

Optimasi *Gripper* Dua Lengan dengan Menggunakan Metode *Genetic Algorithm* pada Simulator *Arm Robot 5 DOF (Degree of Freedom)*

*Andy Rahmawan¹, Munadi², Toni Prahasto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Lab. Komputasi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: andyrahmawan89@gmail.com

Abstract

An arm robot simulator 5dof (degree of freedom) which is equipped with a two-finger gripper is designed to determine the movement of the robot manipulator. To make an arm robot simulator, we used acrylic as a base material, servomotor as a driver and an Arduino Uno SMD as microcontroller. Acrylic was chosen because it is light, strong and durable. Arduino Uno SMD was chosen because it can interact with LabVIEW that will be able to control the movement angle of servomotor manually. The purpose of this final project is to make an arm robot simulator 5 dof which equipped a gripper and optimization of two finger gripper configuration use one of optimization techniques, the genetic algorithm optimization. For making the link of simulator, we use the acrylic laser cutting machine to be more precision cutting. Servomotor's movement is controlled by using a program that was created using LabVIEW. Servomotor's angle position error was corrected by using program functions of numerical multiply and numerical divided on LabVIEW. Optimization of gripper configuration using MATLAB software as a tool for the calculation. A genetic algorithm optimization used the default parameters, then the calculation result are always different. All the results of these calculations are correct and it affects the shape of the gripper configuration at z_{max} . Then the torque of gripper before optimized and after optimized can be obtained.

Keywords: Arduino Uno SMD, arm robot, LabVIEW, genetic algorithm

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri saat ini, banyak produk yang dihasilkan secara massal yang dituntut untuk memiliki ketelitian yang tinggi. Berdasarkan pertimbangan kualitas produk yang dihasilkan, maka diperlukanlah suatu alat yang dapat mendukung kinerja di bidang industri. Alat tersebut salah satu contohnya adalah robot. Salah satu jenis robot yang digunakan di dunia industri adalah *arm robot*. *Arm robot* sangat populer dalam dunia robotika untuk masa depan.

Bagi sebagian orang, untuk membuat *arm robot* di dunia industri tidaklah murah dikarenakan bahan dari *arm robot* tersebut harus memiliki daya tahan tinggi terhadap suhu dan tekanan serta memiliki gerakan yang fleksibel. Selain itu juga harus mempunyai tingkat ketelitian yang tinggi dalam memproduksi suatu produk.

Mengingat minat mahasiswa yang tinggi untuk mempelajari *arm robot* sedangkan biaya pembuatannya yang mahal, maka diperlukan simulator *arm robot* yang biayanya cenderung relatif murah. Dari simulator *arm robot* tersebut akan diketahui arah dan pergerakan dari *arm robot*. Simulator *arm robot* dapat dikatakan sebagai prototipe robot manipulator. Prototipe robot manipulator ini adalah *arm robot* yang memiliki 5 dof dilengkapi *gripper* sebagai *end-efector*. Pada *arm robot*, *gripper* memainkan peran penting dalam hubungan dengan benda kerja. Dari berbagai jenis *gripper* yang ada, model *gripper* dengan dua

lengan banyak digunakan di dalam dunia industri dikarenakan konfigurasi bentuk yang mudah dan efisien

2. DASAR TEORI

2.1 Definisi Robot

Robot berasal dari kata “robota” yang dalam bahasa Ceko berarti budak, pekerja, atau kuli. Pertama kali kata “robota” diperkenalkan oleh Karel Caper dalam sebuah pentas sandiwara pada tahun 1921 yang berjudul RUR (Rossum's Universal Robots) pentas ini mengisahkan mesin yang menyerupai manusia yang dapat bekerja tanpa lelah yang kemudian memberontak dan menguasai manusia [1].

Istilah robot kemudian mulai terkenal dan digunakan untuk menggantikan istilah yang dikenal saat ini yaitu *automation*. Selanjutnya banyak definisi menjelaskan pengertian robot. Dari berbagai definisi yang ada, definisi paling dapat diterima adalah dari “Robot Institute of America”, yang mendefinisikan robot sebagai manipulator yang berfungsi jamak yang dapat diprogram ulang dan dirancang untuk memindahkan benda kerja, komponen-komponen, peralatan atau perangkat khusus dengan berbagai macam tugas [2].

