



**RANCANG BANGUN LENGAN ROBOT PENYELEKSI DAN PEMINDAH
BARANG BERDASARKAN WARNA DAN KETINGGIAN
MENGUNAKAN KAMERA**

SKRIPSI

Oleh
Mirza Kurnia
NIM 131910201097

**PROGRAM STUDI STRATA I
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**RANCANG BANGUN LENGAN ROBOT PENYELEKSI DAN
PEMINDAH BARANG BERDASARKAN WARNA DAN
KETINGGIAN MENGGUNAKAN KAMERA**

SKRIPSI

**Diajukan guna melengkapi Skripsi dan memenuhi syarat-syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana**

Oleh
Mirza Kurnia
NIM 131910201097

**PROGRAM STUDI STRATA 1
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini merupakan sebuah awal, langkah kecil menuju lompatan besar guna menggapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Untuk itu saya ucapkan rasa syukur dan terima kasih sebesar-besarnya kepada...

Allah SWT, dengan segala Keagungan dan Keajaiban-Nya yang senantiasa mendengar do'a ku, menuntunku dari dari kegelapan, serta senantiasa menaungiku dengan rahmat dan hidayah-Nya dan junjunganku Nabi Besar Muhammad SAW yang telah menjadi penerang di dunia dan suri tauladan bagi kita semua;

Ibunda Shinta Sawitri, Ayahanda Hermawan Cahyono, Kakakku Yudha Prawira dan Adikku Nadira Kumaala, terima kasih atas segala kasih sayang, dukungan, semangat, dan doa selama ini;

Seluruh teman dan sahabat seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2013, kalian sebagai tempat berbagi suka dan duka yang tidak akan terlupakan.

Aku menjadikan kalian semua bagian dari diriku dan aku sangat menyayangi kalian semua;

Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro yang terhormat, terima kasih telah banyak memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran;

Buat semua teman – teman Teknik Elektro semua angkatan,
Serta semua pihak yang belum tertulis dalam lembar persembahan ini,
Terima kasih atas segalanya;

Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Demi masa. Sesungguhnya manusia itu benar-benar dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal saleh dan nasehat menasehati supaya mentaati kebenaran dan nasehat menasehati supaya menetapi kesabaran”

(QS: Al Ashr 1-3)

“Dimanapun kalian berada selalu ingatlah Allah berada pada sisimu, agar apa yang kamu lakukan selalu senantiasa diberkahi olehNya”

(Mirza Kurnia)

“Buatlah hidup mu bermanfaat bagi orang lain, meskipun hanya dengan sebuah senyuman”

(Mirza Kurnia)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mirza Kurnia

NIM : 131910201097

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *“Rancang Bangun Lengan Robot Penyeleksi dan Pemindah Barang Berdasarkan Warna dan Ketinggian Menggunakan Kamera ”* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 31 Juli 2017

Yang menyatakan,

Mirza Kurnia
NIM 131910201097

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN LENGAN ROBOT PENYELEKSI DAN PEMINDAH
BARANG BERDASARKAN WARNA DAN KETINGGIAN
MENGUNAKAN KAMERA**

Oleh

Mirza Kurnia

NIM 131910201097

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : M. Agung Prawira N, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dodi Setiabudi, ST., MT.

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Skripsi berjudul “RANCANG BANGUN LENGAN ROBOT PENYELEKSI DAN PEMINDAH BARANG BERDASARKAN WARNA DAN KETINGGIAN MENGGUNAKAN KAMERA” oleh Mirza Kurnia NIM: 131910201097 telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember pada;

Hari, tanggal :

Tempat :

Ketua,

Sekretaris,

M. Agung Prawira N, S.T., M.T.
NIP 19871217 201212 1 003

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.
NIP 19840531 20812 1 004

Anggota I,

Anggota II,

Khairul Anam S.T., M.T. PhD
NIP 197109081999031001

Ike Fibriani, S.T., M.T.
NIP 198002072015042001

Mengesahkan
Dekan,

Dr.Ir. Entin Hidayah M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

“Rancang Bangun Lengan Robot Penyeleksi dan Pemindah barang Berdasarkan Warna dan Ketinggian menggunakan Kamera”; Mirza Kurnia 131910201097; 2017: 75 halaman; Program Studi Strata Satu (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kemajuan teknologi dalam bidang robotika pada saat ini sudah memasuki era modernisasi serta perkembangannya memasuki era baru dan sudah serba otomatis untuk sebuah pendidikan dan teknologi. Robot lengan adalah salah satu bentuk implementasi teknologi dalam bidang robotika yang memiliki kemampuan menirukan salah satu kegiatan manusia dalam hal memindahkan barang layaknya pergerakan lengan manusia. Penggunaan robot lengan digunakan untuk mempercepat proses pemindahan barang dalam sebuah industri.

Sistem robot lengan ini dikontrol dengan Arduino. Robot digerakkan dengan beberapa motor servo MG995 dan dikendalikan oleh sensor kamera CMUCAM5 yang berfungsi sebagai sensor untuk pergerakan robot lengan itu sendiri. Pergerakan robot lengan sendiri menggunakan metode invers kinematik dimana metode tersebut merupakan sebuah perhitungan yang dapat menghasilkan sudut servo dari masukan sebuah koordinat. Kamera CMUCAM5 akan memberi perintah jika membaca warna barang dengan ketinggian yang sudah ditentukan. Sensor akan diletakkan 40 cm dari peletakkan barang agar dapat membaca warna dan ketinggian barang dengan tepat.

Pada pengujian robot lengan ini dilakukan pengujian pada sistem kerja tiap motor servo, kamera CMUCAM5 dan bekerjanya robot dalam memindahkan barang. Pada pengujian kamera CMUCAM5 tidak mengalami masalah dimana kamera dapat membaca ketinggian tiap barang dengan membaca nilai pixel yang berbeda beda dari warna hijau, merah, maupun biru. Sedangkan kinerja robot keseluruhan kurang lebih bisa dikatakan berhasil, hal ini dikarenakan robot dapat memindahkan sebuah barang kurang lebih dari 5 detik disetiap barangnya.

SUMMARY

“Design Of Arm Robot for Selection dan Moving of Goods Based on Color and Height using Camera”; Mirza Kurnia 131910201097; 2017: 75 pages; Strata one (S1) Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Jember.

Advances in technology in the field of robotics at this time has entered the era of modernization and its development into a new era and is completely automated for an education and technology. Robot arm is one form of technology implementation in the field of robotics that has the ability to mimic one of human activities in terms of moving goods like the human arm movements. The use of arm robot is used to accelerate the process of moving goods in an industry.

This robotic arm system is controlled by Arduino. The robot is driven by several MG995 servo motors and is controlled by a CMUCAM5 camera sensor that acts as a sensor for the robot's own arm movement. Robotic arm itself uses a inverse kinematic method where it is a calculation that can generate a servo angle from the input of a coordinate. The CMUCAM5 camera will give a command if it reads the color of the item with a predetermined height. Sensors will be placed 40 cm from the placement of goods in order to read the color and heights of goods properly.

In this robot arm testers are performed on the work system of each servo motor, CMUCAM5 camera and the work of robots in moving goods. In CMUCAM5 camera testing does not have a problem where the camera can read the height of each item by reading different pixel values different from green, red, or blue. While the overall robot performance more or less can be said to work, this is because the robot can move an item less than 5 seconds in each item.

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan proyek akhir yang berjudul “*Rancang Bangun Lengan Robot Penyeleksi dan Pemindah Barang Berdasarkan Warna dan Ketinggian Menggunakan Kamera*” dapat terselesaikan dengan baik. Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Terselesaikannya laporan proyek akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat dan rizki-Nya serta memberi kelancaran dan kemudahan sehingga terselesaikannya proyek akhir ini.
2. Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita ke peradaban manusia yang lebih baik.
3. Bapak/Ibu, Keluarga Besar Surabaya maupun Jember terkima kasih telah memberikan dorongan semangat, motivasi, dukungan dan doanya demi terselesaikannya proyek akhir ini.
4. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember.
6. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi S1 Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember.
7. Bapak M. Agung Prawira N, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Dodi Setiabudi, ST., MT. selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran guna memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan proyek akhir ini
8. Khairul Anam, S.T., M.T. Phd dan selaku tim penguji tugas akhir yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan demi terselesaikannya penulisan laporan skripsi ini.

9. Seluruh Dosen yang ada di Fakultas Teknik khususnya Teknik Elektro beserta karyawan.
10. Keluarga besar Teknik Elektro khususnya angkatan 2013 INTEL UNEJ, terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan.
11. Teman Teman Seperjuangan Elektronika 2013 Ekky, Rokhim, Intho, Binawan, Alex, Iqbal, Sofyan, Fajar, Arif, Riski, Fathor, Amir, Dimas, Okman, dan Singo yang telah membantu dan mendukung saya selama menjalani masa kuliah hingga sekarang.
12. Teman - teman TC 2013 Agung, Subuh, Deni, Heru, Ocha, Nona, Lukman, Tuwek, Abid, Imas, dan Ikhwan yang selalu mendukung selama menjalani masa kuliah sampai terselesaikannya proyek akhir ini, kenangan dan pengalaman tak akan pernah terlupakan.
13. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan motivasi kalian dalam penyusunan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa sebagai manusia biasa tidak terlepas dari keterbatasan, yang biasanya akan mewarnai kadar ilmiah dari proposal skripsi ini. Oleh karena itu penulis selalu terbuka terhadap masukan dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun untuk mendekati kesempurnaan. Tidak lupa penulis menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya jika terdapat kesalahan dan kekeliruan. Akhir kata penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat menjadi bahan acuan yang bermanfaat di kemudian hari.

