

**RANCANG BANGUN KINEMATIK LENGAN ROBOT 4 DOF BERBASIS
ARDUINO UNO DENGAN SIMULASI MATLAB**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi

Teknik Elektro

Universitas Islam Sultan Agung



Di susun oleh :

MUHAMAD SINGGIH RAHARJO

NIM : 30601800026

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2022

FINAL PROJECT

KINEMATIC DESIGN OF 4 DOF ROBOT ARM BASED ON ARDUINO UNO USING MATLAB SIMULATION

*Proposed was prepared to fulfill one of the requirements for obtaining an
undergraduate degree in the Electrical Engineering Study Program, Faculty of
Industrial Technology Sultan Agung Islamic University*



Arranged by :

MUHAMAD SINGGIH RAHARJO

NIM : 30601800026

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF
INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITY ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul "RANCANG BANGUN KINEMATIK LENGAN ROBOT 4 DOF BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN SIMULASI MATLAB" ini disusun oleh :

Nama : Muhamad Singgih Raharjo

NIM : 30601800026

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 11 Januari 2023

Pembimbing I

Pembimbing II

Agus Suprajitno, ST.,MT
NIDN. 0619076401

Dr. Hj. Sri Arttini Dwi P., M.Si
NIDN. 0620026501

UNISSULA

جامعة سلطان محمد بن عبد العزيز الإسلامية
Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Elektro

Jenny Putri Hapsari, ST.,MT
NIDN. 0607018501

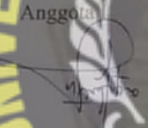
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul "RANCANG BANGUN KINEMATIK LENGAN ROBOT 4 DOF BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN SIMULASI MATLAB" ini telah dipertahankan di depan Dosen Penguji Tugas Akhir pada :

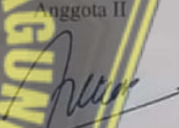
Hari : Selasa
Tanggal : 27 Desember 2022

TIM PENGUJI

Anggota I

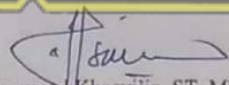

Agus Suprajitno, ST., MT
NIDN. 0619076401

Anggota II


Dr. Hj. Sri Antini Dwi P., M.Si
NIDN. 0629026501

UNISSULA

جامعة سلطان أبيونج الإسلامية
Ketua Penguji


Muhammad Khosy'in, ST., MT
NIDN. 0620026501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUHAMAD SINGGIH RAHARJO
NIM : 30601800026
Fakultas : TEKNOLOGI INDUSTRI
Program Studi : S1 TEKNIK ELEKTRO

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang** dengan judul **“RANCANG BANGUN KINEMATIK LENGAN ROBOT 4 DOF BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN SIMULASI MATLAB”**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Pemalang, 25 November 2022

Yang Menyatakan



Muhamad Singgih Raharjo
NIM.30601800026

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhamad Singgih Raharjo

NIM : 30601800026

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Alamat Asal : Dusun Tumbal, Desa Tumbal RT02 RW03, Kec Comal Kab.
Pemalang

No.HP / Email : 085826271220 / muhamadsinggihraharjo@std.unissula.ac.id

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul:

**"RANCANG BANGUN KINEMATIK LENGAN ROBOT 4 DOF BERBASIS
ARDUINO UNO DENGAN SIMULASI MATLAB"**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Pemalang, 25 November 2022

Yang Menyatakan



Muhamad Singgih Raharjo
NIM. 30601800026

HALAMAN PERSEMABAHAN DAN MOTTO

Persembahan :

Pertama,

Tugas Akhir ini akan saya persembahkan khusus kepada kedua orang tua saya yang saya cintai (Bapak Tarjono & Almarhumah Ibu Sri Mei) yang sudah membesarkan saya, memberikan dukungan dan menjadi motivasi hidup saya dalam menyelesaikan studi saya hingga saat ini. semoga ini menjadi hadiah perpisahan untuk saya dan mamah. Dan juga kepada dua kakak perempuan saya yang sudah menyemangati saya, serta mengingatkan saya untuk semua hal agar saya jauh lebih baik lagi

Kedua,

Untuk Dosen pembimbing Tugas Akhir, dosen pembimbing Robotik dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan pengarahannya.

Ketiga,

Untuk Nur Atikah, teman seperjuangan Tugas Akhir dan tidak lupa teman – teman Teknik Elektro angkatan 2018 serta teman teman Tim Robotik Unissula yang saling memberikan dukungan kepada saya selama ini.

Motto :

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”

{Tafsir Surat Al Insyirah Ayat 5}

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu, Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui”

{Tafsir Surat Al-Baqarah Ayat 216}

“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

{Tafsir Surat Al-Baqarah Ayat 286}

Nana korobi Ya oki “berapapun kita terjatuh dan gagal, kita harus bangkit dan pantang menyerah”.

{Filsafat Jepang Kuno}

Sukses adalah guru yang buruk. Sukses menggoda orang yang tekun ke dalam pemikirannya bahwa mereka tidak dapat gagal.

{Bil Gates}

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Nikmatnya sehingga masih berkesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Amiin Ya Robbalalamin.

Penyusunan Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Tugas Akhir ini tentunya banyak pihak yang memberikan bantuan secara moril maupun materil. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada hingganya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Kedua orang tua saya, Bapak Tarjono dan Almarhumah ibu Sri Mei binti Kasmuri yang telah memberikan dukungan baik materil maupun non materil dan tidak pernah berhenti mendo'akan disetiap sujudnya.
3. Bapak Prof Dr. Gunarto SH MH. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Dr. Ir Hj Novi Marlyana, ST., MT., IPU., ASEAN Eng. sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Bapak Munaf Ismail, ST., MT. selaku Dosen wali saya sekaligus koordinator Tugas Akhir jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

7. Bapak Agus Suprajitno, ST., MT. dan Ibu Dr Hj Sri Arttini Dwi Prasetyowati, Msi. selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang memberikan ilmu yang sangat bermanfaat, memberikan banyak arahan, dan dengan sabar membimbing kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
8. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan, semangat, ilmu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa didalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk mencapai hasil yang lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak pada terutama Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan dapat menambah wawasan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Semarang, Desember 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMABAHAN DAN MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
KATA SINGKATAN.....	xv
ABSTRAK.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Metode Penulisan Laporan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori.....	7
2.2.1 Sejarah Robot.....	7
2.2.2 Torsi	7
2.2.3 Kinematik.....	8

2.2.4 Perhitungan Invers Kinematik.....	11
2.2.5 Arduino Uno	15
2.2.6 Motor Servo	18
2.2.7 Catu Daya/ Power Supply	19
2.2.8 Sensor Warna TCS230.....	21
2.2.9 Sensor Ultra sonic HC-SR04	21
2.2.10 Liquid cristal display (LCD)	22
2.2.11 Matlab	23
BAB III METODOLOGI PERANCANGAN.....	25
3.1 Deskripsi perancangan.....	25
3.2 Metode Alur Penelitian.....	25
3.3 Alat dan Bahan.....	27
3.4 Alur Perancangan Alat.....	29
3.4.1 Diagram Blok Sistem Perancangan <i>Hardware</i>	29
3.4.2 Flowchart Sistem.....	30
3.4.3 Perancangan Software.....	31
3.5 Pengujian Dan Pengambilan Data.....	40
3.5.1 Pengujian hardware.....	40
3.5.2 Pengujian Software.....	41
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....	42
4.1 Pengujian Hardware.....	42
4.1.1 pengujian sensor HC-SR04.....	42
4.1.2 pengujian Sensor Warna TCS 230	43
4.2 Pengujian <i>Software</i> Matlab	49
4.3. Perhitungan Nilai Torsi.....	53
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lengan Robot 4 DOF [11].	7
Gambar 2. 2 Titik joint kinematik	9
Gambar 2. 3 Rotasi dan tranlasi.	10
Gambar 2. 4 Compound Transformations	11
Gambar 2. 5 θ_1 dan D	12
Gambar 2. 6 Posisi Awal robot.	12
Gambar 2. 7 Posisi $YEE \geq 1$	13
Gambar 2. 8 Posisi $YEE \leq L1$	14
Gambar 2. 9 Arduino Uno [12].	15
Gambar 2. 10 Servo MG996R [13].	19
Gambar 2. 11 Power Supply 12 Volt [14].	19
Gambar 2. 12 Regulator LM2596 [15].	20
Gambar 2. 13 Buck Converter PR15 12A [15].	20
Gambar 2. 14 Sensor Warna TCS230 [16].	21
Gambar 2. 15 Sensor Ultrasonic HC-SR04 [17].	22
Gambar 2. 16 Lcd 20x4 dan I2c [19].	23
Gambar 2. 17 Tampilan awal Matlab 2017b.	24
Gambar 3. 1 Flowchart Metode Alur Penelitian	27
Gambar 3. 2 Digram blok Rancang Bangun Kinematik Lengan Robot 4 DOF berbasis Arduino Uno dengan Analisa Matlab	29
Gambar 3. 3 Flowchart Sistem Program	30
Gambar 4. 1 posisi stanby	47
Gambar 4. 2 posisi ketika mengambil objek berwarna merah	48
Gambar 4. 3 posisi meletakkan objek berwarna merah sesuai dengan warna tempatnya	48
Gambar 4. 4 posisi meletakkan objek berwarna hijau sesuai dengan warna tempatnya	49
Gambar 4. 5 posisi meletakkan objek berwarna biru sesuai dengan warna tempatnya	49
Gambar 4. 6 Tampilan awal dan setting 0 pada kelima Theta	50

DAFTAR TABEL

Table 2. 1 Penelitian Lengan Robot Dengan Menggunakan Matlab.....	5
Table 2. 2 Peneltian Lengan Robot Dengan Menggunakan Matlab (Lanjutan).....	6
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan	27
Tabel 4. 1 pengujian jarak sensor HC-SR04	43
Tabel 4. 2 Pengujian Objek warna benda	44
Tabel 4. 3 posisi awal simulasi.....	50
Tabel 4. 4 Posisi waktu mengambil objek benda	51
Tabel 4. 5 posisi saat meletakkan objek berwarna merah	51
Tabel 4. 6 posisi saat meletakkan objek berwarna hijau	52
Tabel 4. 7 posisi saat meletakkan objek berwarna biru.....	52



KATA SINGKATAN

DOF	= <i>Degree Of Freedom</i>
RGB	= <i>Red Green Blue</i>
GUI	= <i>Graphical User Interface</i>
Θ	= Theta (sudut)
UNISSULA	= Universitas Islam Sultan Agung



ABSTRAK

Lengan robot kini sudah banyak digunakan pada dunia industri khususnya di Indonesia sendiri karena efek adanya revolusi industri 4.0 dimana semua beralih dari manual ke otomatis untuk meningkatkan efisiensi waktu tenaga dan biaya. laboratorium yang pada umumnya adalah tempat untuk mempelajari dan menerapkan ilmu didalam mata kuliah khususnya Teknik Robotik. Pada penelitian ini membahas tentang penerapan invers kinematik pada rancang bangun lengan robot 4 DOF berbasis Arduino uno dengan menggunakan sensor TCS230 dan sensor Sensor Ultra sonic SRF 04 kemudian hasilnya dibandingkan dengan simulasi matlab GUI. Adapun hasil penelitian ini adalah torsi maksimal yang dihasilkan dari perhitungan yakni 20 % lebih rendah dari 10 kg torsi maksimal yang ada pada data sheet servo. dengan satuan konversi $1 \text{ N.m} = 10,19 \text{ kg.cm}$. Pengujian sensor ultrasonic HC-SR04 dan juga sensor warna TCS 230 hanya pada jarak 6,5 cm – 7 cm benda terdeteksi dan lengan bergerak mengambil objek benda sesuai dengan warnanya, Dan hasil simulasi matlab gui nilai invers kinematik pada ketiga sumbunya dapat diketahui dengan memasukan nilai sudut pada kelima Thetanya. Dengan posisi awal sumbu $X = 318^\circ$, sumbu $Y = 0^\circ$ dan sumbu $Z = 65^\circ$ dan terjadi penyimpangan sebesar 0,1% dari program yang dimasukkan. Pada Arduino saat servo bergerak meletakkan benda terjadi perbedaan kurang lebih 10 derajat dengan program yg dimasukkan atau *error* yang dihasilkan 0,1% dari program yang dimasukan.

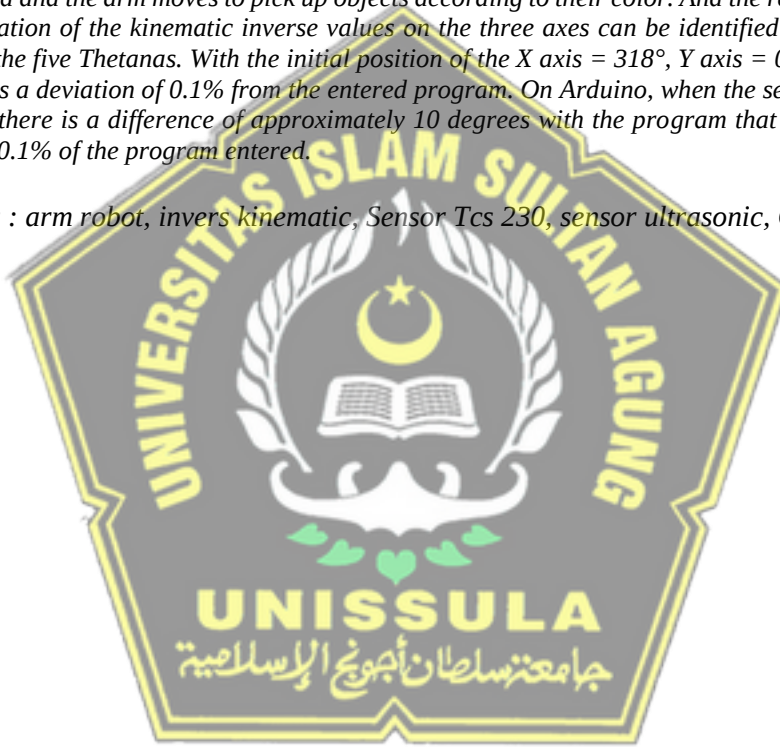
Kata kunci: Lengan Robot, invers kinematic, Sensor Tcs 230, sensor ultrasonic, Gui Matlab



ABSTRACT

Robotic arms are now widely used in the industrial world, especially in Indonesia itself because of the effects of the industrial revolution 4.0 where everything switched from manual to automatic to increase efficiency in labor time and costs. the laboratory which is generally a place to study and apply knowledge in subjects, especially Robotic Engineering. This study discusses the application of kinematic inverse to the design of a 4 DOF robotic arm based on Arduino Uno using the TCS230 sensor and the Ultrasonic SRF 04 sensor, then the results are compared with the Matlab GUI simulation. The results of this study are the maximum torque resulting from the calculation, which is 20% lower than the 10 kg maximum torque on the servo data sheet. with unit conversion $1 \text{ N.m} = 10.19 \text{ kg.cm}$. Testing the HC-SR04 ultrasonic sensor and also the TCS 230 color sensor only at a distance of 6.5 cm - 7 cm objects are detected and the arm moves to pick up objects according to their color. And the results of the Matlab GUI simulation of the kinematic inverse values on the three axes can be identified by entering values angles on the five Thetanas. With the initial position of the X axis = 318° , Y axis = 0° and Z axis = 65° and there is a deviation of 0.1% from the entered program. On Arduino, when the servo moves to place an object, there is a difference of approximately 10 degrees with the program that is entered or error generated 0.1% of the program entered.