2.2 Klasifikasi Umum Robot

2.2.1 Klasifikasi Robot Berdasarkan Penggunaan Aktuator

a. Robot Manipulator

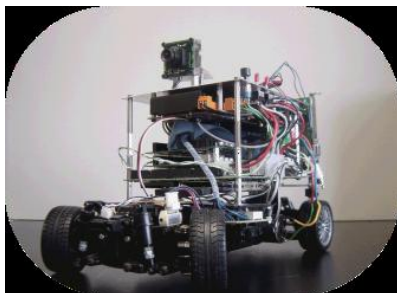
Robot ini hanya memiliki satu tangan seperti tangan manusia yang fungsinya untuk memegang atau memindahkan barang. Robot manipulator merupakan sebuah rangkaian benda kaku (*rigid bodies*) terbuka yang terdiri atas sendi dan terhubung dengan *link* dimana setiap posisi sendi ditentukan dengan variabel tunggal sehingga jumlah sendi sama dengan nilai derajat kebebasan. Robot manipulator yang sering dipakai sebagai robot industri pada dasarnya terdiri atas struktur mekanik, penggerak (aktuator), sensor dan sistem kontrol. Dasar (*base*) manipulator sering disebut kerangka dasar (*base frame*) dan ujung dari manipulator biasanya dilengkapi dengan *end-effector* yang salah satu jenisnya adalah *gripper*. Untuk lengkapnya, gambar robot manipulator ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Robot manipulator [3].

b. Mobile Robot

Mobile robot adalah konstruksi robot yang ciri khasnya adalah mempunyai aktuator untuk menggerakkan keseluruhan badan robot tersebut, sehingga robot tersebut dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik yang lain. Secara umum *mobile robot* dibagi menjadi dua yaitu robot beroda dan robot berkaki. Gambar 2 menunjukkan robot beroda dan Gambar 3 menunjukkan robot berkaki.



Gambar 2. Robot beroda [4].



Gambar 3. Robot berkaki [5].

2.2.2 Klasifikasi Robot Berdasarkan Kebutuhan akan Operator Robot

a. Autonomous Robot

Robot *autonomous* adalah robot yang dapat melakukan tugas-tugas yang diinginkan dalam lingkungan yang tidak terstruktur tanpa bimbingan manusia secara terus menerus. Gambar 4 menunjukkan *autonomous robot*.



Gambar 4. Autonomous Robot [6].

b. Teleoperated Robot

Robot ini dalam pengoperasian mesinnya dikendalikan dari kejauhan. Hal ini mirip dalam arti untuk frase "*remote control*", dikendalikan oleh operator (manusia) menggunakan *remote control*. Gambar 5 menunjukkan *teleoperated robot*.



Gambar 5. Teleoperated robot [7].

c. Semi Autonomous Robot

Robot semi *autonomous* adalah robot yang pengendaliannya secara otomatis untuk pengerjaan tertentu dan pengendalian jarak jauh dengan menggunakan *remote control*. Gambar 6 menunjukkan semi *autonomous robot*.



Gambar 6. Semi autonomous robot [8].

2.2.3 Klasifikasi Robot Berdasarkan Kegunaan

a. Industrial Robot

Industrial robot adalah robot yang digunakan di dalam industri. Biasanya robot ini berupa robot manipulator yang bisa dikendalikan secara otomatis maupun *manual*. Gambar 7 menunjukkan robot manipulator di dunia industri.



Gambar 7. Robot manipulator di dunia industri [9].

b. Service Robot

Service robot dipergunakan untuk melayani kebutuhan manusia sehari – hari. Robot ini digunakan untuk membantu pekerjaan yang kotor, berbahaya, berulang-ulang dan termasuk pekerjaan rumah tangga. Gambar 8 menunjukkan salah satu jenis *service robot*.



Gambar 8. Service robot [10].

2.3 Genetic Algorithm (Algoritma Genetika)

Algoritma genetika merupakan algoritma pencarian yang berdasarkan pada seleksi alam dan genetika alam. Algoritma ini berguna untuk masalah yang memerlukan pencarian yang efektif dan efisien, dan dapat digunakan secara meluas untuk aplikasi bisnis, pengetahuan, dan dalam ruang lingkup teknik. Algoritma genetika ini dapat digunakan untuk mendapatkan solusi yang tepat untuk masalah satu atau banyak variabel.

Operasi genetika meniru proses turun menurun dari gen untuk membentuk *offspring* pada setiap generasi. Operasi evolusi meniru proses dari *Darwinian evolution* untuk membentuk populasi dari generasi ke generasi.