Jember, 28 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Robot Lengan	5
2.2 <i>Image Processing</i>	6
2.2.1 Pengertian <i>Image Processing</i>	6
2.2.2 Citra Biner.....	6
2.3 Pixy CMUCAM 5.....	7

2.4 Arduino <i>MEGA</i>	8
2.5 Motor Servo	13
2.6 <i>Inverse Kinematics</i>	15
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Alat dan Bahan.....	19
3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	20
3.3 Flowchart	21
3.3.1 <i>Flowchart</i> Sistem Keseluruhan.....	20
3.3.2 <i>Flowchart Scanning Barang</i>	22
3.4 Rancangan Perumusan <i>Inverse Kinematik</i>	24
3.5 Perancangan Mekanik Alat	25
3.5.1 Desain Mekanik Robot	25
3.5.2 Hasil Perancangan Mekanik Robot.....	26
3.6 Perancangan Elektronika.....	28
3.7 Titik Peletakkan Tiap Barang	29
3.8 Kalibrasi Motor Servo.....	31
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Pengujian Motor Servo dengan Hasil Kalibrasi	35
4.2 Pengujian Sensor Kamera CMUCAM5	37
4.3 Pengujian Keseluruhan Robot Lengan.....	41
BAB V. KESIMPULAN	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Robot Lengan dengan Gripper	
2.2 Citra Biner dan Representasi Citra Binernya	6
2.3 Pixy CMUcam 5	8
2.4 Arduino Mega 2560	9
2.5 Motor Servo	14
2.6 Model Kontrol Kinematika Robot	15
2.7 <i>Inverse Kinematics</i> untuk Sudut θ_1	18
2.8 <i>Inverse Kinematics</i> Robot Lengan Sudut $\theta_2 \theta_3 \theta_4$	18
3.1 Blok Diagram Kerja Alat	20
3.2 <i>Flowchart</i> Sistem Keseluruhan	21
3.3 <i>Flowchart Scanning</i> Barang	22
3.4 <i>Inverse Kinematics</i> untuk Sudut θ_1	24
3.5 <i>Inverse Kinematics</i> Robot Lengan Sudut $\theta_2 \theta_3 \theta_4$	24
3.6 Desain Lengan Robot Tampak Samping	25
3.7 Desain Lengan Robot Tampak Depan	26
3.8 Bodi Robot Lengan Tampak Atas	27
3.9 Bodi Robot Lengan Tampak Samping	27
3.10 Rangkaian Motor Servo	28
3.11 Titik Peletakkan tiap Barang	29
3.12 Keseluruhan Sistem Kerja Robot Lengan	29
3.13 Grafik Pengujian Sudut Servo Pertama	32
3.14 Grafik Pengujian Sudut Servo Kedua	32
3.15 Grafik Pengujian Sudut Servo Ketiga	32
3.16 Grafik Pengujian Sudut Servo Keempat	33
4.1 Benda Warna Merah	37
4.2 Benda Warna Hijau	38
4.3 Benda Warna Biru	38
4.4 Benda Warna Biru Kedua	39

4.5 Benda Warna Ungu.....	40
4.6 Kondisi Awal Robot	41
4.7 Kondisi Robot Mengambil Barang Warna Biru	42
4.8 Kondisi Robot Setelah Mengambil Barang	42
4.9 Kondisi Robot Meletakkan Barang.....	43



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Parameter Lengan Robot 4 DOF.....	16
3.1 Data Sudut Motor Servo.....	31
4.1 Pengujian Sudut Servo Setelah Kalibrasi.....	35
4.2 Data Pembacaan Benda Warna Merah oleh CMUCAM5.....	37
4.3 Data Pembacaan Benda Warna Hijau oleh CMUCAM5	38
4.4 Data Pembacaan Benda Warna Biru oleh CMUCAM5	38
4.5 Data Pembacaan Benda Warna Biru Kedua oleh CMUCAM5	39
4.6 Data Pembacaan Benda Warna Ungu oleh CMUCAM5	40
4.7 Pengujian Robot memindahkan Barang Warna Merah.....	45
4.8 Pengujian Robot memindahkan Barang Warna Hijau	46
4.9 Pengujian Robot memindahkan Barang Warna Biru	46
4.10 Pengujian Robot dalam memindahkan Barang Secara Acak	48

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia industri pada saat ini semakin terus berkembang dan sudah menjadi satu bagian penting dari dunia secara keseluruhan. Perkembangan dunia industri ini sudah banyak memberikan kemudahan dan keuntungan tersendiri kepada perusahaan dalam pengerjaannya. Sebagai contoh adalah proses pemindahan dan pengelompokkan barang yang dilakukan secara berulang-ulang. Pada dunia industri benda yang akan dipindahkan tidak hanya memiliki satu ukuran, melainkan banyak seperti dalam proses pemindahan dan pengelompokkan kardus dengan ukuran dan warna yang berbeda beda ada yang memiliki ukuran kecil, sedang, maupun besar sedangkan untuk warna sendiri memiliki warna yang berbeda di tiap produk. Jika proses pemindahan dan pengelompokkan masih menggunakan tenaga manusia (*manual*) akan banyak menghabiskan waktu dan tenaga. Untuk menghemat proses tersebut, maka muncul ide untuk membuat robot lengan pemindah barang dengan *gripper* dan *conveyor* yang dapat bekerja secara otomatis untuk menjalankan proses produksi pada perusahaan sesuai dengan target yang diinginkan. (Rizza Henggar, 2015)

Pada awalnya aplikasi robot hampir tidak dapat dipisahkan dengan industri sehingga muncul istilah *industrial robot*. Definisi yang populer ketika itu, robot industri adalah suatu robot lengan (*arm robot*) yang diciptakan untuk berbagai keperluan dalam meningkatkan produksi, memiliki bentuk lengan-lengan kaku yang terhubung secara seri dan memiliki sendi yang dapat bergerak berputar (*rotasi*) atau memanjang/memendek (translasi atau prismatic). Satu sisi lengan yang disebut sebagai pangkal ditanam pada bidang atau meja yang statis (tidak bergerak), sedangkan sisi yang lain yang disebut sebagai ujung (*end effector*) dapat ditambah dengan tool tertentu sesuai dengan tugas robot, misalnya *gripper*. (Munadi, 2013)

Untuk merancang sebuah alat yang cerdas dan dapat bekerja secara otomatis yang dapat memindahkan sebuah barang sesuai ukuran dan warna nya, dibutuhkan alat atau komponen yang dapat mengontrol, mengingat, dan mengambil pilihan.

Kemampuan ini dimiliki oleh Arduino ini dapat kita program sesuai keperluan mengontrol, mengingat, dan mengambil pilihan yang kita butuhkan.

Disini saya ingin membuat alat dengan metode yang berbeda mengenai pemindahan dan penyeleksi suatu barang dalam bidang industry. Pada penelitian yang akan saya lakukan, saya akan mencoba meneliti pergerakan robot lengan menggunakan metode *inverse kinematics* dapat memindahkan barang lebih efektif dan efisien. Pada penelitian ini menggunakan kamera CMUCAM5 sebagai sensor ketinggian dan warna dimana sangat membantu proses penyeleksian dari sebuah barang. Pembuatan alat *arm robot* dirancang memiliki 4 *degree of freedom* (dof) dengan metode *Inverse Kinematics* menggunakan bantuan mikrokontroler Arduino Mega sehingga memudahkan komunikasi antara kamera CMUCAM5 dengan perangkat keras *arm robot* begitu pula dengan perangkat lunak yang digunakan untuk mengontrol gerakan robot.

Sebagai pemecahan dari permasalahan diatas maka muncul sebuah ide untuk membuat alat pemindah dan penyeleksi barang yang dikhususkan untuk membedakan ukuran dan warna dari suatu barang. Sebagai syarat dalam penyelesaian studi di Fakultas Teknik Universitas Jember, penyusun sebagai salah satu mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember berusaha mengembangkan suatu bentuk ilmu pengetahuan dan teknologi, berupa pembuatan "**Rancang Bangun Lengan Robot Penyeleksi dan Pemindah Barang Berdasarkan Warna dan Ketinggian menggunakan Kamera**". Perancangan ini nantinya akan digunakan untuk mempercepat proses produksi dalam sebuah industri yang dapat menyeleksi barang yang berjalan melalui *conveyor* sesuai dengan warna dan ukurannya. Alat ini sendiri akan bekerja secara otomatis tanpa pengendalian manual dari manusia.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka pokok permasalahan yang terdapat dalam proyek akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana menggabungkan unsur mekanik, elektronik, sensor dan akuator (motor Servo) dalam pengendalian robot lengan ?
2. Bagaimana cara membuat pergerakan Robot Lengan dengan algoritma perhitungan *inverse kinematics* ?
3. Bagaimana cara membaca ketinggian dan warna dari sebuah barang menggunakan kamera CMUCAM5 ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas, menyederhanakan dan menghindari meluasnya masalah maka diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Kamera *Pixy* CMUCAM5 digunakan untuk menseleksi warna barang dan ketinggian barang.
2. Tidak membahas *image processing* secara mendetail.
3. Menggunakan Mikrokontroler Arduino sebagai controller pergerakan robot.
4. Robot lengan hanya memiliki 4 *degree of freedom* sebagai sendi sendinya.
5. Robot lengan hanya melakukan tindakan mengambil barang, memindahkan barang, dan meletakkan barang..
6. Barang hanya akan diseleksi pada tempat yang sama, yaitu sejauh 40 cm dari kamera.
7. Barang yang diseleksi hanya memiliki 3 ukuran tinggi dan warna yang berbeda, yaitu warna merah, hijau, dan biru.
8. Barang yang diseleksi berupa balok yang berukuran tinggi mulai dari 5cm, 10cm, dan 15cm.
9. Output peletakkan barang sudah ditentukan sesuai warna dan ketinggiannya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan alat ini yaitu :

1. Dapat membuat robot lengan penyeleksi dan pemindah barang secara otomatis berdasarkan kamera berbasis Arduino Mega.
2. Dapat membuat robot lengan dengan metode *inverse kinematics* agar pergerakannya lebih efektif.
3. Dapat menyeleksi sebuah barang yang memiliki ketinggian dan warna yang berbeda menggunakan Pixy CMUCAM 5.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dengan adanya alat ini yaitu :

1. Menambah pengetahuan penulis dalam pengaturan gerak lengan robot.
2. Menambah pengetahuan penulis dalam bidang pengolahan citra
3. Mempermudah penyeleksian sebuah barang pada sebuah industri.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Robot Lengan

Robot adalah salah satu alat bantu dalam kondisi tertentu yang sangat diperlukan dalam bidang industri. Terdapat kondisi tertentu dalam industri yang tidak mungkin ditangani oleh manusia seperti kebutuhan akan akurasi yang tinggi, tenaga yang besar dan resiko yang tinggi. Keadaan-keadaan ini dapat diatasi dengan robot, salah satunya yaitu robot dengan tipe lengan atau lengan robot.