Keywords : arm robot, invers kinematic, Sensor Tcs 230, sensor ultrasonic, Gui Matlab



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan zaman, maka telah banyak perkembangan teknologi yang pada saat ini telah berkembang pesat, khususnya di Indonesia sendiri sudah masuk dalam revolusi industri 4.0 dimana perkembangan ini membawa perubahan terutama dalam bidang industri yang sebelumnya masih menggunakan alat-alat ataupun mesin-mesin yang manual dalam pengoperasiannya kini harus beralih dari sistem manual ke otomatis, karena untuk memenuhi banyaknya keinginan barang dari masyarakat akan barang barang berkualitas tinggi dan akhirnya kebanyakan perusahaan maupun sektor industri memanfaatkan penggunaan robot[1].

Laboratorium adalah tempat dimana mahasiswa melakukan riset, penelitian cara kerja dan memahami fungsi komponen terutama dalam bidang elektro, di Kampus Unissula sendiri ada beberapa laboratorium, salah satunya laboratorium Robotik. Dimana di laboratorium robotik ini mahasiswa banyak melakukan riset dalam membuat robot khususnya dalam ajang Kontes Robot Indonesia atau yang dikenal dengan KRI. Namun sarana dan prasarana didalam Lab robotik ini masih terbilang kurang dalam pengadaan alat praktiknya, salah satunya adalah lengan robot. Dimana sebenarnya lengan robot ini sangat dibutuhkan dalam praktik maupun perkuliahan khususnya dalam mata kuliah Teknik Robotik[2].

Berdasarkan permasalahan diatas maka peneliti akan membuat rancang bangun kinematik lengan robot 4 DOF berbasis Arduino uno dengan Analisa matlab sebagai bahan pembelajaran di lab robotik unissula sehingga keluarannya mahasiswa dapat memahami bagaimana kinematik lengan robot dianalisa menggunakan matlab.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat disimpulkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa torsi yang dibutuhkan untuk menentukan servo yang akan digunakan agar sesuai dengan mekanik dan kinematik lengan robot 4 DOF?
2. Bagaimana invers kinematik lengan robot 4 DOF diubah menjadi program Arduino dengan input sensor warna TCS230 dan sensor jarak HC-SR04?
3. Bagaimana invers kinematik lengan robot 4 DOF menggunakan matlab?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan lebih fokus dan mendalam maka peneliti membatasi beberapa Batasan masalah yakni sebagai berikut:

1. Peneliti hanya melakukan penelitian pada kinematik lengan robot 4 DOF dengan Analisa matlab
2. Peneliti hanya melakukan evaluasi pada system mekanik dan coding program menggunakan Arduino uno, sensor ultrasonic HC-SR04 dan Sensor Warna TCS230
3. Hanya berfokus pada invers kinematik pada lengan robot 4 DOF sebagai penelitian Tugas akhir
4. Sistem yang digunakan merupakan open loop

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengaplikasikan rancang bangun kinematik lengan robot 4 DOF dengan Analisa Matlab sebagai pembelajaran di Lab Robotik Unissula
2. Mengaplikasikan sistem mekanik dan coding program menggunakan Arduino uno dengan menggunakan sensor jarak dan juga sensor warna.
3. Mengetahui cara menghitung invers kinematik pada lengan robot 4 DOF kemudian dimasukan dalam program Arduino uno.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan pembelajaran maupun praktik mahasiswa di Lab Robotik Unissula.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan kajian penelitian selanjutnya dan memberikan sumbangan pemikiran yang nantinya akan berdampak baik bagi kemajuan Lab Robotik Unissula.
3. Menambah sumber ilmu dan informasi khususnya yang masih belum mengetahui tentang manfaat dari Matlab itu sendiri.

1.6 Metode Penulisan Laporan

Adapun penulisan laporan tugas akhir ini, menggunakan sistematika penulisan terbagi menjadi 5 bab. Sistematika penulisan tersebut adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini membahas rujukan - rujukan dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan tugas akhir yang dibuat. Selain itu bab ini juga berisikan berbagai teori dan konsep yang mendukung dalam pembuatan tugas akhir ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan dan memaparkan mengenai metode penelitian yang digunakan, tempat dan teknik pengumpulan data, rancangan penelitian dan tahapan untuk dapat merancang bangun kinematik lengan robot 4 DOF dengan analisa Matlab sebagai pembelajaran di Lab Robotik Unissula.

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini berisikan pemaparan mengenai pengujian dan analisa hasil pada rancang bangun kinematik lengan robot 4 DOF dengan Analisa Matlab sebagai pembelajaran di Lab Robotik Unissula.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran. Dari pembahasan dan hasil analisa, maka ditarik suatu kesimpulan dari penelitian. Selain itu diberikan juga beberapa saran untuk pengembangan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Adapun penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai kinematik lengan robot yakni:

“Pemodelan Robot Kinematik Manipulator Menggunakan Matlab” oleh Bambang Hari Purwoto, Program Studi Teknik Elektro dari Universitas Muhammadiyah Surakarta Surakarta, tahun 2020. pada penelitian ini, penelitian difokuskan pada dua aspek yakni mengevaluasi nilai kinematik maju dan kinematik mundur dengan bantuan GUI simulasi matlab namun belum ada alat maupun prototypenya hanya simulasi[3].

“Perancangan Lengan Robot 5 Derajat Kebebasan dengan Pendekatan Kinematika” oleh Firmansyah, dari Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala tahun 2014. pada penelitian ini difokuskan pada evaluasi kinematic forward dan evaluasi 5 kebebasan dan belum bisa melakukan percobaan pergerakan secara nyata pada fisik lengan robot 5 derajat kebebasan dengan metode inverse kinematic[4].

“Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno” oleh Martinus Didi dari Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura tahun 2016. pada penelitian ini difokuskan pada perancangan lengan robot 4 DOF dengan sistem GUI dan tidak membahas masalah invers kinematic dari lengan robot itu sendiri[5].

Adapun penelitian lain tentang lengan robot dan menggunakan Matlab sebagai objek penelitiannya.

Table 2. 1 Penelitian Lengan Robot Dengan Menggunakan Matlab

No	Judul penelitian	Kelebihan	Kekurangan
1	Pengendalian Manipulator lengan Robot dengan Kinect dan Matlab[6].	- Menggunakan Kinect sebagai sensor kendali, dan menggunakan slider secara manual.	- Pada posisi ketiggian joint tidak berjalan dengan baik, masih GUI slider manual.

Table 2. 2 Peneltian Lengan Robot Dengan Menggunakan Matlab (Lanjutan)

No	Judul penelitian	Kelebihan	Kekurangan
2	Rancang Bangun Robot Kontrol Digital Dan Monitoring Menggunakan Matlab[7].	- Dapat memonitoring pergerakan robot lengan secara realtime - Kendali webcame robot lengan secara wireless (bluetooth)	- Penelitian hanya bertujuan untuk monitoring pergerakan robot lengan - Belum ada sistem untuk monitoring sinyal PWM
3	Perancangan Robot Lengan Pembuat Pola Batik Berbasis Graphical User Interface (GUI) Dengan Metode Gerak Inverse Kinematics[8].	- Menggunakan metode inverse kinematik pada penentuan nilai atau titik di sumbu x dan y untuk membuat objek yang diinginkan (lingkaran, kotak, keupat dan segitiga) - Menggunakan bluetooth sebagai kendali wireless	- Masih menggunakan IC Atmega8 sebagai mikrokontrolernnya - Pergerakan robot lengan masih terbatas pada sumbu x dan y - Belum ada GUI yang dapat menyimpan (save) dan mengeksekusi gerakan robot lengan.
4	Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno[9].	- Pengendalian robot lengan menggunakan GUI Matlab secara wireless - Menggunakan slider sebagai kendali robot lengan secara manual	- Belum ada GUI yang dapat menyimpan (save) dan mengeksekusi gerakan robot lengan - Penggunaan torsi motor yang belum tepat.
5	Rancang bangun kendali robot lengan menggunakan gui matlab berbasis arduino uno[10].	- Pengendalian robot lengan menggunakan GUI matlab dengan mfile - Menggunakan slider sebagai kendali robot lengan secara manual.	- Belum menggunakan sensor untuk robot lengan dengan Matlab - arduino. - Tidak menghitung kinematik lengannya.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sejarah Robot

Robot berasal dari bahasa Ceko robota yang berarti pekerja. Mulai menjadi populer ketika penulis Ceko (Ceko) Karl Capek mementaskan komedi berjudul RUR (Rossum's Universal Robot), yang ditulisnya pada tahun 1921. Definisi asli robot dikatakan sebagai perangkat otomatis apa pun yang dirancang untuk menggantikan tindakan buatan manusia. Namun, dalam perkembangan selanjutnya, robot didefinisikan sebagai manipulator programmable universal yang diprogram untuk melakukan tugas tertentu. Perkembangan teknologi robotik telah meningkatkan kualitas hidup manusia. Saat ini perkembangan teknologi robot telah mampu meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi di berbagai pabrik. Teknologi robot I-2 juga telah menjangkau sisi hiburan dan edukasi masyarakat.



Gambar 2. 1 Lengan Robot 4 DOF [11].

2.2.2 Torsi

Momen Gaya (Torsi (τ)) adalah kemampuan gaya F memutar/merotasi benda terhadap poros diam. Sehingga semakin besar torsi maka gaya F memutar benda pun semakin besar.

Torsi dilambangkan sebagai τ , dengan persamaannya adalah :

$$\tau = rF \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan τ adalah torsi/momen gaya (Nm), r adalah lengan torsi (m), dan F adalah gaya yang memiliki jarak terhadap pusat putaran (N). Karena r adalah lengan/jarak gaya (F) terhadap pusat putaran, maka posisi gaya (F) terhadap lengan (r) haruslah tegak lurus. Dengan demikian momen gaya akan memiliki arah putaran, sehingga momen gaya merupakan besaran vector. Persamaan momen gaya/torsi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$F = m \times g \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\tau = r \times F \perp = rF \sin \theta \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan θ adalah yang dibentuk antara r dan F .

Selain bergerak secara vertical servo juga dapat bergerak secara horizontal, untuk menghitung total torsi yang bekerja pada servo horizontal bisa menggunakan hukum Newton II [10].

$$\sum \tau = I \alpha \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$$I = m \times r^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\alpha = \Delta \omega / \Delta t \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\omega = 2\pi / T \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan: $\sum \tau$ = Resultan torsi (N.m)

I = Momen inersia (kg.m²)

α = Percepatan (rad/s²)

m = Massa (kg)

r = Jari-jari antara rotasi dengan gaya (m)

ω = Kecepatan (rad/s)

T = Periode (s)

2.2.3 Kinematik

Kinematik adalah gerakan lengan robot terhadap kerangka koordinat yang diam/bergerak, terlepas dari gaya yang menyebabkan gerakan tersebut. Kinematik

sendiri dibagi menjadi dua yakni *formard kinematic*(Kinematik maju) dan *invers kinematic*(Kinematik Mundur) keduanya memiliki acuan yg berbeda untuk menentukan posisi dari *end-effector*.

2.2.3.1 Kinematik Maju

Untuk mengendalikan sebuah robot, khususnya manipulator, diperlukan sebuah kontrol untuk mengendalikan tangan atau kaki. Pengendalian robot ini disebut dengan forward kinematics. Forward Kinematics adalah suatu fungsi yang memetakan terhadap posisi. Pengendalian ini menggunakan beberapa parameter, yaitu di antaranya dengan posisi dan orientasi. Parameter posisi menentukan koordinat posisi robot, sedangkan orientasi menentukan frame (dimensi yang digunakan robot) pada masing-masing joint (titik sendi) pada robot.



Gambar 2. 2 Titik joint kinematik

Posisi B dari A dapat dilihat sebagai titik(0,0) frame B sebesar ${}^A P$. Orientasi merupakan perubahan koordinat x, y, z pada frame A ke koordinat x, y, z pada frame B. Rotation Matrix dapat digunakan persamaan rotasi matrik, sebagai berikut.

$$R_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad R_Y = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad R_Z = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots (2.8)$$

R_x merupakan rotasi dilihat terhadap sumbu x. R_y merupakan rotasi dilihat terhadap sumbu y. R_z merupakan rotasi dilihat terhadap sumbu z. Kemudian, setelah dirotasi, digunakan persamaan translasi sehingga titik yang berada di frame B dapat diketahui posisinya terhadap frame A.



