^{\circ}$ . Robot lengan dapat membuat pola dasar batik berbentuk persegi dengan nilai persentase kemiripan 56,01%, lingkaran 40%, segitiga 43,98%, dan belah ketupat 15,77%. Robot lengan berhasil membuat pola batik yang berasal dari kombinasi pola dasar batik.

## Referensi

- [1] L. Moura, "A New Kind of Art : The Robotic Action Painter," *10th Gener. Art Conf.*, pp. 16–22, 2007.
- [2] P. A. Tresset and F. F. Leymarie, "Sketches by Paul the Robot," *COMPAESTH*, pp. 17–24, 2012.



- [3] B. N. W. Bimantaka and A. Harjoko, "Purwarupa Robot Lengan Pemilah Objek Berdasarkan Label Tulisan Secara Realtime," *IJEIS*, vol. 4, no. 2, pp. 135–146, 2014.
- [4] M. F. Faris, A. Triwiyatno, and I. Setiawan, "Perancangan Arm Manipulator 4 Dof Dengan Menggunakan Pengendalian Cartesian Space-Trajectory Planning," *TRANSIENT*, vol. 1, pp. 151–158, 2012.
- [5] S. H. Prabantara and A. Harjoko, "Analisis Kinematika Balik pada Kendali Robot Lengan Dental Light Berbasis Pengolahan Citra Digital Berdasarkan Isyarat Tangan 1," *IJEIS*, vol. 3, no. 2, pp. 207–218, 2013.
- [7] C. Depcik and D. N. Assanis, "Graphical User Interfaces in an Engineering Educational Environment," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, no. May, pp. 48 – 59, 2005.
- [6] UNESCO, "Evaluation of the nominations for inscription on the Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity," 2009.
- [8] J. W. M. and R. L. T. Larry T. Ross, Stephen W. Fardo, "Fundamentals of Robotics," in *Robotics: Theory and Industrial Applications, 2nd Edition*, 2011, pp. 23–58.
- [9] R. Syam, "*Kinematika dan Dinamika Robot Lengan*". Makasar: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. 2015.
- [10] P. Turner, "*Mathematics required for Legged Robotic Motion*". Newcastle, Australia:Tribotix. 2006.