Persoalan yang akan dipecahkan ditulis sebagai fungsi objek (*fitness function*). Persamaan (1) dibawah ini adalah salah satu contoh fungsi objek yang akan dioptimumkan.

$$f(x, y) = 21,5 + x \sin(4\pi x) + y \sin(20\pi y) \dots (1)$$

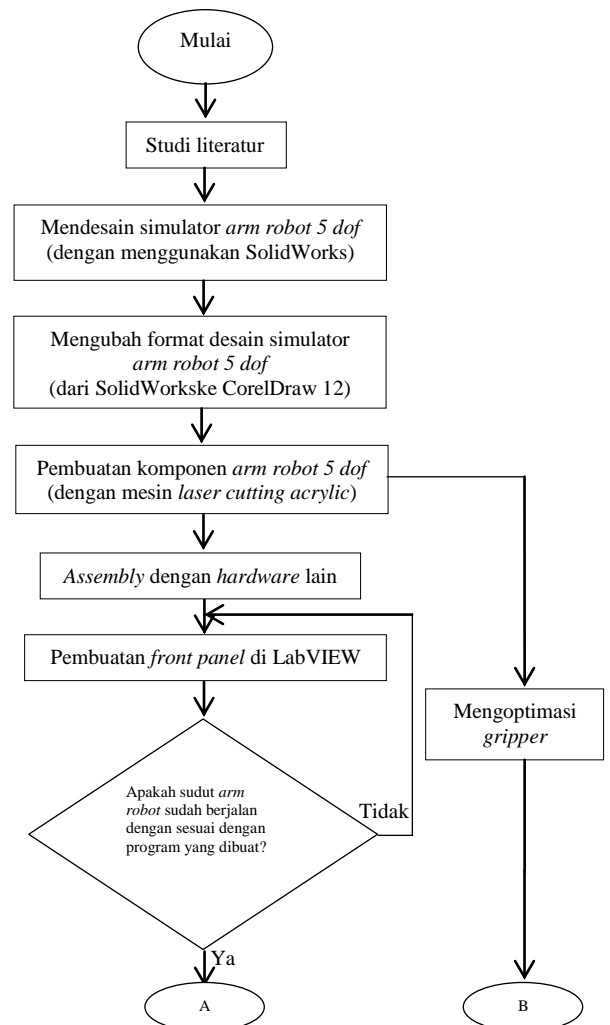
dimana batasannya :

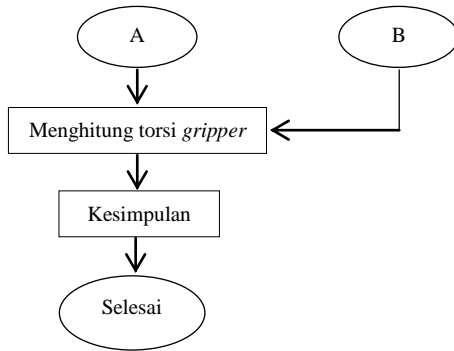
$$-3 \leq x \leq 12,1$$

$$4,1 \leq y \leq 5,8$$

Variabel x dan y adalah *chromosome*. Pada persamaan (1) diatas *chromosome* terbentuk dari dua buah gen yaitu x dan y sehingga bentuk dari *chromosome* adalah (x,y) . Sedangkan untuk inialisasi populasi pertama kali apabila diambil 10 *chromosome* dalam satu populasi, maka nilai dari x akan diambil secara acak dari antara -3 dan 12,1 sebanyak 10 kali demikian juga untuk nilai y akan diambil secara acak dari antara 4,1 dan 5,8 sebanyak 10 kali. Nilai dari x pertama kali akan membentuk *chromosome* pertama, demikian untuk nilai-nilai yang lain sampai nilai x kesepuluh dan nilai yang kesepuluh akan membentuk *chromosome* kesepuluh dengan susunan *chromosome* seperti di atas yaitu (x,y) [11].

3. METODOLOGI





Gambar 9. Diagram alir desain pembuatan simulator *arm robot 5 dof* dan optimasi *gripper*

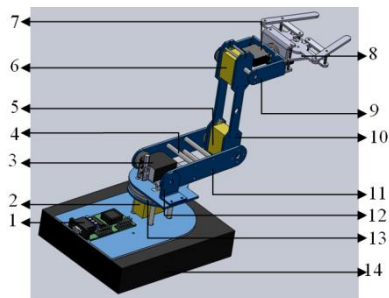
Dari gambar 9 pada saat tahapan mengubah format SolidWorks ke format Coreldraw 12 adalah agar desain bisa terbaca pada mesin laser akrilik. pada saat tahapan pembuatan komponen *arm robot* juga dilakukan optimasi konfigurasi *gripper* yang konfigurasinya berbeda dengan konfigurasi *gripper* yang telah dibuat di SolidWorks.