Gambar 2. 3 Rotasi dan translasi

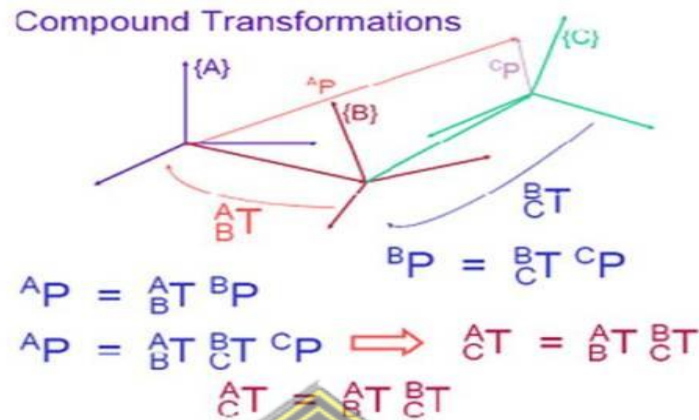
$${}^A P_{OA} = {}^A P_{OB} + {}^A P_{BORG}$$

${}^A P_{OA}$ merupakan posisi titik P terhadap frame A. ${}^A P_{OB}$ merupakan posisi titik P terhadap frame B dan ${}^A P_{BORG}$ merupakan posisi titik pusat frame B terhadap frame A. Dari persamaan rotasi dan translasi di atas, dapat digunakan matrik transformasi yang memetakan posisi akhir robot terhadap titik pusat pada frame awal. Persamaan Transformasi dari B ke A.

$$\begin{bmatrix} \frac{A_P}{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{{}^A_B R}{0 \ 0 \ 0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{{}^A P_{BORG}}{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{B_P}{1} \end{bmatrix} \longrightarrow A_P (4 \times 1) = {}^A_B T (4 \times 4) \cdot B_P (4 \times 1) \dots (2.9)$$

Homogeneous Transform

Homogeneous Transform dipakai ketika transformasi terjadi satu kali. Lalu, bagaimana jika terjadi transformasi lebih dari sekali, maka digunakan Compound Transformation untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Berikut ini persamaannya. (2.10)



Gambar 2. 4 Compound Transformations

Dan dari transformasi tersebut didapatkan rumus untuk menghitungnya adalah sebagai berikut:

$${}^A_C T = \begin{bmatrix} {}^A_B R & {}^B_C R & {}^A_B R B_P corg + A_P corg \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.11)$$

2.2.3.2 Invers Kinematik

Inverse kinematik adalah kebalikan forward kinematik, dimana diberikan posisi end-effector, dan yang akan dicari adalah berapa besar yang harus diubah untuk tiap joint untuk dapat mencapai posisi end-effector tersebut.

2.2.4 Perhitungan Invers Kinematik

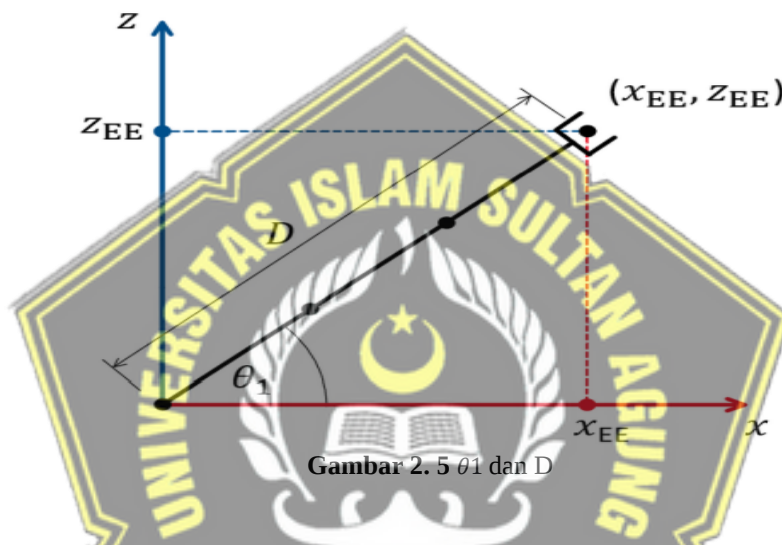
Dalam penelitian ini, persamaan invers kinematik akan menggunakan metode geometri untuk menentukan bersama dari lengan robot untuk mencapai ujung *effector* yang diinginkan. Dapat diasumsikan dan terlihat lengan robot dari atas, yang mewakili bidang (x, z). Ke *gripper* (*end effector*) mencapai koordinat yang diinginkan posisi sambungan pertama harus berputar pada variabel yang dideklarasikan sebagai " θ_1 ", di samping rotasi sendi pertama, lengan membutuhkan untuk merentang untuk membuat akhir *effector* mencapai koordinat yang diinginkan posisi. Dapat dilambangkan

variabel seberapa jauh lengan membutuhkan untuk merentang sebagai "D".
Perhitungan untuk θ_1 dan D ditampilkan sebagai berikut.

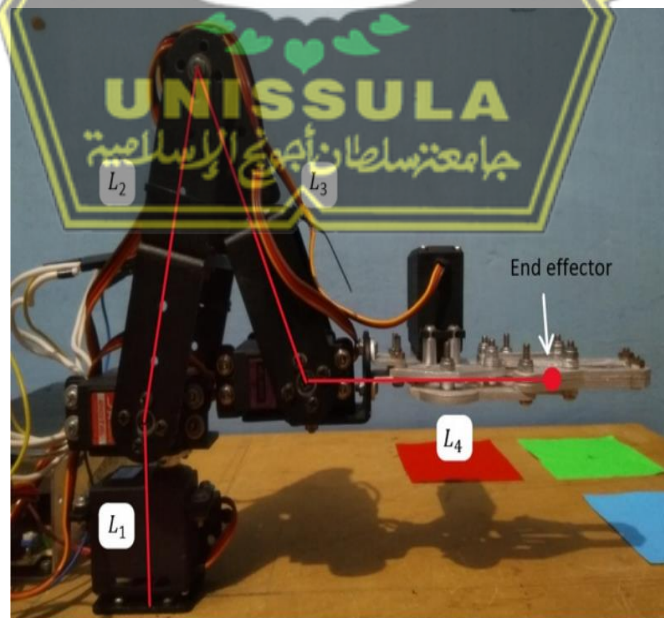
$$D = \sqrt{(X_{EE})^2 + (Z_{EE})^2}$$

$$\frac{Z_{EE}}{X_{EE}} = \tan(\theta_1)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{Z_{EE}}{X_{EE}} \right) \dots\dots\dots (2.12)$$

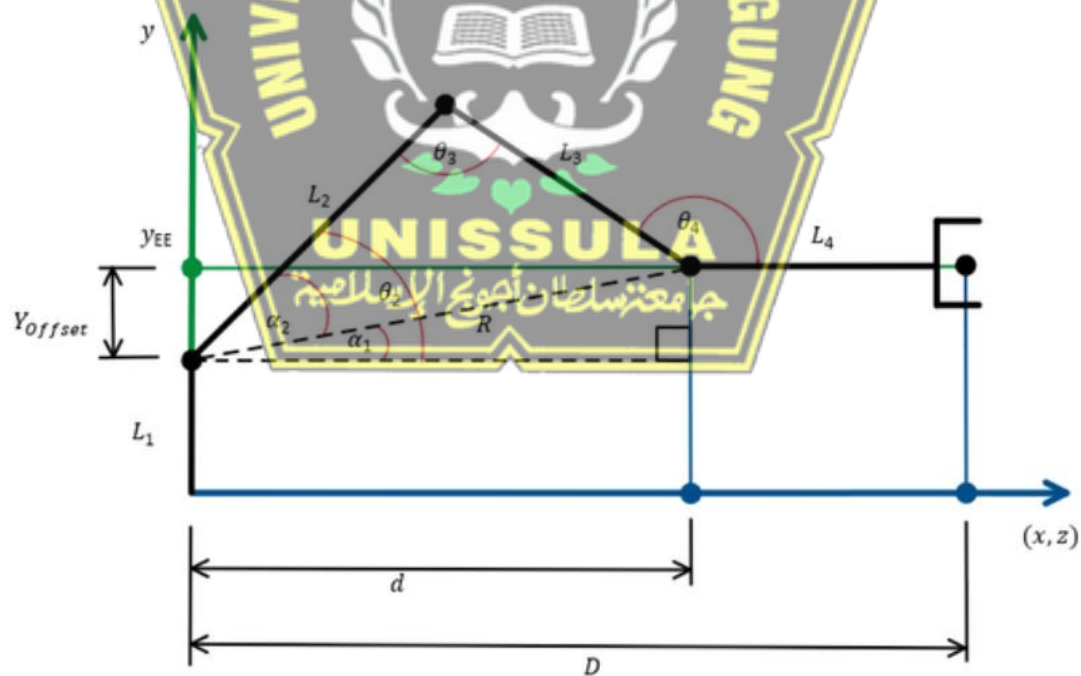


Gambar 2. 5 θ_1 dan D



Gambar 2. 6 Posisi Awal robot

Telah diterangkan rumus prinsip geometri yang dapat digunakan untuk menghitung rotasi sendi 1(θ_1), selanjutnya untuk menentukan persamaan untuk menemukan tiga bersama lainnya (θ_2 , θ_3 , dan θ_4). Berapa banyak bersama θ_2 , θ_3 , dan θ_4 diperlukan untuk memutar dan membuat rentang bentuk lengan dari panjang yang dihitung sebelumnya (D). Perhitungan untuk θ_2 (rotasi sendi 2), θ_3 (rotasi sendi 3) dan θ_4 (rotasi sendi 4) saat posisi *gripper* (ujung *effector*) lebih rendah dari posisi θ_2 pada arah sumbu y sedikit membutuhkan rumus yang berbeda dibandingkan jika ujung posisi *effector* lebih tinggi dari posisi 2 sendi. Rumus invers kinematik ini hanya untuk membuat tautan 4 (L_4) sejajar dengan tanah atau permukaan, tetapi karena robot ini 4 Derajat Kebebasan (4DoF) sehingga ada *Nexibility* untuk tidak hanya ditentukan posisi di mana ujung *effector* harus bergerak atau mencapai tetapi juga berorientasi ujung *effectornya*, dan itu membutuhkan rumus yang berbeda.



Gambar 2. 7 Posisi $Y_{EE} \geq 1$

Jika $YEE \geq L1$ maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$d = D - L4 \dots\dots\dots (2.13)$$

$$Yoffset = YEE - L1 \dots\dots\dots (2.14)$$

$$R = \sqrt{(d)^2 + (Yoffset)^2} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\frac{d}{R} = \cos(a1) \dots\dots\dots (2.16)$$

$$a1 = \cos^{-1}\left(\frac{d}{R}\right) \dots\dots\dots (2.17)$$

$$(L3)^2 = (L2)^2 + (R)^2 - 2 \times L2 \times R \times \cos(a2) \dots\dots\dots (2.18)$$

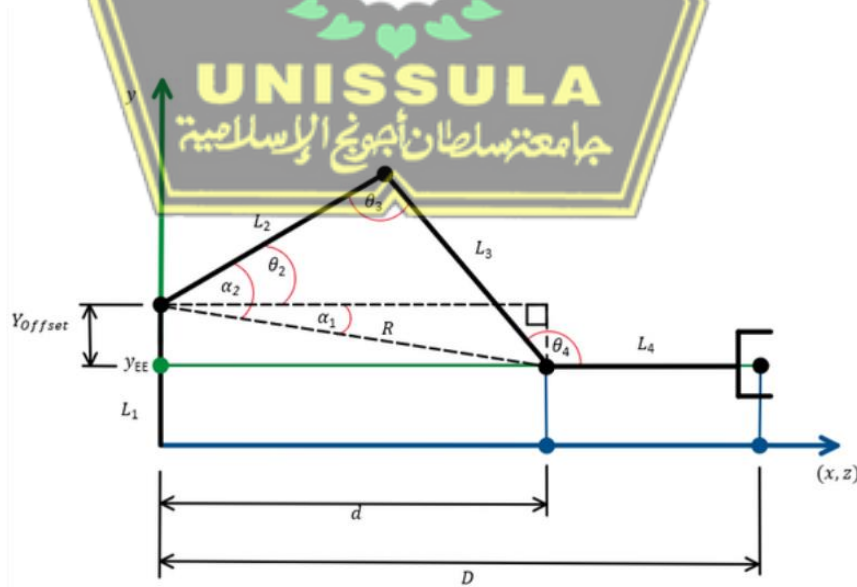
$$a2 = \cos^{-1}\left(\frac{L2^2 + R^2 - L3^2}{2 \times L2 \times R}\right) \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\theta2 = a1 + a2 \dots\dots\dots (2.20)$$

$$R^2 = (L2)^2 + (L3)^2 - 2 \times L2 \times L3 \times \cos(\theta3) \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\theta3 = \cos^{-1}\left(\frac{L2^2 + L3^2 - R^2}{2 \times L2 \times L3}\right) \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\theta4 = 180^\circ - \{[180^\circ - (a2 + \theta3)] + a1\} \dots\dots\dots (2.23)$$



Gambar 2. 8 Posisi $YEE \leq L1$

Dan jika $YEE \leq L1$ maka dapat dirumuskan:

$$\theta_2 = a_1 + a_2 \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\theta_4 = 180^\circ - \{[180^\circ - (a_2 + \theta_3)] + a_1\} \dots\dots\dots (2.25)$$

2.2.5 Arduino Uno

Arduino Uno Arduino Uno adalah board berbasis mikrokontroler pada ATmega328. Board ini memiliki 14 digital input/output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya. Board Arduino Uno memiliki fitur-fitur baru sebagai berikut : 1,0 pinout: tambah SDA dan SCL pin yang dekat ke pin aref dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat ke pin RESET, dengan IO REF yang memungkinkan sebagai buffer untuk beradaptasi dengan tegangan yang disediakan dari board sistem. Pengembangannya, sistem akan lebih kompatibel dengan Processor yang I-3 menggunakan AVR yang beroperasi dengan 5V dan dengan Arduino yang beroperasi dengan 3,3V. Yang kedua adalah pin tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan pengembangannya[12].



Gambar 2. 9 Arduino Uno [12].

Adapun data teknis yang terdapat board Arduino UNO adalah sebagai berikut

1. Mikrokontroler: ATmega328
2. Tegangan operasi : 5V

3. Tegangan input (recommended) : 7 - 12V
4. Tegangan input (limit) : 6-20 V
5. Pin digital I/O : 14 (6 diantaranya pin PWM)
6. Pin analog input : 6 pin input
7. Arus DC per pin I/O : 40 mA
8. Arus DC untuk pin 3.3 V : 150 mA
9. Flash memory : 32 KB dengan 0,5 KB digunakan sebagai bootloader
10. SRAM : 2 KB
11. EEPROM : 1 KB

2.2.5.1 Catu Daya

Daya Arduino Uno diaktifkan melalui koneksi USB. Catu daya eksternal juga dapat digunakan untuk papan daya. Arduino membutuhkan tegangan eksternal 6 hingga 20 volt untuk beroperasi. Board Arduino mungkin tidak stabil jika persediaan kurang dari 5v ada. Pada penggunaan lebih dari 12 volt menyebabkan kerusakan pada regulator dan board tegangan juga. Kisaran yang disukai adalah 7 hingga 12 volt. Pin daya adalah sebagai berikut:

- a. Vin: Adalah input tegangan untuk papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai 'saingan' tegangan 5 Volt dari koneksi USB atau sumber daya ter-regulator lainnya). Pengguna dapat memberikan tegangan melalui pin ini, atau jika memasok tegangan untuk papan melalui jack power, maka bisa mengakses/mengambil tegangan melalui pin ini.
- b. 5V: Sebuah pin yang mengeluarkan tegangan ter-regulator 5 Volt, dari pin ini tegangan sudah diatur (ter-regulator) dari regulator yang tersedia (built-in) pada papan. Arduino dapat diaktifkan dengan sumber daya baik berasal dari jack power DC (7-12 Volt), konektor USB (5 Volt), atau pin VIN pada board (7-12 Volt). Memberikan tegangan melalui 10pin 5V atau 3.3V secara langsung tanpa melewati regulator dapat merusak papan Arduino.