Lengan robot adalah mekanik dan gerakan robot yang dibuat menyerupai anatomi lengan manusia. Lengan robot minimal memiliki kaki lengan dan pencengkram (*gripper*) yang disesuaikan dengan kebutuhan. Didalam lengan robot memiliki komponen-komponen lain sebagai pembentuknya, seperti aktuator, sensor dan kontroler itu sendiri. Lengan robot juga mengenal dengan derajat kebebasan yang menentukan banyaknya gerakan pada robot tersebut.

Lengan robot banyak berfungsi untuk mengambil suatu benda, kemudian dapat meletakkan benda tersebut pada tempat lain yang bisa dilakukan secara manual maupun otomatis sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Pada lengan robot juga memungkinkan diletaknya sensor-sensor seperti sensor warna, sensor jarak, maupun sensor yang lainnya yang bisa mendukung kinerja robot secara otomatis (Sepriadi,2011).



Gambar 2.1 Robot Lengan dengan Gripper
(Sumber: Tirto Wirjaso,2015)

2.2 *Image Processing*

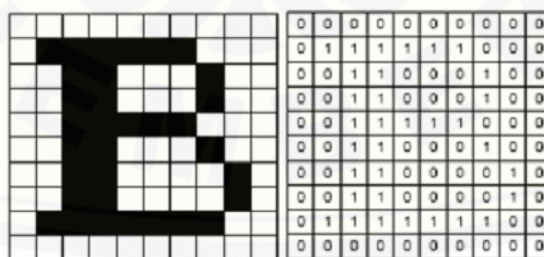
2.2.1 *Pengertian Image processing*

Image processing adalah suatu bentuk pengolahan atau pemrosesan sinyal dengan masukan berupa gambar (*image*) dan ditransformasikan menjadi gambar lain sebagai keluarannya dengan teknik tertentu. *Image processing* dilakukan untuk memperbaiki kesalahan data sinyal gambar yang terjadi akibat transmisi dan selama akuisisi sinyal, serta untuk meningkatkan kualitas penampakan gambar agar lebih mudah diinterpretasi oleh sistem penglihatan manusia baik dengan melakukan manipulasi dan juga penganalisisan terhadap gambar.(Ade,2009)

Pengolahan citra merupakan proses pengolahan dan analisis citra yang banyak melibatkan persepsi visual. Proses ini mempunyai ciri data masukan dan informasi keluaran yang berbentuk citra. Istilah pengolahan citra digital secara umum didefinisikan sebagai pemrosesan citra dua dimensi dengan komputer. Dalam definisi yang lebih luas, pengolahan citra digital juga mencakup semua data dua dimensi. Citra digital adalah barisan bilangan nyata maupun kompleks yang diwakili oleh bit-bit tertentu.(Khansa,2011)

2.2.2 **Citra Biner**

Citra biner, yaitu citra yang hanya terdiri atas dua warna, yaitu hitam dan putih. Oleh karena itu, setiap *pixel* pada citra biner cukup direpresentasikan dengan 1 bit.



Gambar 2.2 Citra biner dan representasi citra binernya

Meskipun saat ini citra berwarna lebih disukai karena memberi kesan yang lebih kaya dari citra biner, namun tidak membuat citra biner mati. Pada beberapa aplikasi citra biner masih tetap dibutuhkan, misalkan citra logo instansi (yang hanya terdiri dari warna hitam dan putih), citra kode barang (bar code) yang tertera pada label barang, citra hasil pemindaian dokumen teks, dan sebagainya. Seperti yang sudah disebutkan diatas, citra biner hanya mempunyai dua nilai derajat keabuan : hitam dan putih. *Pixel – pixel* objek bernilai 1 dan *pixel – pixel* latar belakang bernilai 0. pada waktu menampilkan gambar, adalah putih dan 1 adalah hitam. Jadi pada citra biner, latar belakang berwarna putih sedangkan objek berwarna hitam seperti tampak pada gambar 2.3 diatas. Meskipun komputer saat ini dapat memproses citra hitam-putih (*grayscale*) maupun citra berwarna, namun citra biner masih tetap di pertahankan keberadaannya.

Alasan penggunaan citra biner adalah karena citra biner memiliki sejumlah keuntungan sebagai berikut:

1. Kebutuhan memori kecil karena nilai derajat keabuan hanya membutuhkan representasi 1 bit.
2. Waktu pemrosesan lebih cepat di bandingkan dengan citra hitam-putih ataupun warna (Marvin Chandra Wijaya,2007)

2.3 Pixy CMUCAM 5

Pixy CMUCAM 5 merupakan *image* sensor dengan prosesor yang *powerful* yang diprogram untuk mengirimkan informasi berupa data gambar, sehingga mikrokontroler tidak terbebani dengan proses pembacaan data. Proses pengiriman data pada *Pixy* CMU cam 5 dapat dilakukan dengan berbagai jalur komunikasi data, diantaranya *UART serial, SPI, I2C, digital out* maupun *analog out*. *Pixy* CMU Cam 5 juga menggunakan warna dan saturasi sebagai sasaran utama pada pendeteksi gambar. Ini berarti bahwa pencahayaan atau *exposure* tidak akan mempengaruhi deteksi sensor pada suatu obyek. Sensor ini juga mampu mengingat tujuh warna yang berbeda, menemukan ratusan benda pada saat yang sama dengan kecepatan 50 fps. *Pixy* CMU cam 5 memiliki aplikasi open source yang disebut *PixyMon*.

Setiap Pixy CMUcam 5 dilengkapi dengan 6 – 10 pin kabel IDC (Yuda Risma,2015).



Gambar 2.3 Pixy CMUcam 5
(Sumber: Chris,2015)

2.4 Arduino MEGA

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan *chip* ATmega2560. *Board* ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah *digital* I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin *analog input*, 4 pin UART (*serial port hardware*). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah *oscilator* 16 Mhz, sebuah *port* USB, *power jack* DC, ICSP *header*, dan tombol *reset*. *Board* ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Dengan penggunaan yang cukup sederhana, hanya menghubungkan *power* dari USB ke PC atau dapat melalui adaptor AC/DC ke *jack* DC (Taufik,2016).



Gambar 2.4 Arduino Mega 2560

(Sumber: www.arduino.cc)

➤ Spesifikasi:

Chip Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasi	5V
Tegangan <i>input</i> (dianjurkan)	7-12V
Tegangan <i>input</i> (batas)	6-20V
Digital I/O Pin	54 buah, 15 diantaranya menyediakan <i>output</i> PWM)
Analog <i>Input</i> Pin	16
Arus DC Pin I/O	20 mA
Arus DC Pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Panjang	101,52 mm
Lebar	53,3 mm
Berat	37 g

➤ Pemrograman

Pemrograman board Arduino Mega 2560 dilakukan dengan menggunakan *Software* Arduino IDE. Chip ATmega2560 yang terdapat pada Arduino Mega 2560 telah diisi program awal yang sering disebut *bootloader*. *Bootloader* tersebut yang bertugas untuk memudahkan anda melakukan pemrograman lebih sederhana menggunakan *Arduino Software*, tanpa harus menggunakan tambahan *hardware* lain. Cukup hubungkan Arduino dengan kabel USB ke PC atau Mac/Linux, jalankan *Software* Arduino IDE, dan langsung sudah bisa mulai memprogram *chip* ATmega2560.

Untuk pengguna mikrokontroler yang sudah lebih mahir, dapat juga memrogram Arduino Mega 2560 dengan tidak menggunakan *bootloader* dan melakukan pemrograman langsung via *header* ICSP (*In Circuit Serial Programming*) dengan menggunakan Arduino ISP atau sejenisnya.

Arduino Mega 2560 Rev 3 telah dilengkapi dengan chip ATmega16U2 yang telah diprogram sebagai konverter USB to *Serial*. *Firmware* ATmega16U2 di *load* oleh *DFU bootloader*, dan untuk merubahnya anda dapat menggunakan *software Atmel Flip (Windows)* atau *DFU programmer (Mac OSX dan Linux)*, atau menggunakan *header* ISP dengan menggunakan *hardware external programmer*.

➤ Proteksi

Development board Arduino Mega 2560 R3 telah dilengkapi dengan *polyfuse* yang dapat direset untuk melindungi *port* USB komputer/laptop anda dari *short* atau arus berlebih. Meskipun kebanyakan komputer telah memiliki perlindungan *port* tersebut didalamnya namun sikring pelindung pada Arduino Mega 2560 memberikan lapisan perlindungan tambahan yang membuat Kita bisa dengan tenang menghubungkan Arduino ke komputer Kita. Jika lebih dari 500mA ditarik pada *port* USB tersebut, sirkuit proteksi akan secara otomatis memutuskan hubungan, dan akan menyambung kembali ketika batasan aman telah kembali.

➤ *Power Supply*

Board Arduino Mega 2560 dapat ditenagai dengan *power* yang diperoleh dari koneksi kabel USB, atau *via power supply* eksternal. Pilihan *power* yang digunakan akan dilakukan secara otomatis.