4. RANCANG BANGUN DAN OPTIMASI GRIPPER YANG MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM

4.1 Rancang Bangun Arm Robot 5 dof

a. Desain Hardware

Desain menggunakan alat bantu *software* Solidworks. Kemudian hasil desain dirubah formatnya ke CorelDraw dengan tujuan agar hasil desain yang dibuat bisa dibaca pada mesin potong akrilik. Gambar 9 menunjukkan hasil desain di SolidWorks.



Gambar 10. Desain *arm robot 5 dof* di SolidWorks

Keterangan Gambar 10 :

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1 : Mikrokontroler | 8 : Gripper |
| 2 : Joint 1 | 9 : Link 3 |
| 3 : Joint 2 | 10 : Link 2 |
| 4 : Baut penghubung | 11 : Link 1 |
| 5 : Joint 3 | 12 : Penyangga link 1 |
| 6 : Joint 4 | 13 : Bearing |
| 7 : Joint 5 | 14 : Base utama |

Untuk spesifikasi *servomotor* tiap *joint* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *servomotor* tiap *joint*

No	Joint	Servomotor	Spesifikasi <i>servomotor</i>
1	1, 3 dan 4	Hobbyking HK-15288A	Tegangan : 4,8v-6v Torsi : 8kg.cm@4,8v 9kg.cm @6v Berat : 51 gram Kecepatan : 0,21 s / 60deg @4,8v 0,20 s / 60 deg @6v
2	2	Turnigy Metal Gear	Tegangan : 4,8v-6v Torsi : 15,5kg.cm @4,8v 17kg.cm @6v Berat : 60 gram Kecepatan : 0,16 s/ 60deg @ 4,8v 0,14s/ 60 deg @ 6v
3	5 dan gripper	Hitec HS-81	Tegangan : 4,8v-6v Torsi : 2.6kg.cm @4,8v 3kg.cm @6v Berat : 51 gram Kecepatan : 0,11 s/ 60deg @ 4,8v 0,09 s / 60 deg @ 6v

Power supply yang digunakan yaitu baterai DC merek Turnigy 11,1 volt dengan kapasitas 1.300 mAh. Gambar 11 menunjukkan baterai *turnigy*.

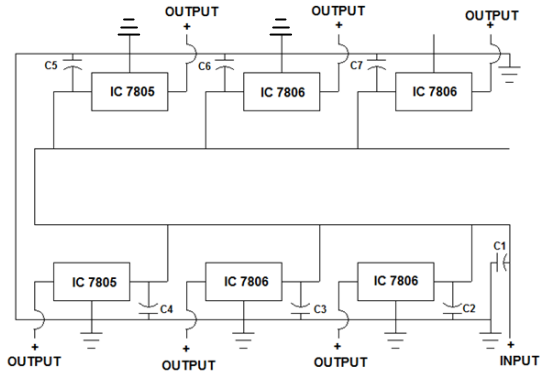


Gambar 11. Baterai Turnigy

Arm robot ini memerlukan regulator. Regulator adalah rangkaian regulasi atau pengatur tegangan keluaran dari sebuah catu daya agar efek dari naik atau turunnya tegangan tidak mempengaruhi tegangan catu daya sehingga menjadi stabil. Diperlukan penurunan tegangan sebesar 6 volt untuk *servomotor* HK-15288A

dan *servomotor* merek Turnigy, 5 volt untuk *servomotor* HS-81.

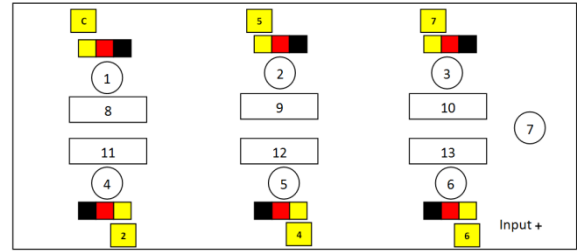
Untuk menurunkan tegangan ke 6 volt diperlukan perangkat elektronik IC-7806 sedangkan untuk menurunkan tegangan ke 5 volt diperlukan IC-7806. Gambar 12 menunjukkan rangkaian regulator.



Gambar 12. Rangkaian regulator



Keterangan pada Gambar 12 :

- C1 : Kapasitor 1000 μ F, 16 volt
 - C2-C7 : Kapasitor 100 μ F, 16 volt
- Regulator *mapping* dapat dilihat pada Gambar 13.