- c. 3.3 V: Sebuah pin yang menghasilkan tegangan 3,3 Volt. Tegangan ini dihasilkan oleh regulator yang terdapat pada papan (on-board). Arus maksimum yang dihasilkan adalah 50 mA.
- d. GND: 2 pin ground tersedia.
- e. IOREF: Pin ini pada papan Arduino berfungsi untuk memberikan referensi tegangan yang beroperasi pada mikrokontroler. Sebuah perisai (shield) dikonfigurasi dengan benar untuk dapat membaca pin tegangan IOREF dan memilih sumber daya yang tepat atau mengaktifkan penerjemah tegangan (voltage translator) pada output untuk bekerja pada tegangan 5 Volt atau 3,3 Volt.

2.2.5.2 Riset Otomatis

Dari pada mengharuskan sebuah penekanan fisik dari tombol reset sebelum sebuah penguploadan, Arduino Uno didesain pada sebuah cara yang memungkinkannya untuk direset dengan software yang sedang berjalan pada pada komputer yang sedang terhubung

2.2.5.3 Proteksi Arus Lebih USB

Arduino UNO mempunyai sebuah sebuah sekering reset yang memproteksi port USB komputer dari hubungan pendek dan arus lebih. Jika lebih dari 500 mA diterima port USB, sekering secara otomatis akan memutuskan koneksi sampai hubungan pendek atau kelebihan beban hilang.

2.2.5.4 Memori

Memori yang digunakan pada Aduino Uno R3 adalah ATmega328 yang mempunyai 32 KB dengan 0,5 KB digunakan untuk bootloader. ATmega 328 juga mempunyai 2 KB SRAM dan 1 KB EEPROM yang dapat dibaca dan ditulis (RW/read and written) dengan EEPROM library.

2.2.6 Motor Servo

Motor Servo Motor servo adalah motor DC yang memiliki sistem close loop. Pada dasarnya motor DC bekerja secara open loop, dimana putaran motor yang dihasilkan tidak diketahui kecepatan dan kekuatannya hingga hanya dapat digunakan pada sistem yang mencari arah perputaran dan bukan penempatan posisi. Motor servo mempunyai keluaran sebuah poros dengan torsi besar. Poros ini dapat dikontrol melalui modulasi lebar pulsa. Poros dapat diatur untuk bertahan pada posisi tertentu, berputar *clock wise* atau *counter clock wise*. Motor servo terdiri dari servo continuous dan servo standar. Motor servo continuous dapat berputar 360°, sedangkan servo standar dapat berputar 180°.

Pada penelitian ini menggunakan servo MG996R dimana servo ini mempunyai kapasitas torsi sampai 13kg.cm dengan masukan supply tegangan sebesar 7,2 volt. servo ini bekerja dengan lebih akurat, lebih cepat dan responsif, dan berdaya lebih kuat. Pada catu daya 4,8 Volt yang merupakan tegangan minimum untuk mengoperasikan motor ini, kecepatan operasi motor ini mencapai 0,17 detik untuk rotasi 60° (pada catu daya 4,8 Volt tanpa beban), dengan batas stall torque sebesar 9,4 kg.cm. Batas tegangan maksimum sebesar 7,2 Volt, namun dianjurkan untuk membatasi tegangan catu daya pada tingkat 6 Volt. Pada tegangan 6 VDC, motor ini mampu beroperasi dengan kecepatan 0,14 detik per 60° (konsumsi arus tipikal antara 500 mA ~ 900 mA) dengan batas stall torque sebesar 10 kg.cm (konsumsi arus maksimum / stall current 2,5 A)[13]. Spesifikasi motor servo MG996 [13]:

- Weight: 55g
- Dimension: L40.7mmxW19.7mmxH42.9mm
- Stall torque: 9.4kg/cm(4.8v) - 10kg/cm(6.0v)
- Gear: Metal gear set
- Operating speed: 0.19sec/60degree(4.8v) - 0.15sec/60degree(6.0v)
- Servo Plug: JR (Fits JR and Futaba)



Gambar 2. 10 Servo MG996R [13].

2.2.7 Catu Daya/ Power Supply

Catu daya mutlak dibutuhkan dalam setiap perangkat elektronika. Catu daya yang dapat mengeluarkan tegangan positif dan negatif. Tegangan yang dibutuhkan untuk power supply rangkaian adalah sebesar 5VDC untuk sistem minimum ATmega328[14].



Gambar 2. 11 Power Supply 12 Volt [14]



Gambar 2. 12 Regulator LM2596 [15].

Sumber tegangan diambil dari listrik PLN lalu masuk ke power supply 12Volt. Untuk mendapatkan tegangan 5 Volt DC, diperlukan LM2596 Buck penurunan Step Down, Integrated Circuit ini juga berfungsi untuk menstabilkan tegangan output tetap 5 Volt.



Gambar 2. 13 Buck Converter PR15 12A [15].

Buck converter merupakan salah satu jenis *switching converter* yang berfungsi menurunkan tegangan masukan sehingga tegangan keluaran akan bernilai lebih rendah. Seperti yang tampak pada Gambar 1, buck converter terdiri atas bagian switching dan filter. Bagian switching berupa switch semikonduktor dan diode flywheel atau freewheeling atau catch bekerja sebagai pemotong tegangan DC menjadi gelombang kotak yang biasa disebut sebagai DC chopper sedangkan induktor dan kapasitor membentuk low pass filter akan membuat gelombang kotak ini menjadi tegangan DC[15].

2.2.8 Sensor Warna TCS230

Pada rancang bangun lengan robot 4 DOF berbasis Arduino ini menggunakan sensor warna TCS 230 untuk mendeteksi warna pada barang yang akan dipindahkan dengan lengan robot 4 DOF ini dengan menggunakan invers kinematik[16].



Gambar 2. 14 Sensor Warna TCS230 [16]

Sensor warna TCS230 adalah sensor warna yang digunakan untuk pendeteksi suatu objek benda atau warna dari objek yang di monitor. Sensor warna TCS230 juga dapat digunakan sebagai sensor gerak, dimana sensor mendeteksi gerakan suatu objek berdasarkan perubahan warna yang diterima oleh sensor. Pada dasarnya sensor warna TCS230 merupakan konverter yang diprogram untuk mengubah warna menjadi frekuensi yang tersusun atas konfigurasi *silicon photodiode* dan konverter arus ke frekuensi dalam IC CMOS monolithic yang tunggal. Keluaran dari sensor ini adalah gelombang kotak (duty cycle 50%) frekuensi yang berbanding lurus dengan intensitas cahaya (irradiance). Keluaran frekuensi skala penuh dapat diskalakan oleh satu dari tiga nilai-nilai yang ditetapkan via dua kontrol pin *input*.

2.2.9 Sensor Ultra sonic HC-SR04

Pada rancang bangun lengan robot 4 DOF ini juga menggunakan sensor ultrasonic HC-SR04 untuk mendeteksi jarak benda yang akan dipindahkan ke koordinat yang telah ditentukan dengan menggunakan rumus invers kinematik.



Gambar 2. 15 Sensor Ultrasonic HC-SR04[17].

Sensor ini dapat mengukur jarak antara 3 cm sampai 400 cm. keluaran dari sensor ini berupa pulsa yang lebarnya merepresentasikan jarak. Lebar pulsanya bervariasi dari 115 uS sampai 18,5 mS. Pada dasarnya, Ultra sonic ini terdiri dari sebuah chip pembangkit sinyal 40KHz, sebuah speaker ultrasonic dan sebuah mikropon ultrasonic. Speaker ultrasonic mengubah sinyal 40 KHz menjadi suara sementara mikropon ultrasonic berfungsi untuk mendeteksi pantulan suaranya. Secara utuh gambaran cara kerja dari sensor ultra sonic adalah sebagai berikut:

$$S = (t_{IN} \times V) \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana :

S = Jarak antara sensor dengan objek

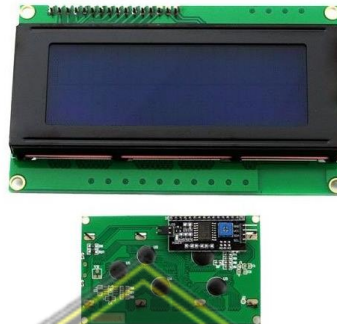
V=Cepat rambat gelombang (m/s)

tIN=Selisih pancaran dan penerimaan pantulan gelombang[18].

2.2.10 Liquid cristal display (LCD)

LCD (Liquid Cristal Display) adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk menampilkan karakter, LCD pada dasarnya terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian Backlight (Lampu Latar Belakang) dan bagian Liquid Crystal (Kristal Cair). LCD tidak memancarkan pencahayaan apapun, LCD hanya merefleksikan dan mentransmisikan cahaya yang melewatinya. Oleh karena itu, LCD memerlukan Backlight atau Cahaya latar belakang untuk sumber cahayanya. Cahaya Backlight tersebut pada umumnya adalah berwarna putih. Sedangkan Kristal Cair (Liquid Crystal) sendiri adalah cairan

organik yang berada diantara dua lembar kaca yang memiliki permukaan transparan yang konduktif [19].

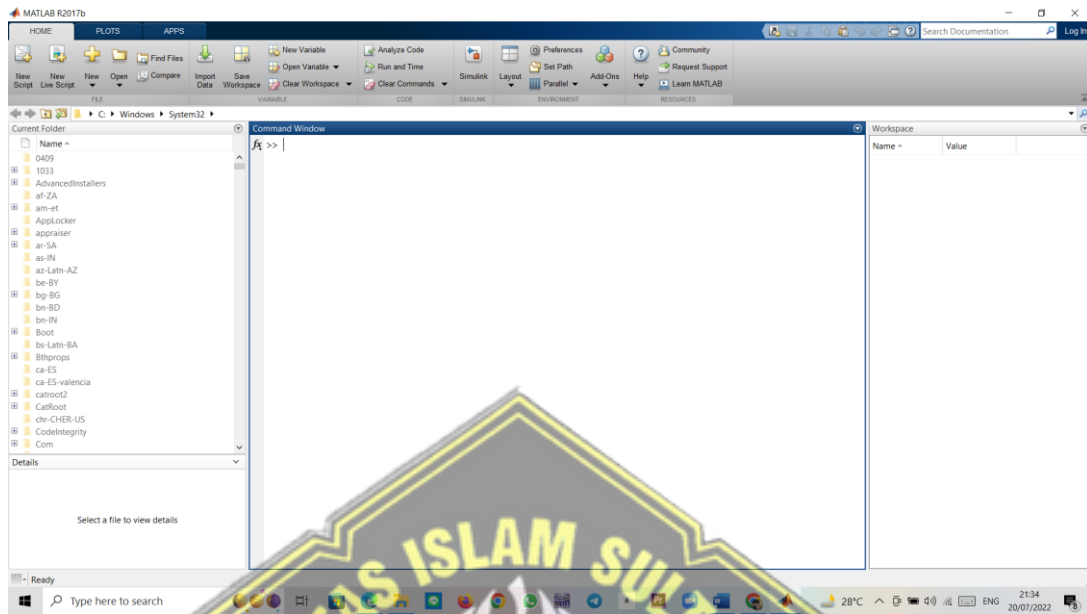


Gambar 2. 16 Lcd 20x4 dan I2c [19].

Dengan tambahan perangkat I2C (Inter Integrated Circuit) yang merupakan standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didisain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I2C terdiri dari saluran SCL (Serial Clock) dan SDA (Serial Data) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya.

2.2.11 Matlab

MATLAB merupakan kependekan dari MATrix LABoratory dikarenakan setiap data pada MATLAB menggunakan dasar matriks. MATLAB adalah bahasa pemrograman tinggi, tertutup, dan case sensitive dalam lingkungan komputasi numerik yang dikembangkan oleh MathWorks. Salah satu kelebihanannya yang paling populer adalah kemampuan membuat grafik dengan visualisasi terbaik. MATLAB mempunyai banyak tools yang dapat membantu berbagai disiplin ilmu. Ini merupakan salah satu penyebab industri menggunakan MATLAB. Selain itu MATLAB mempunyai banyak library yang sangat membantu untuk menyelesaikan permasalahan matematika seperti membuat simulasi fungsi, pemodelan matematika dan perancangan GUI[20].



Gambar 2. 17 Tampilan awal Matlab 2017b.



BAB III

METODOLOGI PERANCANGAN

3.1 Deskripsi perancangan

Pada bab ini membahas beberapa tahapan metodologi penelitian. Pertama perancangan perangkat keras (*Hardware*) yang meliputi pembuatan breaket sebagaiudukan servo yang digunakan sebagai motor penggerak, kemudian menggunakan sensor warna TCS230 untuk mendeteksi benda yang akan dipindahkan dan juga menggunakan sensor ultrasonic HC-SR04 untuk menentukan jauh dekatnya benda yang akan dipindahkan, kemudian membuat sismin elektronik dan instalasi kabel ke *power supply*. Kedua perancangan perangkat lunak (*software*) yang meliputi pembuatan program pada Arduino kemudian juga menggunakan matlab sebagai analisa dari rumus invers kinematik. cara kerja dari lengan robot 4 DOF ini adalah ketika sensor jarak mendeteksi benda dan juga sensor warna mendeteksi warna benda maka lengan robot akan bergeser dari posisi awal menuju ketempat benda berada dan akan memindahkannya ke tempat yang telah ditentukan. Kemudian matlab digunakan sebagai analisa apakah ada error maupun perhitungan yang kurang tepat.

3.2 Metode Alur Penelitian

Dari flowchart dibawah ini bisa dijabarkan Metode perancangan peneltian antara lain sebagai berikut ini:

1. Studi Literatur

Studi literatur rancang bangun lengan robot 4 DOF ini yakni mempelajari konsep, ilmu dan teori-teori yang berhubungan sekaligus sebagai pedoman dalam menyelesaikan perancangan tugas akhir. Dimana semua ilmu dan teorinya diambil melalui beberapa jurnal, buku, maupun penelitian yang sudah pernah dilakukan diantaranya seperti teori-teori tentang lengan robot, invers kinematik, sensor warna TCS230, sensor ultrasonic HC-SR04, servo mg996r yang dapat mendukung tugas akhir ini.