External power supply dapat diperoleh dari adaptor AC-DC atau bahkan baterai, melalui jack DC yang tersedia, atau menghubungkan langsung GND dan pin Vin yang ada di *board*. *Board* dapat beroperasi dengan *power* dari *external power supply* yang memiliki tegangan antara 6V hingga 20V. Namun ada beberapa hal yang harus anda perhatikan dalam rentang tegangan ini. Jika diberi tegangan kurang dari 7V, pin 5V tidak akan memberikan nilai murni 5V, yang mungkin akan membuat rangkaian bekerja dengan tidak sempurna. Jika diberi tegangan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa *overheat* yang pada akhirnya bisa merusak PCB. Dengan demikian, tegangan yang direkomendasikan adalah 7V hingga 12V

Beberapa pin *power* pada Arduino Mega 2560:

- **GND**, Ini adalah *ground* atau negatif.
- **Vin**, Ini adalah pin yang digunakan jika anda ingin memberikan *power* langsung ke *board* Arduino dengan rentang tegangan yang disarankan 7V - 12V
- **Pin 5V**, Ini adalah pin *output* dimana pada pin tersebut mengalir tegangan 5V yang telah melalui regulator
- **3V3**, Ini adalah pin *output* dimana pada pin tersebut disediakan tegangan 3.3V yang telah melalui regulator
- **IOREF**, Ini adalah pin yang menyediakan referensi tegangan mikrokontroler. Biasanya digunakan pada board shield untuk memperoleh tegangan yang sesuai, apakah 5V atau 3.3V

➤ *Memori*

Chip ATmega2560 pada Arduino Mega 2560 Revisi 3 memiliki memori 256 KB, dengan 8 KB dari memori tersebut telah digunakan untuk *bootloader*. Jumlah SRAM 8 KB, dan EEPROM 4 KB, yang dapat di baca-tulis dengan menggunakan EEPROM *library* saat melakukan pemrograman.

➤ *Input dan Output (I/O)*

Arduino Mega 2560 memiliki jumlah pin terbanyak dari semua papan pengembangan Arduino. Mega 2560 memiliki 54 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menyediakan atau menerima arus sebesar 20mA, dan memiliki tahanan *pull-up* sekitar 20-50 k Ω (secara *default* dalam posisi *disconnect*). Nilai *maximum* adalah 40mA, yang sebisa mungkin dihindari untuk menghindari kerusakan *chip* mikrokontroler.

Beberapa pin memiliki fungsi khusus :

- **Serial**, memiliki 4 *serial* yang masing-masing terdiri dari 2 pin. *Serial 0* : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). *Serial 1* : pin 19 (RX) dan pin 18 (TX). *Serial 2* : pin 17 (RX) dan pin 16 (TX). *Serial 3* : pin 15 (RX) dan pin 14 (TX). RX digunakan untuk menerima dan TX untuk *transmit* data serial TTL. Pin 0 dan pin 1 adalah pin yang digunakan oleh *chip* USB-to-TTL ATmega16U2.
- **External Interrupts**, yaitu pin 2 (untuk *interrupt 0*), pin 3 (*interrupt 1*), pin 18 (*interrupt 5*), pin 19 (*interrupt 4*), pin 20 (*interrupt 3*), dan pin 21 (*interrupt 2*). Dengan demikian Arduino Mega 2560 memiliki jumlah *interrupt* yang cukup melimpah : 6 buah. Gunakan fungsi `attachInterrupt()` untuk mengatur *interrupt* tersebut.
- **PWM**: Pin 2 hingga 13 dan 44 hingga 46, yang menyediakan *output* PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`.
- **SPI** : Pin 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), dan 53 (SS) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan *SPI Library*.
- **LED** : Pin 13. Pada pin 13 terhubung *built-in* LED yang dikendalikan oleh digital pin 13. Set *HIGH* untuk menyalakan LED, *LOW* untuk memadamkannya.
- **TWI** : Pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan *Wire Library*.

Arduino Mega 2560 R3 memiliki 16 buah *input* analog. Masing-masing pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bit (jadi bisa memiliki 1024 nilai). Secara *default*, pin-pin tersebut diukur dari *ground* ke 5V, namun bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi `analogReference()`. Beberapa in lainnya pada *board* ini adalah :

- AREF. Sebagai referensi tegangan untuk *input* analog.
- *Reset*. Hubungkan ke *LOW* untuk melakukan *reset* terhadap mikrokontroler. Sama dengan penggunaan tombol *reset* yang tersedia.

➤ **Komunikasi**

Arduino Mega R3 memiliki beberapa fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, berkomunikasi dengan Arduino lainnya, atau dengan mikrokontroler lainnya. *Chip* Atmega2560 menyediakan komunikasi *serial* UART TTL (5V) yang tersedia di pin 0 (RX) dan pin 1 (TX). *Chip* ATmega16U2 yang terdapat pada *board* berfungsi menerjemahkan bentuk komunikasi ini melalui USB dan akan tampil sebagai *Virtual Port* di komputer. *Firmware* 16U2 menggunakan *driver* USB standar sehingga tidak membutuhkan *driver* tambahan.

Pada *Software* Arduino (IDE) terdapat monitor *serial* yang memudahkan data textual untuk dikirim menuju Arduino atau keluar dari Arduino. LED TX dan RX akan menyala berkedip-kedip ketika ada data yang ditransmisikan melalui *chip* USB to Serial via kabel USB ke komputer. Untuk menggunakan komunikasi *serial* dari digital pin, gunakan *Software Serial library*.

Chip ATmega2560 juga mendukung komunikasi I2C (TWI) dan SPI. Di dalam *Software* Arduino (IDE) sudah termasuk *Wire Library* untuk memudahkan anda menggunakan bus I2C. Untuk menggunakan komunikasi SPI, gunakan *SPI library* (Dede Hendriono,2014).

2.5 Motor Servo

Pengembangan dari DC Motor dan sudah memiliki *Gear*, tapi bedanya Motor Servo bisa diatur kecepatannya. Di dalamnya terdapat Potensio Meter dan *Driver* Motor, sehingga bisa diatur dengan derajat. Motor servo bisa digunakan untuk

membuat robot berkaki, robot lengan, dan lain-lain. Batas maksimal pergerakan putar kanan hingga 180 derajat dan putar kiri hingga 180 derajat.



Gambar 2.5 Motor Servo

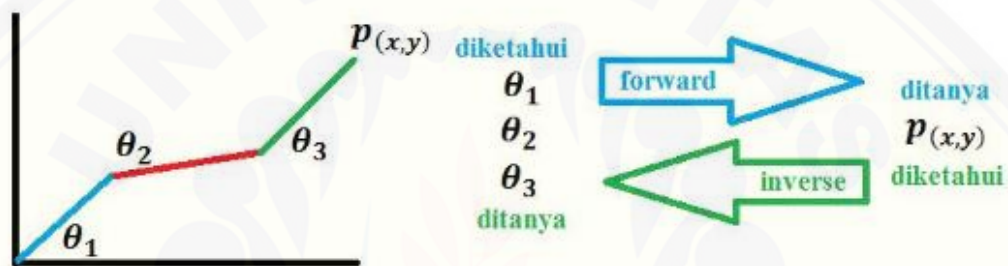
(Sumber : Smith,2011)

Motor servo adalah sebuah komponen atau aktuatur putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (servo), sehingga dapat di *set-up* atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output* motor. Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian *gear* yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas putaran poros motor servo (Trikueni Dermanto, 2014)

Motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (*Pulse Wide Modulation / PWM*) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Ketika lebar pulsa kendali telah diberikan, maka poros motor servo akan bergerak atau berputar ke posisi yang telah diperintahkan, dan berhenti pada posisi tersebut dan akan tetap bertahan pada posisi tersebut. Jika ada kekuatan eksternal yang mencoba memutar atau mengubah posisi tersebut, maka motor servo akan mencoba menahan atau melawan dengan besarnya kekuatan torsi yang dimilikinya. Namun motor servo tidak akan mempertahankan posisinya untuk selamanya, sinyal lebar pulsa kendali harus diulang setiap 20 ms (mili detik) untuk menginstruksikan agar posisi poros motor servo tetap bertahan pada posisinya (Trikueni Dermanto, 2014)

2.6 Invers Kinematik

Invers Kinematik merupakan kebalikan dari Forward Kinematics, jika Forward Kinematik adalah metode untuk menentukan orientasi dan posisi *end-effector* dari besarnya sudut sendi dan panjang link lengan. Persamaan forward kinematics didapatkan berdasarkan jumlah DOF dan jenis kinematic chain dari kaki-kaki robot berkaki. Jadi inverse kinematics yaitu menentukan besarnya sudut sendi dari orientasi dan posisi end-effector saat panjang link telah ditetapkan. Metode ini diperlukan untuk mengetahui besarnya sudut pada persendian yang diperlukan agar end-effector dapat mencapai posisi yang dikehendaki. (Steven, 2013)



Gambar 2.6 Model Kontrol Kinematika Robot

(Handri, 2013)

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

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

Ada beberapa metode untuk memecahkan permasalahan inverse kinematics, yang metode yang dirasa paling sederhana adalah dengan pendekatan persamaan trigonometri yaitu berupa metode *Denavit – Hartenberg* (D-H). Metode D-H adalah metode untuk menganalisa hubungan gerak rotasi dan gerak translasi antara lengan lengan yang berhubungan dalam suatu manipulator. Dalam pembuatan lengan

robot, metode D-H menggunakan 4 buah parameter yaitu θ , α , d dan a . Untuk robot n -DOF maka keempat parameter tersebut ditentukan hingga yang ke- n dimana:

θ_n adalah sudut putar pada sudut Z_{n-1}

α_n adalah sudut putar pada sumbu X_n

d_n adalah translasi pada sumbu Z_{n-1}

a_n adalah translasi pada sumbu X_n

Tabel 2.1 Parameter Robot Lengan 4 DOF

Sendi ke- i	A_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	90	0	θ_1
2	l_2	0	0	θ_2
3	l_3	0	0	θ_3
4	l_4	0	0	θ_4