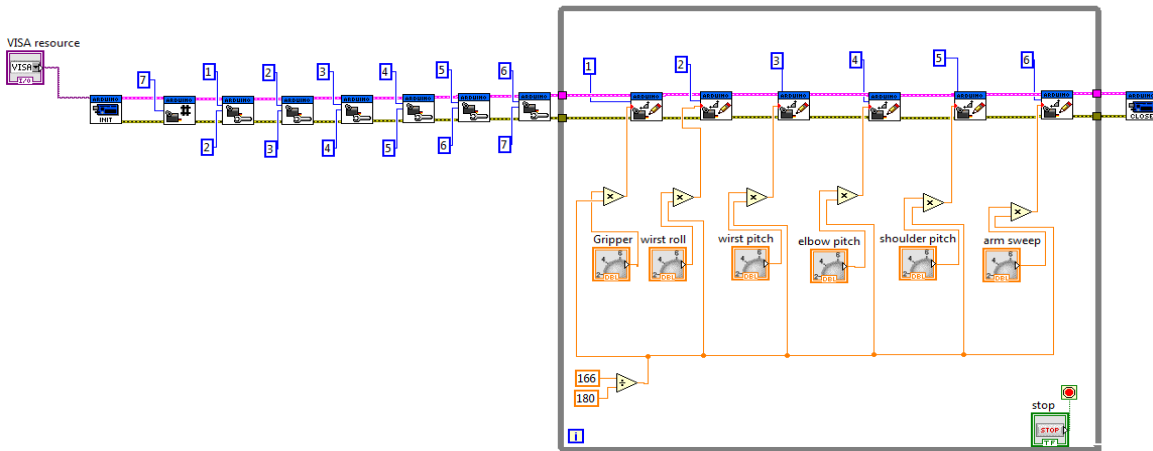
Gambar 13. Regulator *mapping*

Keterangan pada Gambar 13 :

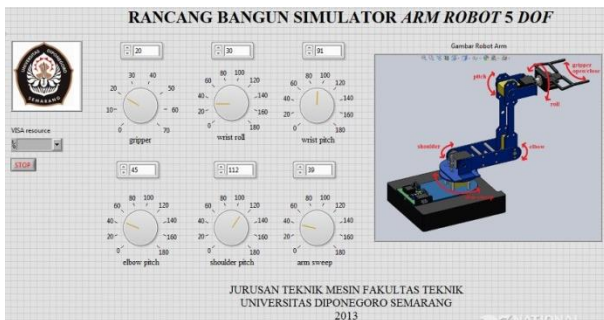
- 1-7 : Kapasitor
- 8 dan 11 : IC 7805
- 9,10, 12, 13 : IC 7806
-  : Pin pada *servomotor*, terdiri dari 3 yaitu *ground* (warna hitam), *positive* (warna merah) dan *signal* (warna kuning).
-  : Pin *signal servomotor* yang terhubung pada pin Arduino. Angka yang tertera di dalamnya merupakan pin Arduino.

b. Desain Software

Menggunakan LabVIEW yang dapat terhubung dengan Arduino yang nantinya bisa menggerakkan *servomotor* secara *manual* di *front panel* LabVIEW. Untuk menghubungkan Arduino dengan LabVIEW dibutuhkan Firmata Arduino. Gambar 14 menunjukkan blok diagram.



Gambar 14. Blok diagram LabVIEW



Gambar 15. Front panel LabVIEW

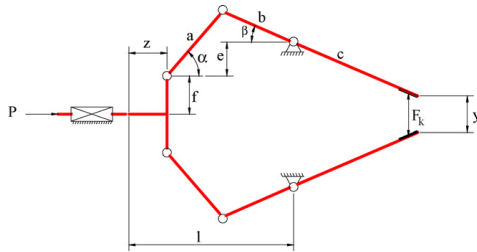
Hasil pembuatan simulator *arm robot 5 dof* dapat dilihat pada gambar 16.



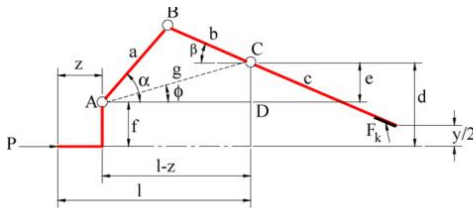
Gambar 16. Simulator *arm robot 5 dof*

4.2 Optimasi Gripper dengan Metode Genetic Algorithm

Mengoptimasi geometri konfigurasi gripper. Vektor variabel yang digunakan yaitu [a, b, c, e, f, l]. Konfigurasi ini bergerak secara kinematika yang artinya tidak dipengaruhi oleh massa. Gambar 17 menunjukkan konfigurasi gripper, Gambar 18 menunjukkan geometri gripper.