2. Perumusan Masalah

Merupakan perumusan masalah atau menentukan masalah yang diangkat sebagai tujuan pembahasan dalam penelitian perancangan ini dan juga agar dapat dikembangkan untuk melengkapi penelitian yang sebelumnya telah dilakukan maupun sebagai bahan informasi untuk penelitian yang akan datang.

3. Perancangan Alat

Merupakan kegiatan pembuatan alat baik dalam bentuk *Hardware* (perangkat keras) dalam hal ini kerangka lengan robot 4 DOF dengan plat aluminium dengan tebal 2mm untuk *bracket*udukan servo, kemudian rangkaian sismin untuk Arduino R3 dan juga instalasi dengan sensor sensor yang akan digunakan yakni sensor Sensor *Ultrasonic* HC-SR04 dan juga sensor warna TCS230 dan juga melakukan perancangan *software* (perangkat lunak) dalam hal ini adalah pemrograman menggunakan *software* Arduino ide dan disimulasikan dengan *software* matlab 2017b.

4. Pengujian Alat

Merupakan kegiatan pengujian dan memastikan apakah semua komponen yang sudah dirancang sudah bekerja dengan baik dan benar sehingga bisa dijalankan sesuai rencana.

5. Analisa Hasil dan Pembahasan

Merupakan kegiatan menganalisa hasil dari pengujian yang telah dilakukan dan membandingkan dengan hasil perhitungan yang telah ditentukan.

6. Kesimpulan Dan Saran

Merupakan kegiatan pengambilan kesimpulan terhadap perancangan alat yang telah dibuat, diuji dan dianalisa kemudian memberikan saran terhadap penelitian selanjutnya sehingga bisa dijadikan sumbangan pemikiran yang nantinya akan berdampak baik bagi kemajuan Lab Robotik Unissula.



Gambar 3. 1 Flowchart Metode Alur Penelitian

3.3 Alat dan Bahan

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan

No	Nama Alat	Deskripsi
1.	Sebuah Laptop	Asus X555ua i7 8GB RAM 6500U 2.6Ghz skylake gen /intel HD 520/15.6 inc LED anti glare FHD/1920 X 1080 FHD resolution/HD webcam/wifi/bluetooth/hdmi/usb 3.0/dvd super multi
2.	Power Supply	AC input: 110/220, DC output 12V, 10 A, dimensi 20x9,6x5cm
3.	5 buah servo	Type mg996r Weight: 55 g, Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm, Stall torque: 9.4 kgfcm (4.8 V), 11 kgfcm (6 V), Degree: max 180 degrees servo rotation, Operating speed: 0.17 s/60 (4.8 V), 0.14 s/60 (6 V), Operating voltage: 5V - 7.2 V, Running Current 500 mA - 900 mA

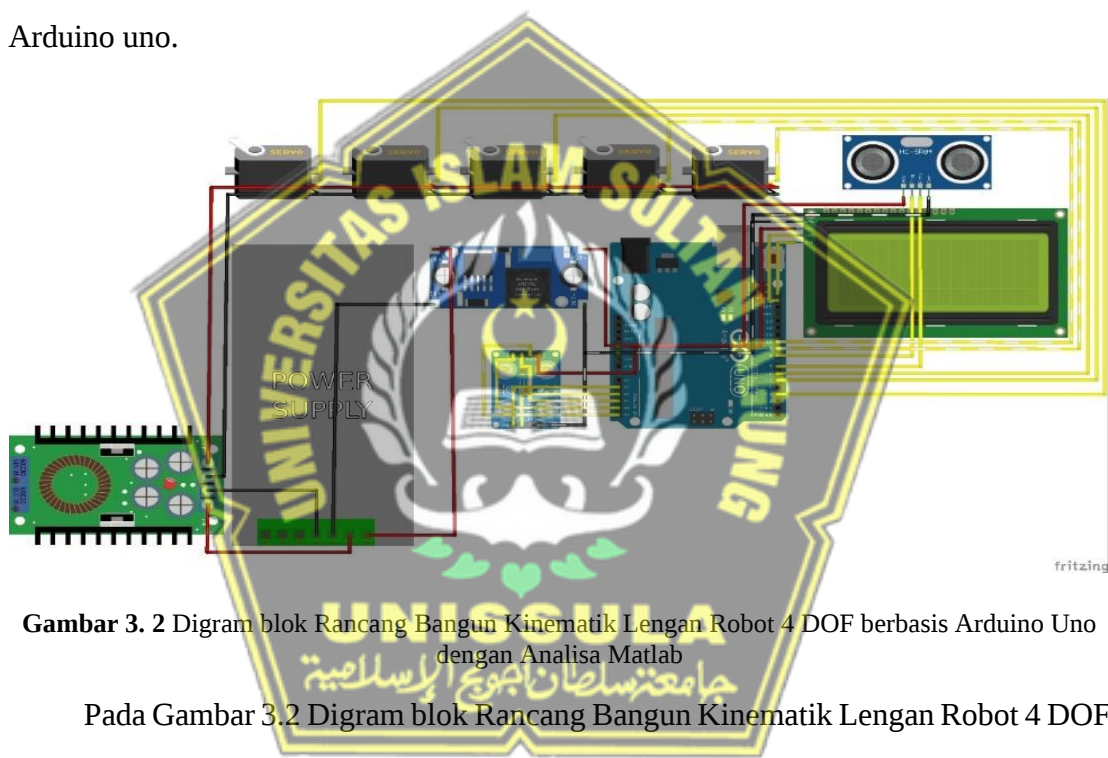
Lanjutan Tabel 3.1

No	Nama Alat	Deskripsi
4.	Sensor <i>Ultrasonic</i>	Type HC-SR04, Tegangan: 5V DC, Arus statis: < 2mA, Level output: 5v - 0V, sensor: < 15 derajat, Jarak yg bisa dideteksi: 2cm - 450cm (4.5m), Tingkat keakuratan: up to 0.3cm (3mm)
5.	Sensor warna	Type TCS230, Chip: TCS3200 Input voltage: DC 3 ~ 5V Output frequency voltage: 0 ~ 5V Use bright white LED lights Can be connected directly with Microcontroller Static detection of the measured object color Best detection distance: 1 cm Size: 3.3x3.3x2.5cm(approx)
6.	Buck converter	Type LM2596 Module properties: non-isolated step-down(BUCK), Rectification: the synchronous rectifier, Input voltage: 4V-35V, Output voltage: 1.25-30V, Output current: 3A (max), Conversion efficiency: 92% (highest), Output ripple: 30mV, Load regulation: 0.5%, Voltage Regulation: 2.5%, PR 15
7.	Sismin pcb	Single layer
8.	Mikrokontroler	Arduino Uno R3, Microcontroller : ATmega328P, Operating Voltage : 5V, Input Voltage (recommended) : 7-12V, Input Voltage (limit) : 6-20V, Digital I/O Pins : 14 (of which 6 provide PWM output), PWM Digital I/O Pins : 6, Analog Input Pins : 6, DC Current per I/O Pin : 20 mA, DC Current for 3.3V Pin 50 mA, Flash Memory : 32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader, SRAM : 2 KB (ATmega328P), EEPROM : 1KB (ATmega328P), Clock Speed : 16 MHz, Length : 68.6 mm, Width : 53.4 mm
9.	Software Arduino IDE	Versi 1.8.19
10.	Softwae Matlab	Versi 2017b
11.	Papan kayu	Ukuran 52cm x 55cm
12.	Kabel jumper	Male to female

3.4 Alur Perancangan Alat

3.4.1 Diagram Blok Sistem Perancangan *Hardware*

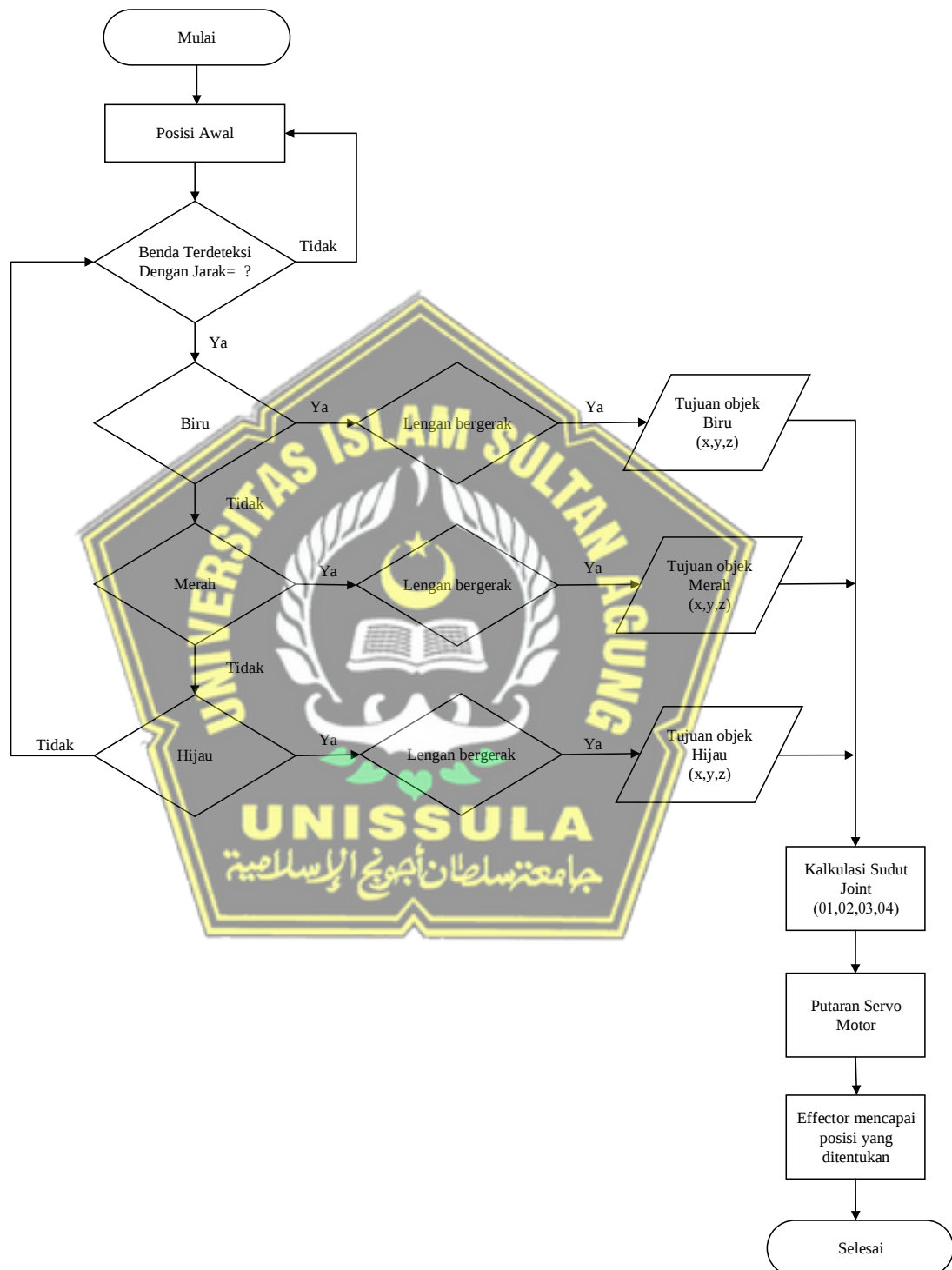
Pada perancangan Rancang Bangun Kinematik Lengan Robot 4 DOF Berbasis Arduino dengan Analisa Matlab ini ada beberapa bagian diagram blok yaitu: power supply yang mendapat sumber dari listrik pln kemudian di turunkan tegangannya melalui buck converter lalu menuju mikro Arduino dan diteruskan ke sensor dan juga untuk menggerakkan ke lima buah servo dengan memasukan program ke mikro Arduino uno.



Gambar 3. 2 Digram blok Rancang Bangun Kinematik Lengan Robot 4 DOF berbasis Arduino Uno dengan Analisa Matlab

Pada Gambar 3.2 Digram blok Rancang Bangun Kinematik Lengan Robot 4 DOF berbasis Arduino Uno dengan Analisa Matlab diatas dijelaskan bahwa sumber utamanya adalah 12 V dari power supply yang kemudian diturunkan tegangannya menjadi 6 V untuk metriger 5 buah servo, dan juga dari 12 V diturunkan menjadi 5 V untuk menyuplai Arduino uno kemudian pada sensor tersebut membutuhkan 3,3 V yang diambil dari pin Arduino. Dan untuk melihat output warna dan jarak ditambahkan LCD 20 x 4 dengan kelengkapan I2C.

3.4.2 Flowchart Sistem



Gambar 3. 3 Flowchart Sistem Program

Pada saat awal mulai maka sensor jarak akan mendeteksi benda kemudian jika benda terdeteksi maka sensor warna akan mendeteksi warnanya, jika warna terdeteksi maka servo akan bergeak dan mengambil benda kemudian menempatkan ke posisi yang sudah ditentukan dan ketika sudah selesai menjalankan semua program maka *effector* akan kembali ke posisi awal. Gambar 3. adalah *flowchart* sistem dari kinerja rancang bangun kinematik lengan robot 4 DOF berbasis Arduino uno dengan analisa matlab sebagai pembelajaran di lab robotic FTI Unissula.