Dari table parameter robot lengan diatas dapat diubah menjadi persamaan matriks seperti berikut :

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dari table 1 dapat disubstitusikan dalam matriks transformasi ke dalam persamaan

$$A_1 = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & 0 & \sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & -\cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} \cos\theta_2 & 0 & \sin\theta_2 & l_2 \cdot \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & 0 & -\cos\theta_2 & l_2 \cdot \sin\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$A3 = \begin{pmatrix} \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 & l_3 \cdot \cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & 0 & -\cos\theta_3 & l_3 \cdot \sin\theta_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$A4 = \begin{pmatrix} \cos\theta_4 & 0 & \sin\theta_4 & l_4 \cdot \cos\theta_4 \\ \sin\theta_4 & 0 & -\cos\theta_4 & l_4 \cdot \sin\theta_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dari hasil perkalian persamaan (2), (3), (4), dan (5) dapat dihasilkan transformasi homogen 0A4 . 0A4 merupakan rantai perkalian dari matriks transformasi $A1, A2, A3, A4$ dan diekspresikan sebagai berikut :

$${}^0A4 = \begin{bmatrix} x^4 & y^4 & z^4 & p^4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} nx & sx & ax & px \\ ny & sy & ay & py \\ nz & sz & az & pz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^0A1 \cdot {}^1A2 \cdot {}^2A3 \cdot {}^3A4$$

Sehingga didapatkan persamaan Px, Py, Pz

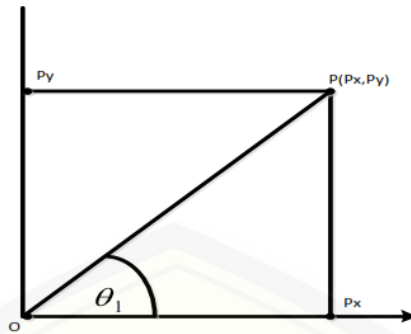
$$Px = (l_4 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_4 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) - (l_4 \cdot \cos\theta_1 \cdot \sin\theta_4 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) + (l_3 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + (l_2 \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$Py = (l_4 \cdot \sin\theta_1 \cdot \cos\theta_4 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) - (l_4 \cdot \sin\theta_1 \cdot \cos\theta_4 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + (l_3 \cdot \sin\theta_1 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + (l_2 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\theta_2) \dots\dots\dots (2.10)$$

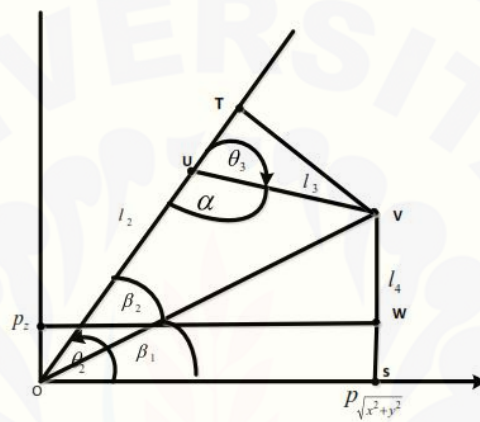
$$Pz = (l_4 \cdot \cos\theta_1 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) + (l_4 \cdot \sin\theta_4 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + (l_3 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)) + (l_2 \cdot \sin\theta_2) \dots\dots\dots (2.11)$$

Inverse kinematic digunakan untuk mendapatkan nilai sudut tiap sendi robot lengan dengan memasukkan posisi dan orientasi dari *end effector*. Pada *inverse kinematic* menggunakan metode geometris.

Gambar 2.12 adalah pergerakan untuk sudut θ_1 , berdasarkan wilayah pergerakan sudut θ_1 bergerak di wilayah horizontal atau berada pada sumbu x dan sumbu y. Gambar 3 adalah pergerakan untuk sudut $\theta_3, \theta_2, \theta_4$, pada sumbu x, sumbu y, sumbu z.



Gambar 2.7 Inverse kinematic untuk sudut θ_1



Gambar 2.8 Inverse kinematic Robot Lengan Sudut $\theta_3, \theta_2, \theta_4$

Berdasarkan gambar 2.12 dan gambar 2.13 maka dapat diperoleh nilai untuk sudut $\theta_3, \theta_2, \theta_4$, dan θ_1 sebagai berikut :

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{Py}{Px} \right) \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{Pz+l4}{\sqrt{Px^2+Py^2}} + \tan^{-1} \frac{l3.\sin\theta3}{l2+(l3.\cos\theta3)} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \frac{(Px^2 + Py^2 + (Pz+l4)^2) - l3^2 - l2^2}{2.l2.l3} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$\theta_4 = \theta_2 - \theta_3 + 90^0 \dots \dots \dots (2.15)$$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

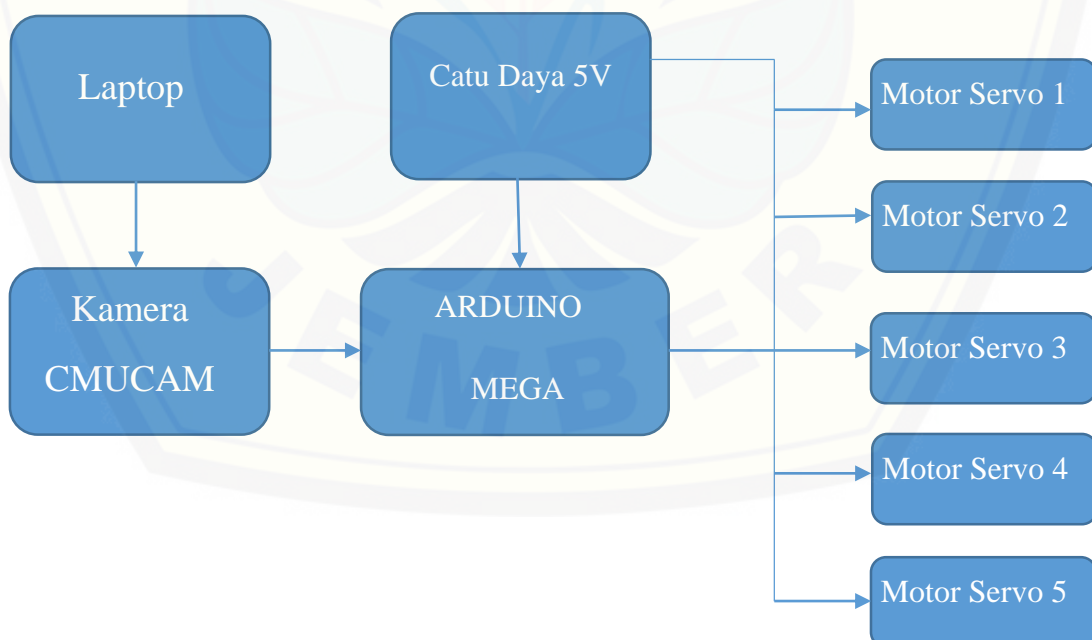
Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan prototype ini yaitu terdiri dari *hardware*, *software*, pembuatan power supply dan output seperti dibawah ini:

1. *Hardware*
 - a. Arduino Mega
 - b. *Power Supply*
 - c. Konveyor
 - d. Kamera
 - e. Sensor Photodioda
 - f. Motor Servo
 - g. Akrilik
2. *Software*
 - a. Arduino IDE
 - b. *Eagle PCB*
 - c. *Pixymon*
3. Bahan Habis Pakai
 - a. Kabel
 - b. Baut
 - c. Mur
 - d. Timah
 - e. Lem
4. Bahan Pendukung
 - a. Solder
 - b. Gunting
 - c. Bor
 - d. Tang
 - e. Setrika

3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat

Dari diagram blok pada gambar 3.1 menjelaskan tentang bagian bagian dari rangkaian yang tersusun menjadi satu sistem alat dengan sebuah sistem minimum mikrokontroler Arduino yang menjadi pengendali dari segala masukan dan keluaran .