Gambar 17. Konfigurasi gripper[12].



Gambar 18. Geometri gripper[12].

Dari segitiga ADC, berdasarkan *pythagoras* :

$$g = \sqrt{(l-z)^2 + e^2} \dots \dots \dots (2)$$

Dari segitiga ACB, berdasarkan aturan cosinus maka bisa dituliskan persamaan sebagai berikut :

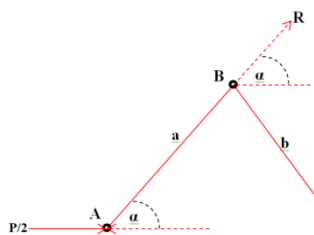
$$\alpha = \arccos\left(\frac{a^2 + g^2 - b^2}{2ag}\right) + \phi \dots \dots \dots (3)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{b^2 + g^2 - a^2}{2bg}\right) - \phi \dots \dots \dots (4)$$

$$\tan \phi = \frac{e}{l-z} \dots \dots \dots (5)$$

Pada Gambar 17 harga y bisa dituliskan :

$$\text{Displacement } y(x, z) = 2((e + f) - c \sin \beta) \dots \dots \dots (6)$$



Gambar 19. Diagram benda bebas link a dan b

Dari gambar 18 dan 19 memiliki hubungan yang dapat dituliskan persamaan :

$$\frac{P}{2} - R \cos \alpha = 0 \dots \dots \dots (7)$$

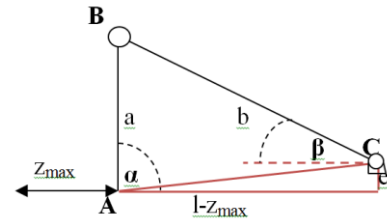
$$F_k \cdot C \cos \beta = R \sin(\alpha + \beta) b \dots \dots \dots (8)$$

$$\frac{F_k}{P} = \frac{b \sin(\alpha + \beta)}{2c \cos \beta \cos \alpha} \dots \dots \dots (9)$$

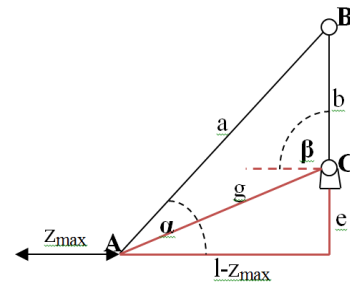
Dengan persamaan (9) sebagai *fitness function* untuk algoritma genetika.

Harga batas atas maupun batas bawah variabelnya $10 \leq a \leq 150$, $10 \leq b \leq 150$, $100 \leq c \leq 200$, $0 \leq e \leq 50$, $10 \leq f \leq 150$, $100 \leq l \leq 300$

Dengan menggunakan parameter secara *default* di MATLAB, maka akan dihasilkan harga variabel yang berbeda-beda. Semua harga variabel tersebut adalah benar. Setiap hasil difokuskan pada panjang link a dan link b yang mempengaruhi harga Z_{max} yang bisa ditunjukkan pada Gambar 20 dan 21.



Gambar 20. Harga link a lebih kecil dari link b



Gambar 21. Harga link a lebih besar dari link b

Salah satu hasil perhitungan algoritma genetika pada MATLAB untuk harga link a lebih kecil dari link b maupun sebaliknya bisa dilihat pada Tabel 2. Dengan hasil *fitness function* masing-masing sebesar 0,0010092 dan 0,0005113.

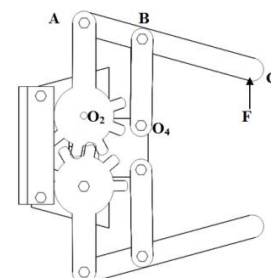
Tabel 2. Salah satu hasil pada MATLAB

a	b	c	e	l
89,75	122,56	174,77	0,5	212,31
130,45	90,18	193,04	2,22	220,62

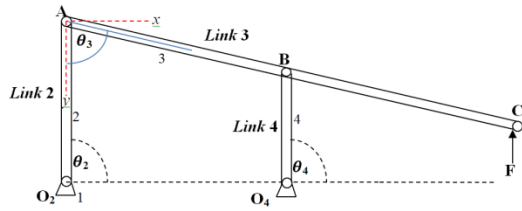
4.3 Perhitungan Torsi

a. Torsi pada Simulator Gripper Arm Robot 5 dof

Mencari torsi untuk setiap gaya jepit yang dihasilkan adalah sebesar 1 Newton. Gambar 22 menunjukkan konfigurasi gripper dan Gambar 23 adalah mekanisme *four bar linkage*.