3.4.3 Perancangan Software

3.4.3.1. Perancangan Program pada Arduino IDE

Arduino IDE merupakan software yang digunakan untuk memprogram agar masukan data dari sensor yang digunakan dapat diolah kemudian bisa menggerakkan aktuator yang berupa motor servo dengan perhitungan invers kinematik yang sudah ditulis ke dalam program Arduino kemudian dianalisa apakah pergerakan motor servo dengan program yang dibuat sudah sesuai dengan aktualnya sehingga jika terdapat *error* maka bisa digunakan sebagai koreksi untuk memperbaiki programnya lagi.



```

1 // RANCANG BANGUN KINEMATI LEMANG ROBOT 4 DOF BERBASIS ARDUINO UNO
2 // DENGAN SIKULAS2 MATLAB SEBAGAI PEMBELAJARAN DI LAB ROBOTIK UNISSULA
3 // FREQU.C
4 // RANCANG BANGUN KINEMATI LEMANG ROBOT 4 DOF BERBASIS ARDUINO UNO
5 // PROGRAM DI TENGAH PERKULIAHAN TEKNOLOGI INDUSTRI
6 // UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEPANGKANG
7
8
9
10 #include <Servo.h>
11 #include <math.h>
12
13 //pin sensor HC-SR05 ultrasonic
14 #define pin Echo 7
15 #define pin Trigger 8
16
17 //pin sensor warna TCS230
18 #define S0 A1
19 #define S1 A2
20 #define S2 A3
21 #define S3 A4
22 #define SensorOut A5
23
24 long Time; // untuk waktu ultrasonic sensor
25 float Distance; // untuk jarak benda terhadap sensor ultrasonic
26
27 int mapped_red_freq;
28 int mapped_green_freq;
29 int mapped_blue_freq;
30 int RED;
31 int GREEN;
32 int BLUE;
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

Gambar 3. 4 Tampilan Program Arduino

Dan dibawah ini merupakan kutipan program yang sudah dibuat dengan menggunakan software Arduino IDE, yakni:

- Menambahkan file Header pada program

```
#include <Servo.h>
#include <math.h>
```

- Menentukan Pin komunikasi dengan pin Arduino

```
//pin Sensor HC-SR04 ultrasonic
#define pinEcho 7
#define pinTrigger 8

//pin Sensor warna TCS230
#define S0 A1
#define S1 A2
#define S2 A3hs
#define S3 A4
#define SensorOut A5

long Time; // untuk waktu ultrasonic sensor
float Distance; // untuk jarak benda terhadap sensor ultrasonic

int mapped_red_freq;
int mapped_green_freq;
int mapped_blue_freq;
int RED;
int GREEN;
int BLUE;

Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo servo4;
Servo gripper;
```

```

float Pi = 3.141592653589793;
float Yoffset;
float D;
float d;
float R;
float L1 = 64.50;
float L2 = 105.00;
float L3 = 98.50;
float L4 = 115.00;

```

```

float X_End_Effector;
float Y_End_Effector;
float Z_End_Effector;

```

```

int pin_servo1 = 3;
int pin_servo2 = 5;
int pin_servo3 = 6;
int pin_servo4 = 9;
int pin_gripper = 10;

```

```

float alpha_1;
float alpha_2;
float Theta_2;
float Theta_4;
float Theta_1;
float Theta_3;

```



- Membuat void rumus yang nantinya akan dipanggil ketika menjalankan program

```

void Rumus_INVERS_KINEMATIK()
{
    if (X_End_Effector > 0 && Y_End_Effector >= L1)
    {
        D = sqrt(pow(X_End_Effector,2) + pow(Z_End_Effector,2));
        Theta_1 = (atan(Z_End_Effector/X_End_Effector))*(180.00/Pi);
    }
    //Theta_1
}

```

```

d = D - L4;
Yoffset = Y_End_Effector - L1;
R = sqrt(pow(d,2) + pow(Yoffset,2));
alpha_1 = (acos(d/R))*(180.00/Pi);
alpha_2 = (acos((pow(L2,2) + pow(R,2) -
pow(L3,2))/(2*L2*R)))*(180.00/Pi);
Theta_2 = (alpha_1 + alpha_2); //Theta_2
Theta_3 = ((acos(pow(L2,2) + pow(L3,2) -
pow(R,2))/(2*L2*L3)))*(180.00/Pi); //Theta_3
Theta_4 = 180.00 - ((180.00 - (alpha_2 + Theta_3)) - alpha_1);
//Theta_4
}
else if (X_End_Effector > 0 && Y_End_Effector <= L1)
{
D = sqrt(pow(X_End_Effector,2) + pow(Z_End_Effector,2));
Theta_1 = (atan(Z_End_Effector/X_End_Effector))*(180.00/Pi);
//theta 1
d = D - L4;
Yoffset = Y_End_Effector - L1;
R = sqrt(pow(d,2) + pow(Yoffset,2));
alpha_1 = (acos(d/R))*(180.00/Pi);
alpha_2 = (acos((pow(L2,2) + pow(R,2) -
pow(L3,2))/(2*L2*R)))*(180.00/Pi);
Theta_2 = (alpha_2 - alpha_1); //theta 2
Theta_3 = ((acos((pow(L2,2) + pow(L3,2) -
pow(R,2))/(2*L2*L3)))*(180.00/Pi)); //theta 3
Theta_4 = 180.00 - ((180.00 - (alpha_2 + Theta_3)) + alpha_1);
//theta 4
}

```

Lanjutan void rumus yang nantinya akan dipanggil ketika menjalankan program dimasukkan kedalam Lampiran.

- Setelah membuat void rumus setelah itu membuat void setup, disini void setup digunakan untuk mengatur posisi awal sebelum program berjalan terus menerus.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pinTrigger, OUTPUT);
  pinMode(pinEcho, INPUT);
  pinMode(S0, OUTPUT);
  pinMode(S1, OUTPUT);
  pinMode(S2, OUTPUT);
  pinMode(S3, OUTPUT);
  pinMode(SensorOut, INPUT);
  digitalWrite(S0, HIGH);
  digitalWrite(S1, LOW);
}
```

- Membuat *body* program yang akan dilakukan perulangan secara terus menerus selama alat berjalan, pada Arduino IDE program tersebut ditulis pada void loop.

```
void loop()
{
  digitalWrite(pinTrigger, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(pinTrigger, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(pinTrigger, LOW);
  Time = pulseIn(pinEcho, HIGH);
  Distance = Time*0.034/2;
  //Serial.print("Distance = ");
  //Serial.println(Distance);
  //filter Red
  digitalWrite(S2, LOW);
  digitalWrite(S3, LOW);
  mapped_red_freq = pulseIn(SensorOut, LOW);
  RED = map(mapped_red_freq, 144, 340, 0, 512 );
}
```

```

Serial.print("R= ");
Serial.print(mapped_red_freq);
Serial.print(" ");
delay(10);

//filter Green
digitalWrite(S2,HIGH);
digitalWrite(S3,HIGH);
mapped_green_freq = pulseIn(SensorOut,LOW);
GREEN = map(mapped_green_freq,200,350,0,512);
Serial.print("G= ");
Serial.print(mapped_green_freq);
Serial.print(" ");
delay(10);

//filter Blue
digitalWrite(S2,LOW);
digitalWrite(S3,HIGH);
mapped_blue_freq = pulseIn(SensorOut,LOW);
BLUE = map(mapped_blue_freq,175,320,0,512);
Serial.print("B= ");
Serial.print(mapped_blue_freq);
Serial.println(" ");
delay(10);

if(Distance > 7.00)
{
    gripper.write(150);
    delay(200);
    X_End_Effector = 180.00;
    Z_End_Effector = 10.00;
    Y_End_Effector = 150.00;
    Rumus_INVERS_KINEMATIK();
    servo1.write(Theta_1);
    servo2.write(Theta_2);
}

```

```

        servo3.write(Theta_3);
        servo4.write(Theta_4 - 45.00);
        delay(100);
    }
    else if(Distance <= 7.00 && mapped_blue_freq < 150 &&
mapped_red_freq > 150 && mapped_green_freq > 150)//blue object
detected
    {
        gripper.write(90);
        for(Y_End_Effector = 150.00; Y_End_Effector >= 40.00;
Y_End_Effector -= 0.10)
        {
            X_End_Effector = 180.00;
            Z_End_Effector = 10.00;
            Rumus_INVERS_KINEMATIK();
            servo1.write(Theta_1);
            servo2.write(Theta_2);
            servo3.write(Theta_3);
            servo4.write(Theta_4 - 45.00);
            delayMicroseconds(100);
        }
        delay(300);
    }

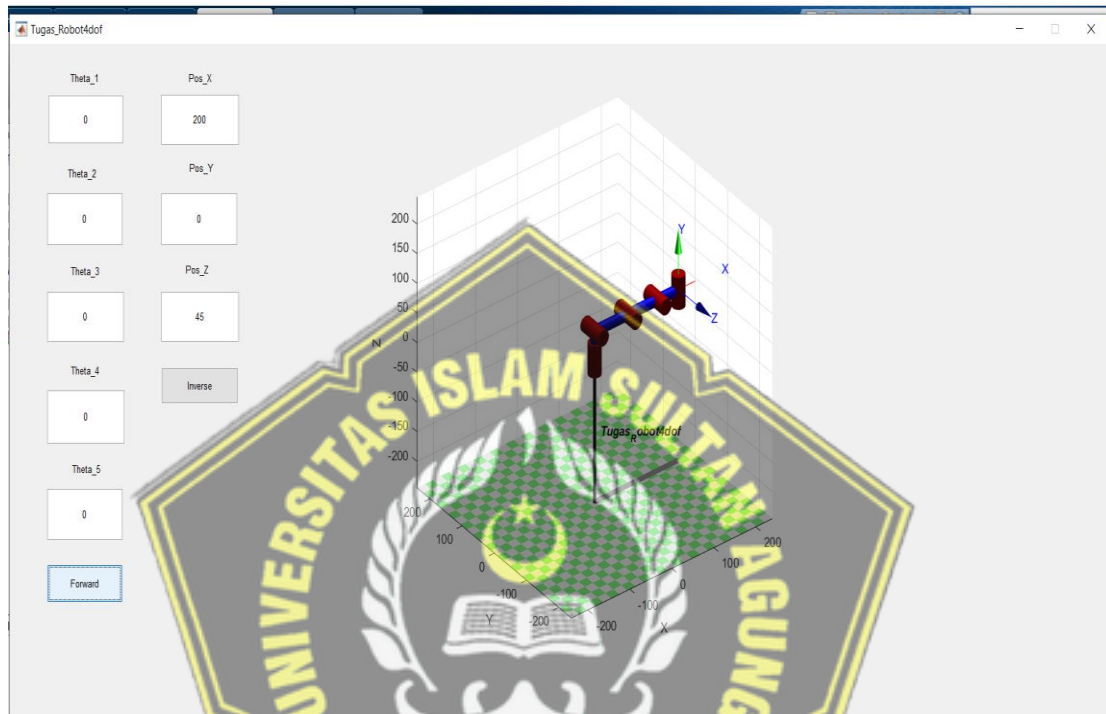
```

Lanjutan void loop yang nantinya akan dipanggil ketika menjalankan program dimasukkan kedalam Lampiran

3.4.3.2. Perancangan GUI pada Matlab

Matlab GUI pada Tugas Akhir ini digunakan untuk menganalisa dengan cara membuat GUI (*Grafical Unit Interface*) yang nantinya bisa disimulasikan dan hasilnya bisa dibandingkan dengan hasil keluaran dari program Arduino dan berfokus pada Invers Kinematik. simulasi menggunakan 4 buah servo dengan mengatur $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ dan juga terdapat tombol Posisi X, Posisi Y dan Posisi Z serta ada juga

tombol sebagai *Forward* dan juga *Invers*. dan pada simulasi ini hanya simulasi sederhana karena topik Tugas akhir ini berfokus pada program Arduino IDE.



Gambar 3.5 Tampilan pada simulasi Matlab

Dan dibawah ini adalah kutipan program yang sudah dibuat pada *software* Matlab dalam bentuk m-file:

```
function varargout = Tugas_Robot4dof(varargin)
% --- Executes on button press in btn_Forward.
function btn_Forward_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btn_Forward (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
Th_1 = str2double(handles.Theta_1.String)*pi/180;
Th_2 = str2double(handles.Theta_2.String)*pi/180;
Th_3 = str2double(handles.Theta_3.String)*pi/180;
Th_4 = str2double(handles.Theta_4.String)*pi/180;
```

```

Th_5 = str2double(handles.Theta_5.String)*pi/180;

L_1 = 65;
L_2 = 105;
L_3 = 98;
L_4 = 115;
L_5 = 0;

L(1) = Link([0 L_1 0 pi/2]);
L(2) = Link([0 0 L_2 0]);
L(3) = Link([0 0 L_3 0]);
L(4) = Link([0 0 L_4 -pi/2]);
L(5) = Link([0 0 L_5 pi/2]);
Robot = SerialLink(L);
Robot.name = 'Tugas_Robot4dof';
Robot.plot([Th_1 Th_2 Th_3 Th_4 Th_5]);

T = Robot.fkine([Th_1 Th_2 Th_3 Th_4 Th_5]);
handles.Pos_X.String = num2str(floor(T.t(1)));
handles.Pos_Y.String = num2str(floor(T.t(2)));
handles.Pos_Z.String = num2str(floor(T.t(3)));0

% --- Executes on button press in btn_Inverse.
function btn_Inverse_Callback(hObject,eventdata, handles)
% hObject    handle to btn_Inverse (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
PX = str2double(handles.Pos_X.String);
PY = str2double(handles.Pos_Y.String);
PZ = str2double(handles.Pos_Z.String);
L_1 = 65;
L_2 = 105;
L_3 = 98;
L_4 = 115;

```

```

L_5 = 0;

L(1) = Link([0 L_1 0 pi/2]);
L(2) = Link([0 0 L_2 0]);
L(3) = Link([0 0 L_3 0]);
L(4) = Link([0 0 L_4 -pi/2]);
L(5) = Link([0 0 L_5 pi/2]);

Robot = SerialLink(L);
Robot.name = 'Tugas_Robot4dof';
T = [ 1 0 0 PX;
      0 1 0 PY;
      0 0 1 PZ;
      0 0 0 1];
J = Robot.ikine(T,[0 0 0], 'mask',[1 1 1 0 0 0])*180/pi;
handles.Theta_1.String = num2str(floor(J(1)));
handles.Theta_2.String = num2str(floor(J(2)));
handles.Theta_3.String = num2str(floor(J(3)));
handles.Theta_4.String = num2str(floor(J(3)));
handles.Theta_5.String = num2str(floor(J(3)));
Robot.plot(J*pi/180);

```

3.5 Pengujian Dan Pengambilan Data

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan dapat mengetahui fungsi dan kinerja alat yang telah di rancang, dengan melakukan pengujian pada setiap fungsi hardware dan software sesuai dengan rencana perancangan.

3.5.1 Pengujian hardware

Pegujian hardware dilakukan agar dapat mengetahui kinerja dari hardware yang digunakan dalam perancangan, pengujian ini terdiri dari pengujian sensor warna dan sensor ultrasonic.

1. Pada pengujian Sensor warna, penulis akan melakukan percobaan dengan mencocokkan benda yang berwarna merah, hijau dan biru ke sensor warna. Apakah

terjadi error apa tidak. Pengujian akan dilakukan sebanyak lima kali kemudian diambil datanya.