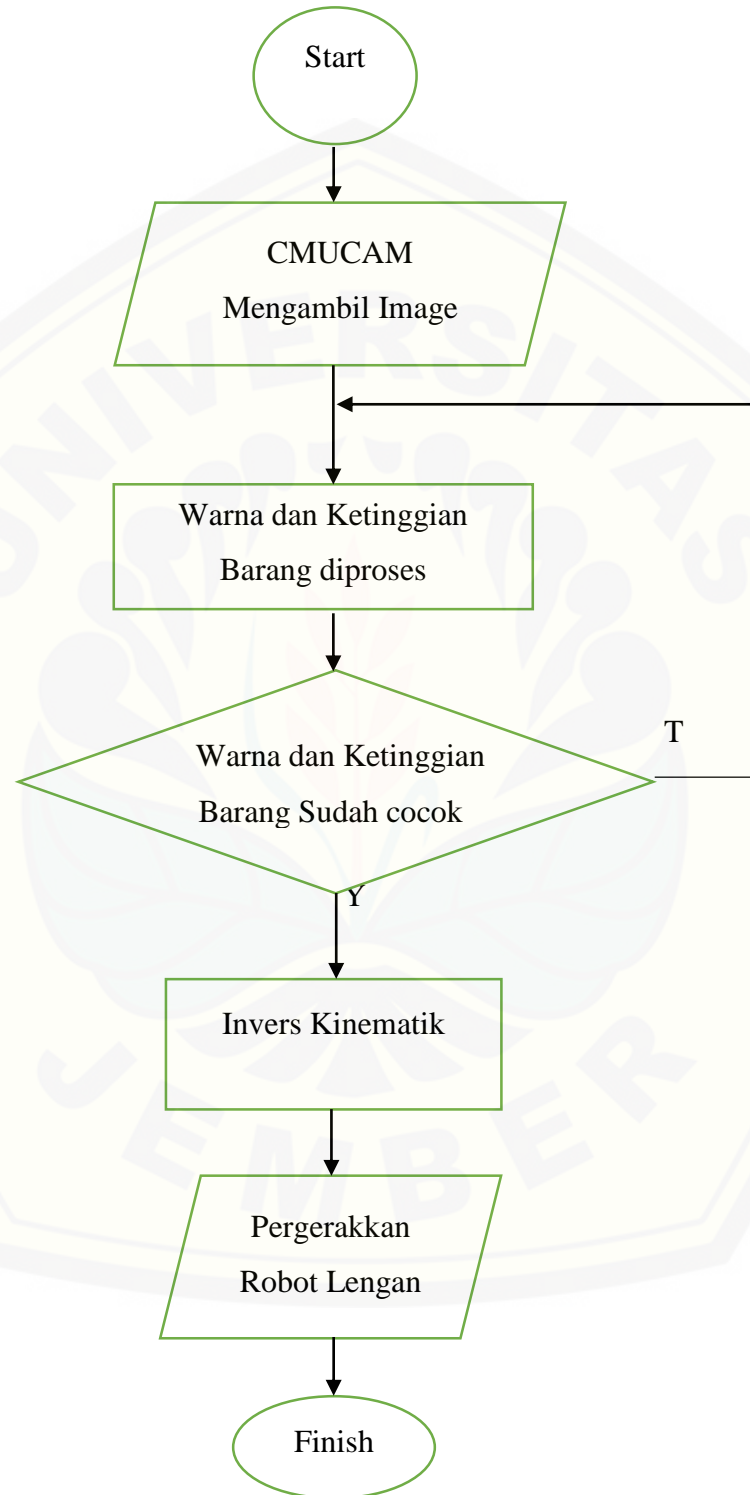
Bagian masukan dari blok diagram dibawah ini hanya dari sensor kamera CMUCAM. Kamera CMUCAM akan diatur kondisi keluarannya melalui laptop. Kamera CMUCAM akan membaca ketinggian dan warna dari sebuah barang kemudian hasil keluaran dari kamera akan dikendalikan langsung oleh Arduino, kemudian Arduino akan memberikan perintah untuk menggerakkan 5 buah motor servo untuk menuju barang yang diinginkan dan kemudian gripper akan bergerak mengambil barang hingga meletakkannya pada kondisi yang sudah ditentukan. Untuk catu daya dari semua sistem menggunakan *power supply* yang berfungsi untuk mensuplai Arduino dan tiap motor servo, jadi motor servo tidak mendapat tegangan dari Arduino.



Gambar 3.1 Blok Diagram Kerja Alat

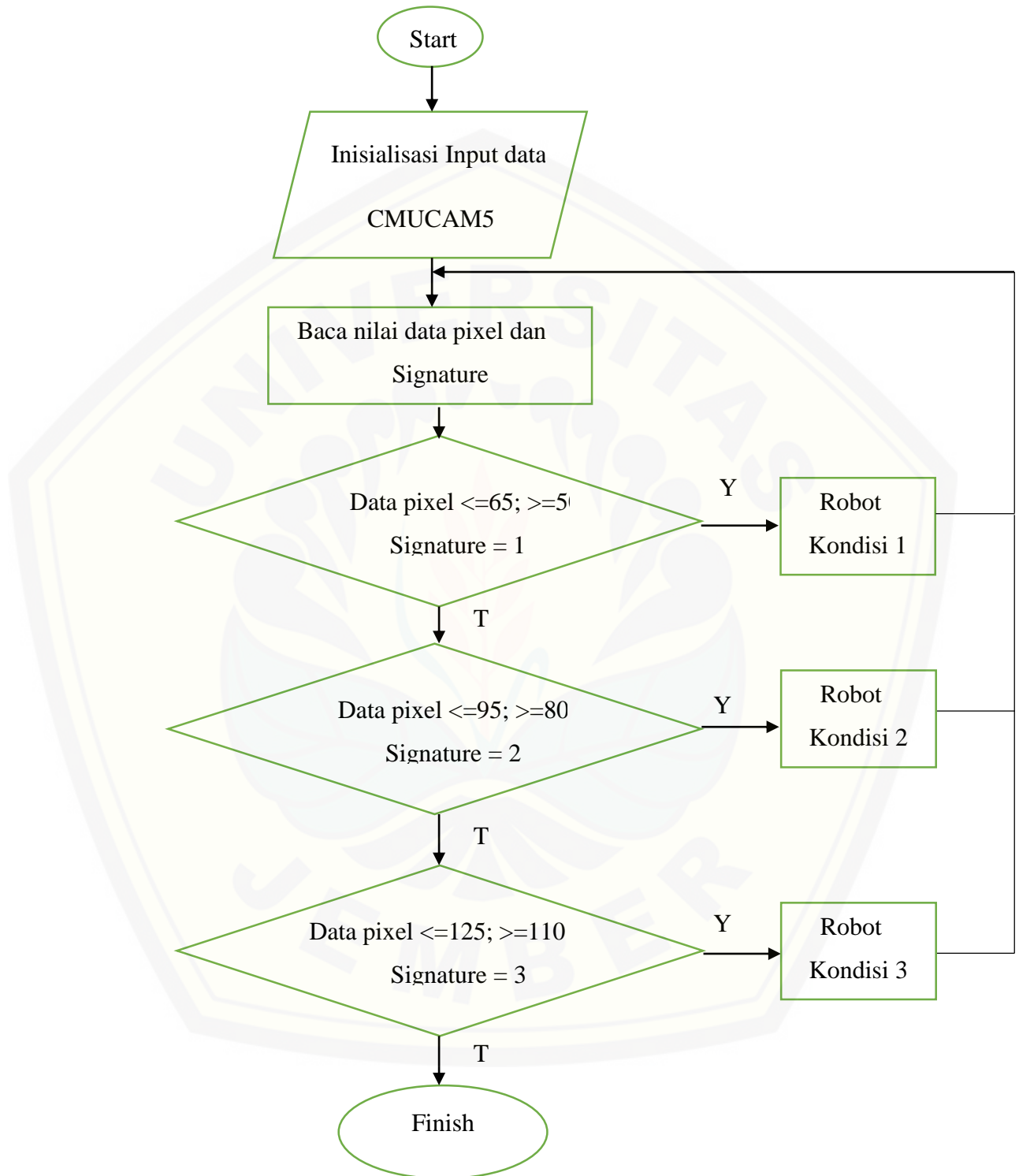
3.3 Flowchart

3.3.1 Flowchart Keseluruhan



Gambar 3.2 *Flowchart* Sistem Keseluruhan,.

3.3.2 Flowchart Scanning Barang



Gambar 3.3 Flowchart Scanning barang

- Penjelasan *Flowchart* Keseluruhan

Pada gambar 3.2 diatas menunjukkan proses jalannya alat secara keseluruhan, saat start maka proses awal yang dilakukan yaitu menginisialisasi sensor kamera dengan mendeteksi barang yang melewati dihadapan kamera. Jika kamera mendeteksi adanya barang maka kamera akan membaca warna dan ketinggian dari barang tersebut. Jika warna dan ketinggian dari barang sudah sesuai dengan *database* maka akan memulai proses perhitungan invers kinematik, setelah diketahui sudut tiap servo maka motor servo yang berada pada robot lengan akan bergerak mengambil barang tersebut dan meletakkan barang tersebut pada tempat yang sudah disediakan dan proses akan selesai

- Penjelasan *Flowchart Scanning* Benda

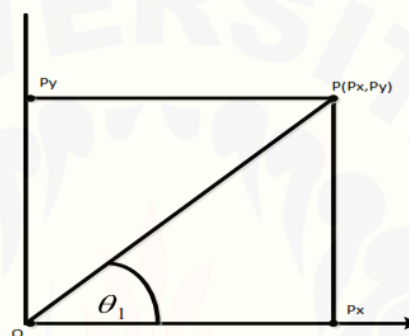
Pada gambar 3.3 diatas menjelaskan dimana awal *start* program melakukan pengenalan variable masukan dan inisialisasi. Setelah melakukan pengenalan atau inisialisasi maka program berlanjut untuk mendeteksi nilai-nilai dan data dari masukan CMUCAM5 yang berupa data ketinggian benda berupa besarnya *pixels*, dan data warna benda berupa nilai *signature*.

Data-data yang sudah terbaca kemudian di atur sesuai dengan kondisi robot yang diinginkan. Untuk kondisi robot pertama kriteria data yang di gunakan menggunakan nilai *pixels* ≤ 65 ; ≥ 50 dan *signature* 1 yang menandakan barang berwarna Merah, bila data tersebut terpenuhi maka program kondisi robot pertama akan berjalan. Untuk kondisi robot pertama kriteria data yang di gunakan menggunakan nilai *pixels* ≤ 95 ; ≥ 80 dan *signature* 2 yang menandakan barang berwarna Hijau. Untuk kondisi robot pertama kriteria data yang di gunakan menggunakan nilai *pixels* ≤ 125 ; ≥ 110 dan *signature* 3 yang menandakan barang berwarna Biru. Data yang didapat oleh CMUCAM berupa nilai ketinggian benda dan warna benda dapat ditentukan nilai-nilai batas sebagai acuan untuk memberikan perintah pada pergerakan robot lengan. Setelah semua program berjalan maka program akan selesai atau *End*

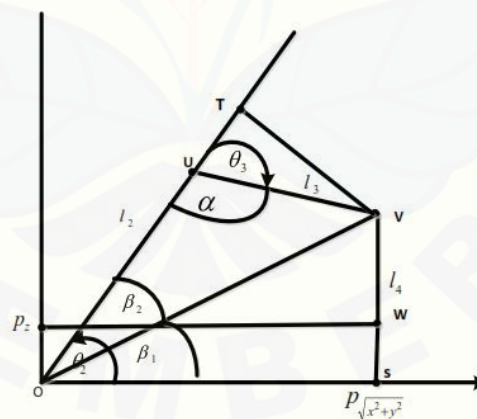
3.4 Rancangan Perumusan *Inverse Kinematik* pada Lengan Robot

Invers Kinematik digunakan untuk mendapatkan nilai sudut tiap sendi robot lengan dengan memasukkan posisi dan orientasi dari *end effector*. Pada *invers kinematik* menggunakan metode geometris.