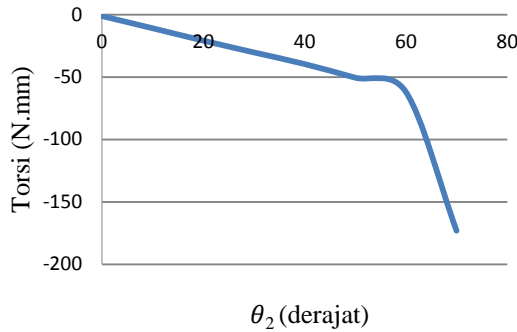


Gambar 22. Konfigurasi gripper pada simulator arm robot 5 dof



Gambar 23. Mekanisme four bar linkage [13].

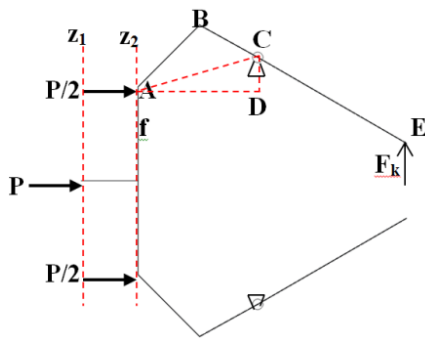
Torsi pada link 2 dipengaruhi oleh perubahan sudut θ_2 yang kemudian dapat dilihat pada Gambar 24.



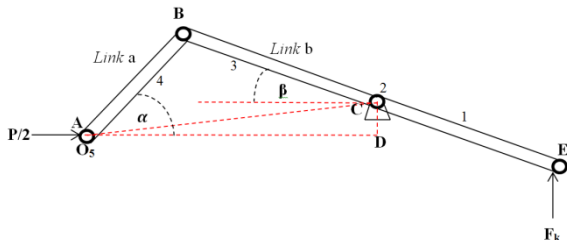
Gambar 24. Grafik perubahan torsi link 2 terhadap sudut θ_2

b. Torsi pada Konfigurasi Gripper yang dioptimasi.

Mencari torsi pada link b untuk setiap gaya input sebesar 1 Newton yang kemudian didapat gaya jepit. Gambar 25 menunjukkan konfigurasi gripper yang dioptimasi dan Gambar 26 menunjukkan mekanisme slider crank pada konfigurasi tersebut.



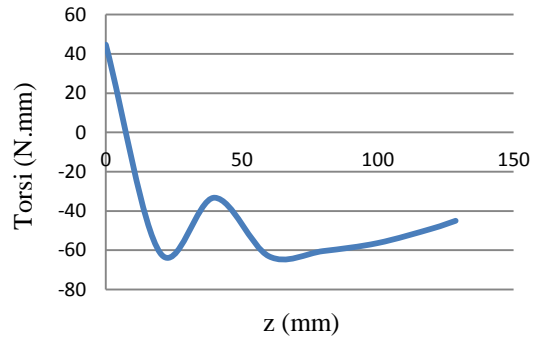
Gambar 25. Konfigurasi gripper yang dioptimasi



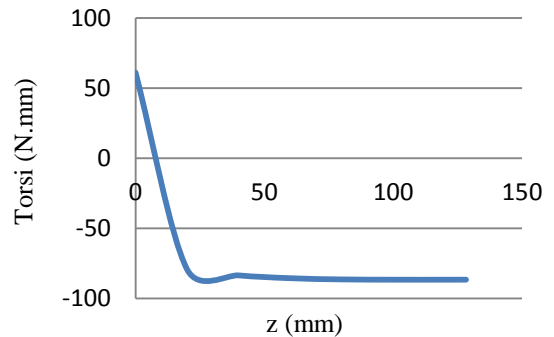
Gambar 26. Mekanisme slider crank gripper yang dioptimasi

Torsi pada link b dipengaruhi oleh perubahan harga z untuk harga link a lebih besar dari link b yang kemudian dapat dilihat pada Gambar 27. Untuk link a

lebih kecil dari link b dapat dilihat pada Gambar 28. Gaya jepit yang dihasilkan tiap perubahan harga z bisa dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.