2. Pengujian pada sensor ultrasonic, penulis akan melakukan percobaan dengan menghitung jarak pada bagian depan sensor ultrasonic terhadap jarak objek yang ada di depan sensor, tujuan dari pengujian ini agar data yang di dapatkan sesuai dengan program yang dibuat. Pengujian ini akan dilakukan sebanyak lima kali kemudian diambil datanya

3.5.2 Pengujian Software

Pengujian pada software dilakukan dengan simulasi program GUI yang dibuat pada matlab kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan keluaran dari program Arduino



BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini menyajikan analisa dari pengujian dan perbandingan antara hasil dari keluaran dari program Arduino uno untuk menggerakkan 4 DOF lengan robot dengan tambahan *gripper* dengan adanya sinyal masukan dari sensor warna TCS230 dan sensor jarak HCSR-04 dan juga hasil dari simulasi dari GUI yang dirancang pada *software* matlab, kemudian juga pada kedua sensor dilakukan pengamatan apakah terjadi error atau tidak. Dalam pengujian dan analisa ini dilakukan dengan melihat dua tahap yakni dari pengujian *Hardware* dan juga dari pengujian *Software*.

4.1 Pengujian Hardware

Pada pengujian ini perangkat akan diuji dengan membandingkan data pemrograman dengan data aktual yang ada pada alat. Pengujian ini dilakukan agar dapat mengetahui kinerja dari hardware yang sudah dibuat, pengujian ini akan dilakukan pada lengan robot 4 DOF dan *gripper* sebagai penjepit dan sensor ultrasonic SR-HC04 dengan memeriksa jarak respon sensor tersebut, pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil yang didapatkan dari pemrograman dan pengukuran fisik dengan mistar. Dan juga untuk sensor warna TCS230 dilakukan percobaan pergantian warna terhadap program untuk melihat apakah program dapat bekerja dengan baik.

4.1.1 pengujian sensor HC-SR04

Pada pengujian ini dilakukan dengan memasang objek benda pada posisi yang telah ditentukan dan memasang sensor HC-SR04, objek benda dipasang sejauh 7 cm dari titik sensor HC-SR04 kemudian dijauhkan secara beruntut dari jarak 4 cm, 5 cm, 6 cm, 6,5 cm, 7,5 cm, 8 cm, 9 cm, 10 cm, 11 cm dan 12 cm dan dianalisa apakah lengan robot akan tetap bergerak meskipun jarak objek benda dijauhkan dari sensor jarak HC-SR04 yang posisi tetapnya diatur pada jarak 7 cm dari posisi sensor jarak HC-

SR04 itu sendiri dan diamati apakah terdapat *error* atau tidak dari pengujian sensor HC-SR04 ini.

Tabel 4. 1 pengujian jarak sensor HC-SR04

Percobaan Ke	Jarak	Respon Lengan Robot
1	4 cm	Benda terdeteksi, lengan tidak bergerak
2	5 cm	Benda terdeteksi, lengan tidak bergerak
3	6 cm	Benda terdeteksi, lengan tidak bergerak
4	6,5 cm	Benda terdeteksi, lengan bergerak
5	7 cm	Benda terdeteksi, lengan bergerak
6	7,5 cm	Benda terdeteksi, lengan tidak bergerak
7	8	Benda terdeteksi, lengan tidak bergerak
8	9	Benda terdeteksi, lengan tidak bergerak
9	10	Benda terdeteksi, lengan tidak bergerak
10	11	Benda terdeteksi, lengan tidak bergerak
11	12	Benda terdeteksi, lengan tidak bergerak

Pada **Tabel 4.1** pengujian jarak sensor HC-SR04 telah dilakukan percobaan sebanyak 11 kali dimana posisi tetapnya diatur pada jarak 7 cm kemudian dijauhkan bertahap setiap 1 cm sampai jarak yang terakhir yaitu pada jarak 12 cm, dan hasilnya selain pada jarak 7 cm lengan robot tidak bergerak meskipun warna objek pada benda terdeteksi, hal ini menandakan bahwa program arduinonya bisa berjalan dengan benar.

4.1.2 pengujian Sensor Warna TCS 230

Pada pengujian sensor warna TCS 230 dimana pengujian ini dilakukan dengan memasang objek yang sudah diberi warna dengan jarak 7 cm, kemudian sensor warna ini akan mendeteksi warna pada objek benda yang sesuai dengan klasifikasinya, dan setelah itu objek benda akan diletakkan di tempat yang sudah ditentukan sesuai dengan warnanya, yaitu pada posisi warna merah, posisi warna hijau dan yang ketiga pada

posisi warna biru . Ada 7 warna dalam pengambilan data pada pengujian sensor warna TCS 230 ini yaitu warna RGB (*red* atau merah, *Green* atau hijau, *Blue* atau biru), kemudian selain warna RGB ada juga warna kuning, hitam, pink atau merah muda dan juga putih

Tabel 4. 2 Pengujian Objek warna benda

Percobaan Ke	Jarak	Warna Benda	Respon Lengan Robot
1	4cm	Merah	Tidak Bergerak
		Biru	Tidak Bergerak
		Hijau	Tidak Bergerak
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak
2	5cm	Merah	Tidak Bergerak
		Biru	Tidak Bergerak
		Hijau	Tidak Bergerak
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak
3	6cm	Merah	Tidak Bergerak
		Biru	Tidak Bergerak
		Hijau	Tidak Bergerak
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak

Percobaan Ke	Jarak	Warna Benda	Respon Lengan Robot
4	6,5cm	Merah	Lengan bergerak mengambil objek Merah
		Biru	Lengan bergerak mengambil objek Biru
		Hijau	Lengan bergerak mengambil objek Hijau
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak
5	7cm	Merah	Lengan bergerak mengambil objek Merah
		Biru	Lengan bergerak mengambil objek Biru
		Hijau	Lengan bergerak mengambil objek Hijau
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak
6	7,5cm	Merah	Tidak Bergerak
		Biru	Tidak Bergerak
		Hijau	Tidak Bergerak
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak
7	8cm	Merah	Tidak Bergerak
		Biru	Tidak Bergerak
		Hijau	Tidak Bergerak
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak

Percobaan Ke	Jarak	Warna Benda	Respon Lengan Robot
8	9cm	Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak
		Merah	Tidak Bergerak
		Biru	Tidak Bergerak
		Hijau	Tidak Bergerak
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
9	10cm	Putih	Tidak Bergerak
		Merah	Tidak Bergerak
		Biru	Tidak Bergerak
		Hijau	Tidak Bergerak
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak
10	11cm	Merah	Tidak Bergerak
		Biru	Tidak Bergerak
		Hijau	Tidak Bergerak
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak
		Merah	Tidak Bergerak
11	12cm	Biru	Tidak Bergerak
		Hijau	Tidak Bergerak
		Merah	Tidak Bergerak

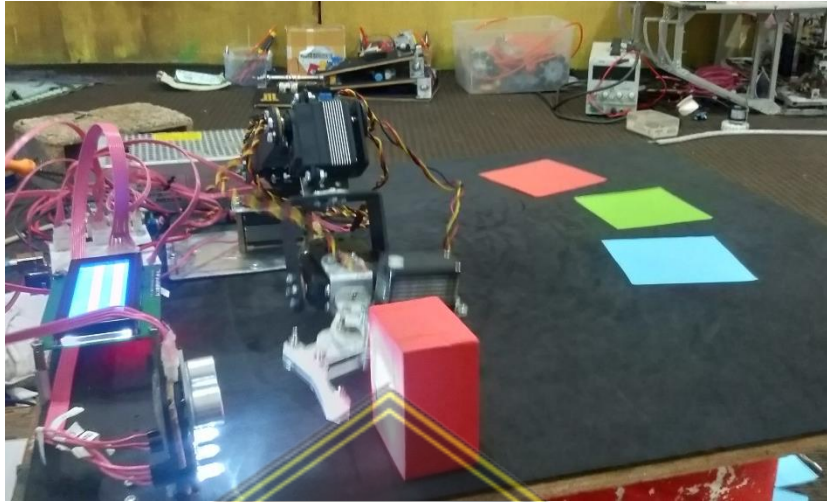
Percobaan Ke	Jarak	Warna Benda	Respon Lengan Robot
		Kuning	Tidak Bergerak
		Hitam	Tidak Bergerak
		Pink	Tidak Bergerak
		Putih	Tidak Bergerak

Pada **Tabel 4.2** pengujian sensor warna TCS 230 dimana pengujian ini dilakukan dengan memasang objek yang sudah diberi warna dengan jarak 7 cm, kemudian sensor warna ini akan mendeteksi warna pada objek benda yang sesuai dengan klasifikasinya dan pada Tabel 4.2 menghasilkan hanya warna RGB (*red* atau merah, *Green* atau hijau, *Blue* atau biru), saja yang terdeteksi dan dapat menggerakkan lengan robot.



Gambar 4. 1 posisi *standby*

Setelah posisi *standby* maka ketika objek benda diletakkan pada jarak 7 cm kemudian sensor warna mendeteksi warna merah maka lengan robot akan bergerak dari posisi *standby* menuju ke objek untuk mengambilnya.



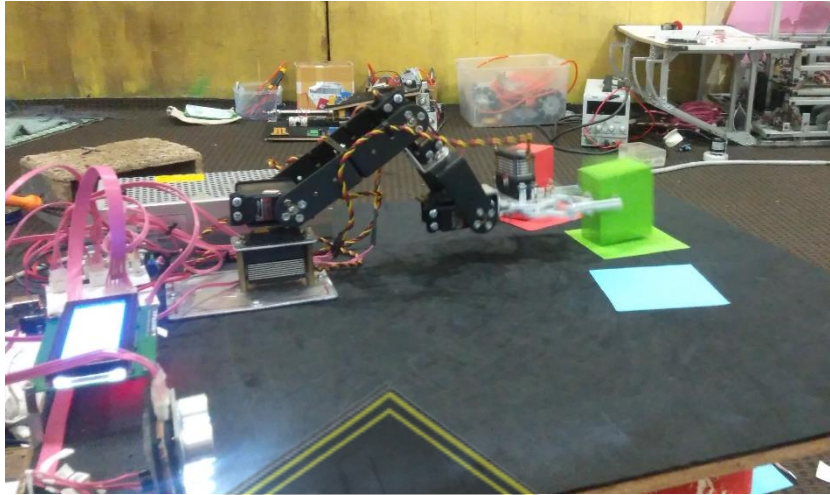
Gambar 4. 2 posisi ketika mengambil objek berwarna merah

Setelah *gripper* menjapit objek maka lengan akan bergerak menuju tempat untuk meletakkan objek berwarna merah pada tempat yang sudah ditentukan.



Gambar 4. 3 posisi meletakkan objek berwarna merah sesuai dengan warna tempatnya

Dan begitu seterusnya sampai pengujian warna terakhir yaitu warna putih, akan tetapi untuk warna selain RGB (*Red, Green, Blue*) lengan robot tidak merespon sehingga tetap pada posisi stanby.



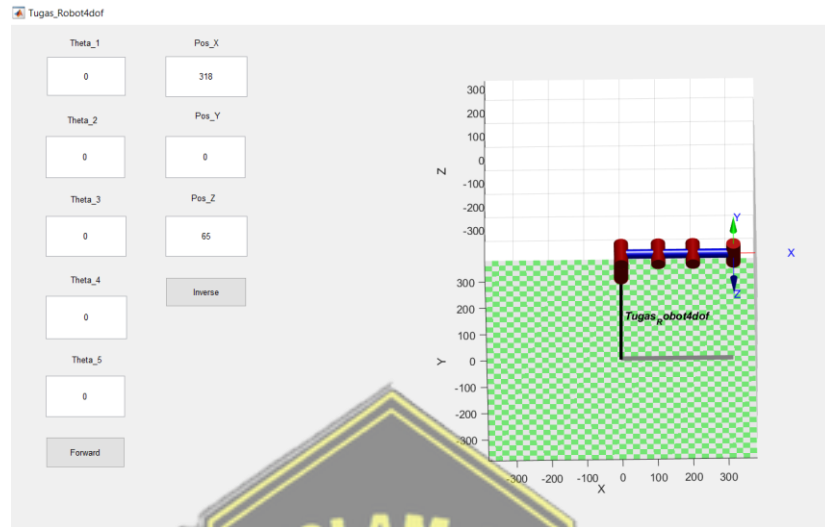
Gambar 4. 4 posisi meletakkan objek berwarna hijau sesuai dengan warna tempatnya



Gambar 4. 5 posisi meletakkan objek berwarna biru sesuai dengan warna tempatnya

4.2 Pengujian Software Matlab

Pada *software* matlab juga dilakukan simulasi dengan menggerakkan tiap θ (sudut) dan akan muncul nilai dari *invers kinematic* dari tiap sumbunya yaitu pada posisi sumbu X, posisi sumbu Y dan pada posisi sumbu Z. pada tampilan awal semua diberi masukan nilai 0 semua pada kelima nya kemudian akan muncul nilai dari *invers kinmatik* posisi ketiga sumbunya.



Gambar 4. 6 Tampilan awal dan setting 0 pada kelima θ

Tabel 4. 3 posisi awal simulasi

No	Theta	Nilai	Invers	Nilai
1	θ_1	0	Posisi X	318
2	θ_2	0	Posisi Y	0
3	θ_3	0	Posisi Z	65
4	θ_4	0		
5	θ_5	0		
Forward				

Pada **Tabel 4.3** posisi awal simulasi semua θ (sudut) diberi nilai 0 dan pada invers posisi sumbu X berubah menjadi 318, posisi sumbu Y masih tetap 0 dan posisi sumbu Z berubah menjadi 65. Nilai ini didapat dari rumus yang telah dibuat pada program m-file pada matlab.

Tabel 4. 4 Posisi waktu mengambil objek benda

No	Theta	Nilai	Invers	Nilai
1	θ_1	180	Posisi X	216
2	θ_2	60	Posisi Y	0
3	θ_3	-120	Posisi Z	71
4	θ_4	60		
5	θ_5	160		
Forward				

Pada **Tabel 4.4** saat posisi lengan mengambil objek benda pada (sudut) θ_1 bergerak sebesar 180° , pada (sudut) θ_2 bergerak sebesar 60° , pada (sudut) θ_3 bergerak sebesar -120° , pada (sudut) θ_4 bergerak sebesar 60° dan pada gripper bergerak sebesar 160° . Nilai invers yang dihasilkan pada sumbu X sebesar 216° , pada sumbu Y sebesar 0° dan pada sumbu Z sebesar 71°

Tabel 4. 5 posisi saat meletakkan objek berwarna merah

No	Theta	Nilai	Invers	Nilai
1	θ_1	120	Posisi X	-136
2	θ_2	40	Posisi Y	234
3	θ_3	-80	Posisi Z	69
4	θ_4	40		
5	θ_5	90		
Forward				

Pada **Tabel 4.5** saat posisi lengan meletakkan objek benda pada (sudut) θ_1 bergerak sebesar 120° , pada (sudut) θ_2 bergerak sebesar 40° , pada (sudut) θ_3 bergerak sebesar -80° , pada (sudut) θ_4 bergerak sebesar -40° dan pada gripper bergerak sebesar 90° . Nilai invers yang dihasilkan pada sumbu X sebesar -136° , pada sumbu Y sebesar 234° dan pada sumbu Z sebesar 69° .