Gambar 3.6 adalah pergerakan untuk sudut θ_1 , berdasarkan wilayah pergerakan sudut θ_1 bergerak diwilayah horizontal atau berada pada sumbu x dan sumbu y. Gambar 3.7 adalah pergerakan untuk sudut θ_3 , θ_2 , θ_4 , pada sumbu x, sumbu y, sumbu z.



Gambar 3.4 *Invers Kinematik* untuk sudut θ_1



Gambar 3.5 *Invers Kinematik* Robot Lengan Sudut θ_3 , θ_2 , θ_4

Berdasarkan gambar 3.6 dan gambar 3.7 maka dapat diperoleh nilai untuk sudut θ_3 , θ_2 , θ_4 , dan θ_1 sebagai berikut :

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{Py}{Px} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{Pz+l4}{\sqrt{Px^2+Py^2}} + \tan^{-1} \frac{l3.\sin\theta3}{l2+(l3.\cos\theta3)}$$

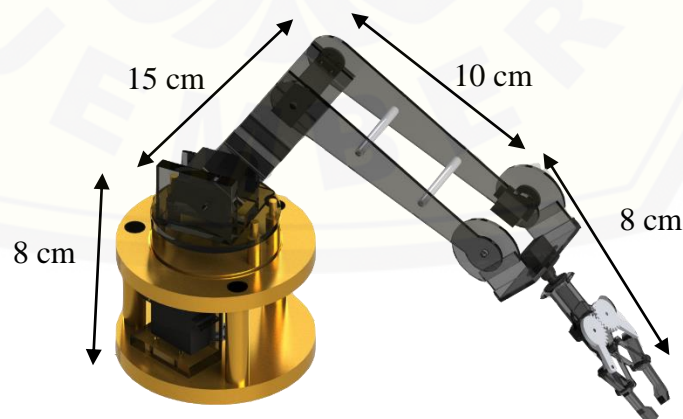
$$\theta_3 = \cos^{-1} \frac{(Px^2 + Py^2 + (Pz+l4)^2) - l3^2 - l2^2}{2.l2.l3}$$

$$\theta_4 = \theta_2 - \theta_3 + 90^0$$

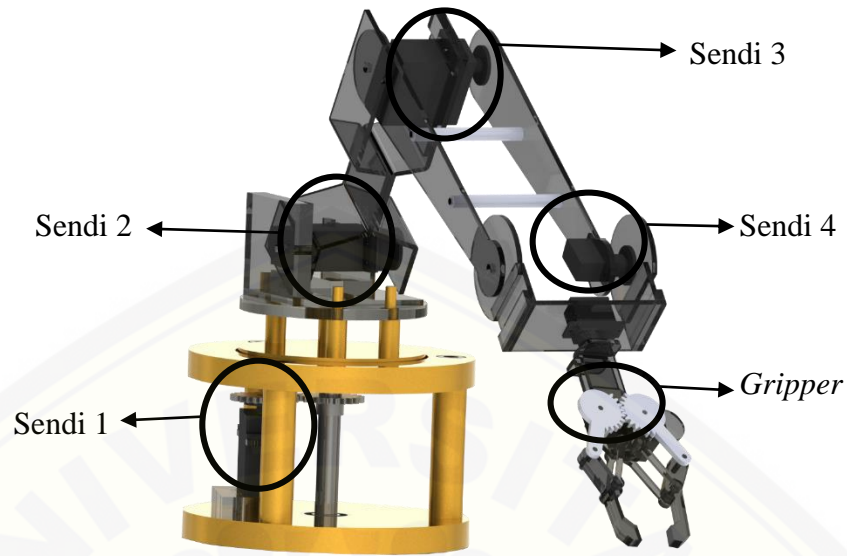
3.5 Perancangan Mekanik Alat

3.5.1 Desain Mekanik Robot

Gambar 3.8 dan gambar 3.9 menunjukkan perancangan mekanik robot lengan yang akan dibuat. Dalam robot lengan menggunakan sebuah *gripper* yang berfungsi sebagai *end effector* atau yang digunakan untuk mengambil barang. Sedangkan untuk sensor nya sendiri digunakan sebuah kamera CMUCAM5 yang dapat membaca warna dan ketinggian dari sebuah benda. Robot lengan itu sendiri memiliki 4 motor servo yang digunakan untuk menggerakkan lengan dari robot tersebut, sedangkan untuk motor servo terakhir digunakan untuk menggerakkan *gripper*.



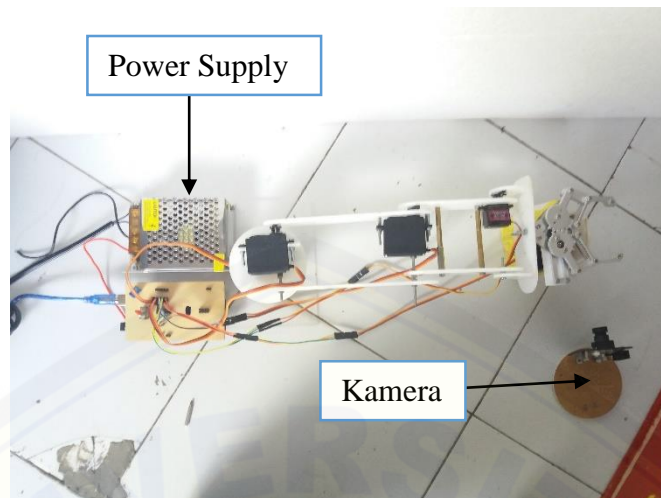
Gambar 3.6 Desain Lengan Robot Tampak Samping



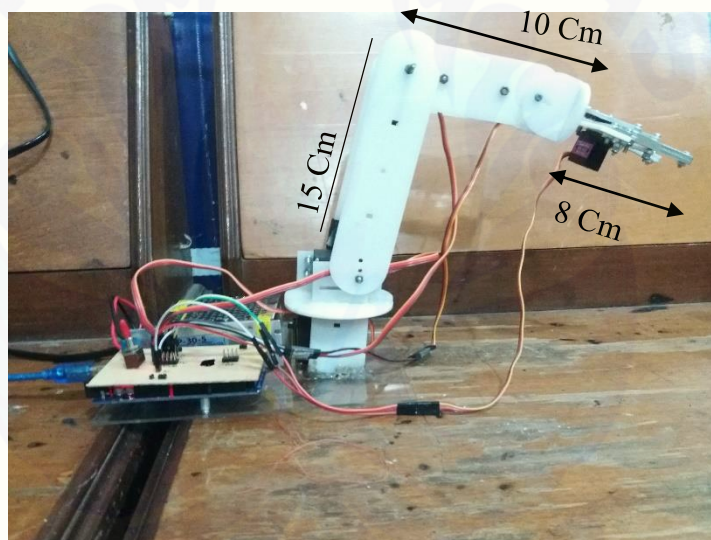
Gambar 3.7 Desain Lengan Robot Tampak Depan

3.5.2 Hasil Perancangan Mekanik Robot Lengan

Dalam desain mekanik yang digambarkan sebelumnya, kurang lebih memiliki bentuk dan posisi motor servo yang sama, akan tetapi robot yang sudah dirancang memiliki kekurangan yaitu berat dari bahan yang digunakan dan motor servo yang memiliki berat nya sendiri. Jadi robot lengan tidak sepenuhnya bisa berdiri secara tegak dikarenakan dalam pembuatan mekaniknya kurang presisi dan sesuai hingga robot akan terlihat miring saat melakukan proses pengambilan dan pemindahan barang. Untuk panjang tiap lengan memiliki perbedaan dari desain yang sudah dibuat, yaitu pada panjang lengan antara servo kedua dan ketiga memiliki panjang 15cm , untuk panjang lengan setelahnya memiliki panjang 10cm dan untuk panjang dari servo keempat hingga ujung *gripper* memiliki panjang 8cm, maka panjang tersebut akan mempengaruhi dari hasil perhitungan invers kinematic robot.



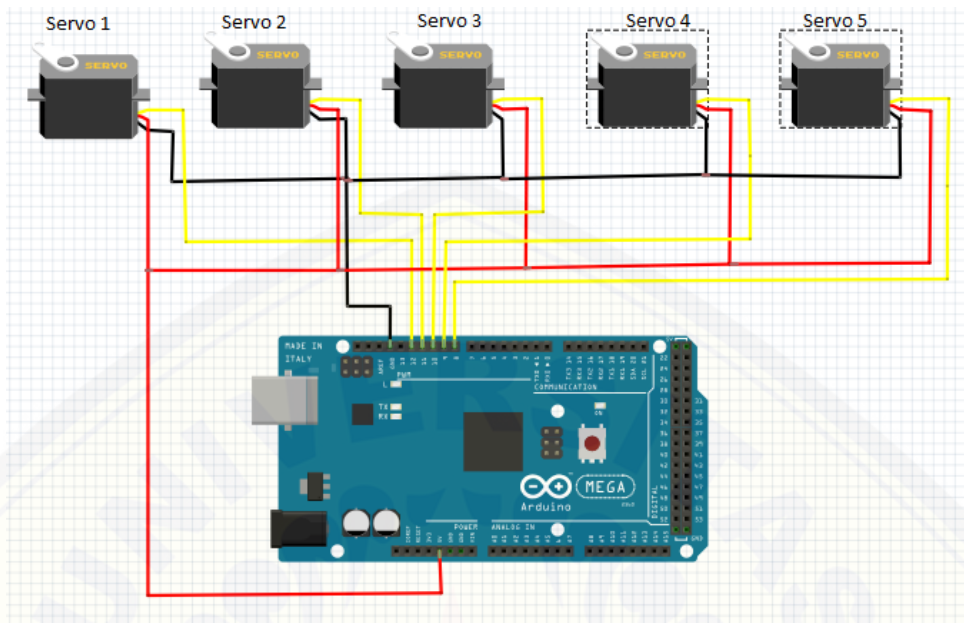
Gambar 3.8 Bodi Robot Lengan Tampak Atas



Gambar 3.9 Bodi Robot Lengan Tampak Samping

Dalam gambar 3.8 dan gambar 3.9 dapat terlihat bahwa bodi robot lengan sepenuhnya menggunakan bahan akrilik, dimana itu membuat robot lengan akan lebih kuat dan berat untuk bergerak. Pada motor servo pertama hingga motor servo kelima semuanya tersambung pada kontroler Arduino yang di Suplai dengan *power supply*. Untuk peletakkan kamera CMUCAM sendiri diletakkan sejauh 40 cm dari barang yang akan diseleksi dan jarak robot dengan barang kurang lebih 100 cm.