Gambar 27. Perubahan torsi link b terhadap harga z untuk harga link a lebih besar dari link b



Gambar 28. Perubahan torsi link b terhadap harga z untuk harga link a lebih kecil dari link b

Tabel 3. Gaya jepit tiap perubahan harga z untuk harga link a lebih besar dari link b

z(mm)	$2F_k(N)$
0	0,463
20	-0,636
40	-0,344
60	-0,653
80	-0,626
100	-0,584
120	-0,508
128,718	-0,466

Tabel 3. Gaya jepit tiap perubahan harga z untuk harga link a lebih kecil dari link b

z(mm)	$2F_k(N)$
0	0,7
20	-0,906
40	-0,956
60	-0,979
80	-0,989
100	-0,991
120	-0,991
128,314	-0,991

5. KESIMPULAN

Penulis berhasil merancang sebuah simulator *arm robot 5 dof* dibuat yang dibuat dari bahan akrilik dengan bantuan *software* SolidWorks dan CorelDraw 12. *Front Panel* berhasil dibuat yang menghubungkan LabVIEW dengan mikrokontroler Arduino dimana *servomotor* dapat digerakkan secara *manual*, walaupun masih terdapat kesalahan posisi sudut pada *front panel* dengan sudut *servomotor* sebesar 1,67 %, nilai tersebut masih dalam toleransi. Berkenaan dengan optimasi konfigurasi geometri *gripper* maka dapat ditarik kesimpulan yaitu semua hasil perhitungan pada MATLAB adalah benar. Terdapat 2 hasil pada perhitungan algoritma genetika di MATLAB salah satunya adalah dimensi *link a* maupun dimensi *link b* yang mempengaruhi harga Z_{max} .

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Robotika. (Online). (<http://id.wikipedia.org/wiki/Robot>, diakses tanggal 18 November 2012).
- [2] Wikipedia berbahasa Indonesia. “*Robotika*” (Online). (<http://id.wikipedia.org/wiki/Robotika>, diakses tanggal 3 September 2012)
- [3] Sumbodo, Wirawan. 2008. “*Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 3*”. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- [4] “*Klasifikasi Robot*”. (Online).(respository.usu.ac.id/bitstream/123456789/28773/3/chapterII.pdf, diakses tanggal 5 september 2012).
- [5] Wikipedia berbahasa Indonesia. “*Robot Humanoid*”. (Online).(http://id.wikipedia.org/wiki/Robot_humanoid, diakses tanggal 21 november 2012).
- [6] Mas barron. 5 Mei 2011. “*Program robot berkaki dengan codevision*”. (Online). (<http://masbarron.blogspot.com/2011/05/program-robot-berkaki.html>, diakses tanggal 18 November 2012).
- [7] Transcend. 11 Februari 2011. “*Robots Become More Autonomous, Lines Blur Between Military & Civilian Applications*”. (Online). (<http://www.transcend.ws/?p=2110>, diakses tanggal 18 November 2012).
- [8] “*Tutorial 1: Robotics...Where the future leads*”. (Online). (<https://sites.google.com/site/welcome2robozaa/home/tutorials/tutorial-1-what-is-a-microcontroller>, diakses tanggal 18 November 2012).
- [9] Wikipedia berbahasa Inggris, ensiklopedia bebas. (Online). (http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_robot, diakses tanggal 18 November 2012).
- [10] Somby, Michael. “*Software Platforms for Service Robotics*”. (Online). (<http://www.linuxfordevices.com/c/a/Linux-For-Devices-Articles/Updatedreview-of-robotics-software-platforms/>, diakses tanggal 18 November 2012).
- [11] “*Algortima Genetika*”. (Online). (http://file.upi.edu/Direktori/FPTK/JUR._PEND._TEKNIK_EL
- [12] Saravanan,R., S,Ramabalan., N.G.R,Ebezener., C,Dharmaraja. (2008). “*Evolutionary Multi Criteria Design Optimization of Robot Grippers*”. India
- [13] Norton.L.R., (1999). “*Design of Machinery : an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines 2nd edition*”. McGraw-Hill. US.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada dasarnya karya ini tidak akan terselesaikan tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis untuk mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak, diantaranya:

1. Bapak Dr. Eng. Munadi, ST, MT dan Dr. Ir. Toni Prahasto, MASc selaku dosen pembimbing pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penulis.
2. Saudara Budi Utomo dan kawan di Laboratorium Komputasi dan Otomasi yang telah memberikan masukan dan tempat diskusi.
3. Saudara M.Ariyanto, ST dan kawan-kawan di Laboratorium Kontrol dan Getaran yang selalu memberikan wejangan dan dukungannya.