Tabel 4. 6 posisi saat meletakkan objek berwarna hijau

No	Theta	Nilai	Invers	Nilai
1	θ_1	90	Posisi X	0
2	θ_2	40	Posisi Y	270
3	θ_3	-80	Posisi Z	69
4	θ_4	40		
5	θ_5	90		
Forward				

Pada **Tabel 4.6** saat posisi lengan meletakkan objek benda pada (sudut) θ_1 bergerak sebesar 60° , pada (sudut) θ_2 bergerak sebesar 40° , pada (sudut) θ_3 bergerak sebesar -80° , pada (sudut) θ_4 bergerak sebesar -40° dan pada gripper bergerak sebesar 90° . Nilai invers yang dihasilkan pada sumbu X sebesar 0° , pada sumbu Y sebesar 270° dan pada sumbu Z sebesar 69° .

Tabel 4. 7 posisi saat meletakkan objek berwarna biru

No	Theta	Nilai	Invers	Nilai
1	θ_1	60	Posisi X	135
2	θ_2	40	Posisi Y	234

Lanjutan Tabel 4.7

No	Theta	Nilai	Invers	Nilai
3	θ_3	-80	Posisi Z	69
4	θ_4	40		
5	θ_5	90		
Forward				

Pada Tabel 4.7 saat posisi lengan meletakkan objek benda pada (sudut) θ_1 bergerak sebesar 90° , pada (sudut) θ_2 bergerak sebesar 40° , pada (sudut) θ_3 bergerak sebesar -80° , pada (sudut) θ_4 bergerak sebesar -40° dan pada gripper bergerak sebesar 90° . Nilai invers yang dihasilkan pada sumbu X sebesar 135° , pada sumbu Y sebesar 234° dan pada sumbu Z sebesar 69° .

4.3. Perhitungan Nilai Torsi

Pada penelitian Rancang Bangun Kinematik Lengan Robot 4 DOF berbasis Arduino Uno ini menggunakan 5 buah servo dimana tiap servonya memiliki torsi yang berbeda karena berbagai faktor yang mempengaruhinya, salah satunya adalah panjang lengan, kemudian ketika lengan bergerak tanpa membawa objek, maupun lengan dengan membawa objek akan mempengaruhi nilai torsi masing-masing, dan inilah perhitungan nilai torsi dari tiap-tiap servo yang digunakan.

1. Nilai torsi Servo *base*

Karena pada servo *base* hanya bergerak secara horizontal maka untuk perhitungan nilai torsi servonya harus menentukan terlebih dahulu nilai kecepatannya. Mangacu pada rumus (2.7) untuk menghitung nilai kecepatannya.

$$T = 0,5 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14}{0,5}$$

$$\omega = 12,56 \text{ rad/s}$$

Setelah diketahui nilai kecepatan maka bisa dihitung untuk nilai torsi pada servo base, dengan merujuk pada persamaan rumus (2.4)

$$\sum \tau = I \alpha$$

$$\sum \tau = m \cdot r \cdot \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

$$\sum \tau = 0,55 \times (0,34)^2 \times \frac{12,56-0}{1-0}$$

$$\sum \tau = (0,064) \times \frac{12,56}{1}$$

$$\sum \tau = 0,80 \text{ N.m} \quad (1 \text{ N.m} = 10,19 \text{ Kg.cm})$$

$$\sum \tau = 8 \text{ kg.cm}$$

2. Nilai torsi Servo lengan bawah (servo 2)

Servo lengan bawah atau servo 2 bergerak secara vertikal keatas dengan menopang beban servo lengan atas dan servo lengan gripper. Sebelum menghitung nilai torsi nya maka harus mengetahui massa dari servo lengan masing-masing.

$$m1 = \text{servo lengan atas} = 55 \text{ gr}$$

$$m2 = m1 + \text{servo lengan gripper} + \text{servo gripper} = 165 \text{ gr}$$

$$m3 = m2 + \text{massa objek} = 230 \text{ gr}$$

Jadi untuk nilai torsi servo lengan bawah adalah:

$$\tau(\text{servo 2}) = (F1 \cdot r1 \cdot \sin 90) + (F2 \cdot r2 \cdot \sin 90) + (F3 \cdot r3 \cdot \sin 90)$$

$$\tau(\text{servo 2}) = (m1 \cdot g \cdot r1 \cdot \sin 90) + (m2 \cdot g \cdot r2 \cdot \sin 90) + (m3 \cdot g \cdot r3 \cdot \sin 90)$$

$$\tau(\text{servo 2}) = (0,05 \times 9,8 \times 0,11 \times 1) + (0,16 \times 9,8 \times 0,21 \times 1) + (0,23 \times 9,8 \times 0,27 \times 1)$$

$$\tau(\text{servo 2}) = (0,053) + (0,032) + (0,608)$$

$$\tau(\text{servo 2}) = 0,693 \text{ N.m}$$

$$\tau(\text{servo 2}) = 6,93 \text{ Kg.cm}$$

3. Nilai torsi Servo lengan atas (servo 3)

Sama dengan servo lengan bawah servo lengan atas juga bergerak secara vertical keatas dan menopang servo lengan gripper dan juga servo gripper.

$$m1 = \text{servo lengan gripper} = 55 \text{ gr}$$

$$m2 = m1 + \text{servo gripper} + \text{objek benda} = 230 \text{ gr}$$

Jadi untuk nilai torsi servo lengan atas adalah:

$$\tau(\text{servo } 3) = (F1.r1.\sin 90) + (F2.r2.\sin 90)$$

$$\tau(\text{servo } 3) = (0,05 \times 9,8 \times 0,10 \times 1) + (0,23 \times 9,8 \times 0,17 \times 1)$$

$$\tau(\text{servo } 3) = (0,049) + (0,383)$$

$$\tau(\text{servo } 3) = 0,432 \text{ N.m}$$

$$\tau(\text{servo } 3) = 4,33 \text{ Kg.cm}$$

4. Nilai torsi Servo lengan gripper

Sama dengan servo lengan atas servo lengan gripper juga bergerak secara vertical keatas dan menopang servo gripper dan juga objek benda.

$$m1 = \text{servo gripper} + \text{objek benda} = 120 \text{ gr}$$

Jadi untuk nilai torsi lengan gripper adalah:

$$\tau(\text{servo } 4) = (F1.r1.\sin 90)$$

$$\tau(\text{servo } 4) = (0,05 \times 9,8 \times 0,6 \times 1)$$

$$\tau(\text{servo } 4) = (0,294) \text{ N.m}$$

$$\tau(\text{servo } 4) = 2,94 \text{ Kg.cm}$$

5. Nilai torsi gripper

Servo gripper sama dengan servo base yakni berputar secara horizontal dan menopang objek benda sehingga untuk mencari nilai torsinya sama dengan mencari nilai torsi servo base.

$$\sum \tau = I \alpha$$

$$\sum \tau = m.r. \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

$$\sum \tau = 0,06 \times (0,08)^2 \times \frac{12,56-0}{1-0}$$

$$\sum \tau = (0,000384) \times \frac{12,56}{1}$$

$$\sum \tau = 0,0048 N.m$$

$$\sum \tau = 0,049 kg.cm$$

Dalam perhitungan dan analisa torsi masing-masing motor servo, dihitung terlebih dahulu untuk kecepatan untuk menghitung torsi pada servo base dan juga servo pada *gripper* sebesar 12,56 rad/s. dan dapat diketahui bahwa untuk torsi terbesar adalah yang ditanggung oleh motor servo *base* dengan torsi sebesar 0,80 N.m atau 8 kg.cm dengan beban yang dipindahkan adalah 65 gram. kemudian untuk torsi terkecil adalah pada servo *gripper* yaitu sebesar 0,0048 N.m atau 0,049 kg.cm dengan beban 65 gram. Servo lengan bawah atau servo 2 bergerak secara vertical keatas dengan menopang beban servo lengan atas dan servo lengan *gripper* dimana torsi yang dibutuhkan sebesar 6,93 Kg.cm. Sama dengan servo lengan bawah servo lengan atas juga bergerak secara vertical keatas dan menopang servo lengan *gripper* dan juga servo *gripper* dan dibutuhkan torsi sebesar 4,33 Kg.cm. sedangkan untuk servo lengan *gripper* membutuhkan torsi sebesar 2,94 Kg.cm. spesifikasi dari motor servo mg996r sendiri adalah 10 kg.cm untuk nilai maksimal torsinya, lebih dari itu maka servo akan rusak.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa didapatkan dari Rancang Bangun Kinematik Lengan Robot 4 DOF Berbasis Arduino Uno Dengan Analisa Matlab Sebagai Bahan Pembelajaran Di Lab Robotik adalah sebagai berikut:

1. Torsi maksimal yang dihasilkan dari perhitungan yakni 20 % sedikit lebih rendah dari torsi maksimal bernilai 10 kg yang ada pada data sheet servo.
2. Pada pengujian sensor jarak HCSR04 dan juga sensor warna TCS 230 jarak maksimal hanya pada 6,5 cm – 7 cm.
3. Pada pengujian sensor warna TCS 230 warna RGB optimal bekerja pada lux 35,7 Lux.
4. Pada simulasi matlab, nilai invers kinematik pada ketiga sumbunya dapat diketahui dengan memasukan nilai sudut pada kelima sudutnya dan terjadi perbedaan sekitar 0,1% dari program atau simulasi yang dilakukan.
5. Pada saat servo bergerak meletakkan benda terjadi perbedaan sekitar 10 derajat dengan program yg dimasukkan, atau *error* yang dihasilkan 0,1%.

5.2 Saran

1. Pengambilan data bisa menggunakan cara yang lebih baik lagi agar data yang dihasilkan lebih akurat.
2. Lebih banyak lagi penelitian yang dapat dijadikan sebagai alat riset khususnya di lab robotik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Saefullah, D. Immaniar, and R. A. Juliansah, "Sistem kontrol robot pemindah barang menggunakan aplikasi android berbasis Arduino Uno," *Creat. Commun. Innov. Technol. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 45–56, 2015.
- [2] N. Imansari, "Manajemen laboratorium pendidikan teknik elektro (studi kasus di fkip-universitas PGRI Madiun)," *JUPITER (Jurnal Pendidik. Tek. Elektro)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- [3] B. H. Purwoto, "Pemodelan Robot Kinematik Manipulator menggunakan MATLAB," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 20, no. 02, pp. 156–161, 2020.
- [4] F. Firman, "Perancangan Lengan Robot 5 Derajat Kebebasan Dengan Pendekatan Kinematika," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 2, 2014.
- [5] M. Didi, E. D. Marindani, and A. Elbani, "Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno," *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 3, pp. 1–11, 2015.
- [6] A. Mayub, I. Syahroni, F. Fahmizal, And M. Arrofiq, "Kinematika dan Antarmuka Robot SCARA Serpent," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 3, p. 561, 2020.
- [7] P. Sawallia, "Rancang Bangun Robot Kontrol Digital Dan Monitoring Menggunakan Matlab." Politeknik Negeri Sriwijaya, 2017.
- [8] Y. D. A. Kurniawan, A. Triwiyatno, and A. Hidayatno, "Perancangan Robot Lengan Pembuat Pola Batik Berbasis Graphical User Interface (Gui) Dengan Metode Gerak Inverse Kinematics," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 124–132, 2017.
- [9] M. Didi, "Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [10] A. Zulham, "Rancang Bangun Kendali Robot Lengan Menggunakan Gui Matlab Berbasis Arduino Uno." Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2020.
- [11] Ardutech, "Kontrol Robot Arm dengan Arduino." ardutech, 2020.
- [12] U. Latifa and J. S. Saputro, "Perancangan Robot Arm Gripper Berbasis Arduino Uno Menggunakan Antarmuka Labview," *Barometer*, vol. 3, no. 2, pp. 138–141, 2018.

- [13] A. K. Muhamad, "Aplikasi accelerometer pada penstabil monopod menggunakan motor servo." POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA, 2016.
- [14] B. Atmega and M. H. Kurniawan, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Dengan Sidik Jari Dan Notifikasi Panggilan Telepon," Vol. 6, No. 2, 2019.
- [15] K. Ahadi, "Rancang Bangun Buck Converter 12 Volt 60 Ampere Menggunakan P-Channel Mosfet Dan Igbt Tipe N," vol. 11, no. 1, pp. 53–66, 2012.
- [16] Joko Catur Condro Cahyono, "Penentuan Kadar Zat Kimia Dengan Metode Regresi Non Linier Levenberg-marquardt Melalui Analisa Uji Dylon (indian Corn) Menggunakan Instrument Kolorimeter Berbasis Sensor Warna TCS230," *Teknika*, no. Vol 10, No 1 (2009), 2009.
- [17] A. J. W. Windarto, "Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Mikrokontroler Atmega 2560, Sensor Ultra Sonic Hc-Sr04 Dan Sensor Passive Infra Red Motion Detector Pada Pt Telkom Indonesia," *SKANIKA*, no. Vol 1 No 1 (2018): Jurnal SKANIKA Maret 2018, pp. 359–365, 2018.
- [18] J. K. N. Setiyadi Adhi; Sunardi; Hadi P, Nanang, "Prototipe Alat Ukur Pasang Surut Menggunakan Microcontroller Arduino Dengan Sensor Ultra Sonic," *J. Hidropilar*, no. Vol. 2 No. 2 (2016): JURNAL HIDROPILAR, pp. 89–97, 2016.
- [19] M. H. Hasan, A. Marwanto, and A. Suprajitno, "Colour Detector Tool Using TCS3200 and Arduino Uno for Blind and Child," *J. Telemat. Informatics*, vol. 6, no. 1, pp. 37–44, 2018.
- [20] T. Triyono, "Aplikasi Kontrol Pid Dengan Software Matlab," *J. Tek.*, no. Vol 4, No 2 (2015): Juli-Desember 2015, 2015.