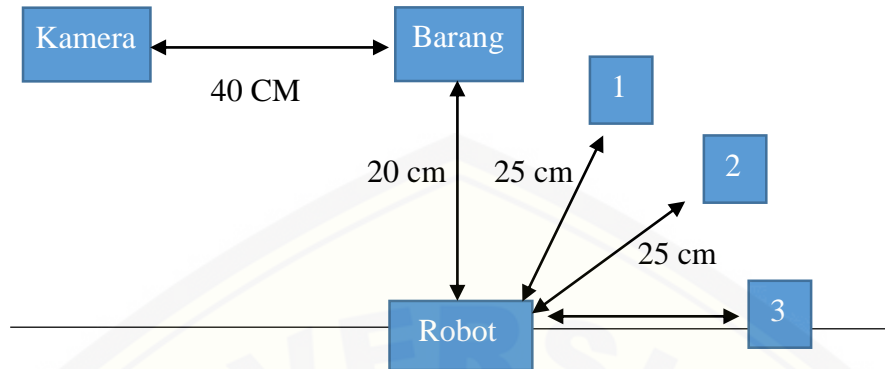
3.6 Perencanaan Elektronika



Gambar 3.10 Rangkaian Motor Servo

Motor Servo merupakan motor yang dapat diatur putaran sudut dari motor tersebut. Dapat diatur putaran motor servo tersebut dari kontroler Arduino dengan memasukkan program sudut yang akan diinginkan. Pada gambar 3.12 dapat terlihat rangkaian motor servo dimana mulai motor servo pertama hingga kelima akan terhubung dengan pin 12,11,10,9,dan 8 dari Arduino. Sedangkan untuk *ground* dari motor servo akan dihubungkan menjadi satu dan akan tersambung *ground* dari Arduino dan *power supply*. Untuk power 5V dari motor servo akan menerima power dari *power supply* yang memiliki arus yang lebih besar hingga mampu untuk menggerakkan 5 buah motor servo karena jika power 5V dihubungkan dengan pin 5V dari Arduino maka motor servo tidak mampu bekerja secara maksimal.

3.7 Titik Peletakkan tiap Barang



Gambar 3.11 Titik Peletakkan Tiap Barang



Gambar 3.12 Keseluruhan Sistem Kerja Robot Lengan

Dalam gambar 3.11 terlihat bahwa dimana titik titik dimana robot akan meletakkan barang warna merah, hijau, maupun biru. Terlihat juga dimana kondisi robot berada dan kondisi barang awal berada. Titik barang berada kurang lebih 20 cm dari robot berada, sedangkan untuk titik pertama merupakan titik dimana peletakkan barang berwarna merah. Barang warna merah diletakkan kurang lebih 5 cm dari titik awal barang, sedangkan untuk titik kedua merupakan titik dimana peletakkan barang berwarna hijau, barang warna hijau diletakkan kurang lebih 5 cm dari titik barang warna merah. Untuk titik ketiga merupakan titik dimana peletakkan

barang berwarna biru, barang berwarna biru diletakkan 90 derajat dari kondisi awal robot dan kurang lebih 5 cm dari titik peletakkan barang warna hijau.

Titik peletakkan barang hanya bisa diatur dalam kuadran 1 atau hanya 90 derajat pergerakan robot lengan, hal ini dikarenakan perhitungan unvers kinematik sendiri memiliki nilai maksimal sebesar 90 derajat sehingga titik yang sudah diatur hanya dalam jangkauan 90 derajat pergerakan robot lengan. Untuk tiap titik memiliki kondisi pergerakan robot lengan yang berbeda beda, dimana untuk titik 1 memiliki kondisi robot lengan yang memiliki nilai sudut yang berbeda beda dengan titik 2 dan titik 3 untuk masing masing servo, hal ini dikarenakan barang yang diletakkan memiliki ketinggian yang berbeda beda hingga untuk itu setiap sudut servo memiliki nilai yang berbeda beda.

Dalam gambar 3.12 terlihat hasil sistem secara keseluruhan dari skema yang dibuat dari gambar 3.11. Dalam gambar 3.12 terlihat juga bahwa peletakkan *output* dari setiap warna kurang lebih sesuai dengan skema yang sudah dibuat, dimana *ouput* hanya diletakkan pada kuadran 1 atau perputaran robot sebesar 90 derajat. Dari gambar tersebut terlihat juga terdapat laptop yang berfungsi untuk mensuplai kamera CMUCAM dan melihat hasil gambar kamera yang dijadikan masukan untuk pergerakan robot. Untuk kamera CMUCAM sendiri dihubungkan dengan Arduino dengan menggunakan sebuah kabel yang langsung terhubung dalam pin ICSP Arduino. Kabel tersebut digunakan untuk mengirm data warna dan ketinggian dari barang yang terbaca pada kamera CMUCAM, kemudian hasil warna dan ketinggian tersebut dijadikan masukan pergerakan robot dalam 3 kondisi yang berbeda beda untuk setiap warnanya.

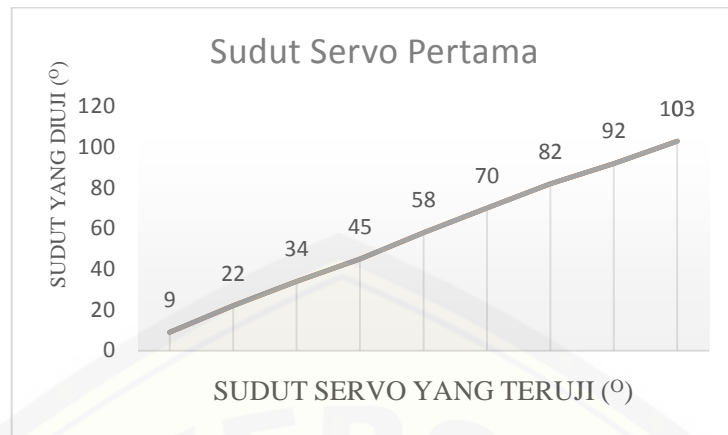
Proses penentuan titik koordinat peletakkan dari setiap barang pada gambar diatas sudah ditentukan sendiri dari awal saat proses pemrogramman. Titik *output* tersebut tidak bisa dipindahkan, karena robot sudah diprogram dari awal untuk meletakkan barang tersebut pada koordinat yang sudah diatur dari awal, maka robot tersebut hanya dapat bergerak sesuai dengan masukan yang diberikan dari kamera CMUCAM.

3.8 Kalibrasi Motor Servo

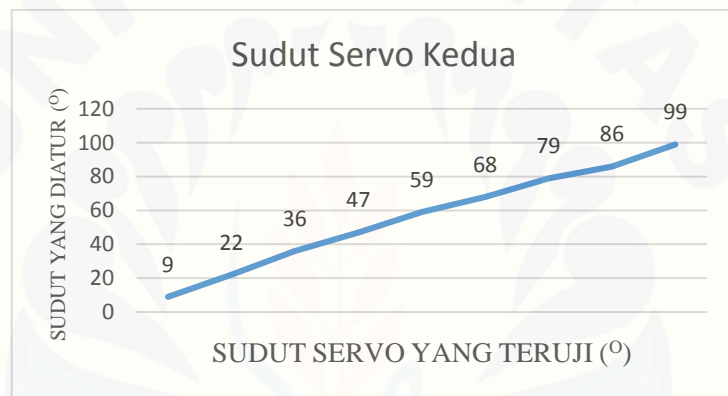
Dalam pergerakan sebuah robot lengan diperlukan perputaran nilai sudut motor servo yang tepat atau presisi agar robot lengan dapat bergerak menuju ke posisi yang diinginkan, maka diperlukan proses kalibrasi pada setiap motor servo yang digunakan agar dapat membandingkan nilai nya hingga ditemukan berapa nilai error persen pada setiap motor servo yang digunakan. Motor servo yang digunakan yaitu 3 motor servo MG995 dan 1 motor servo SG90.

Tabel 3.1 Data Sudut Motor Servo

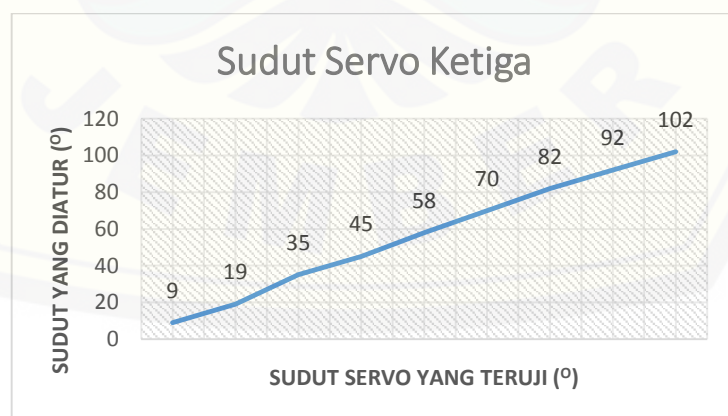
Sudut yang Diatur	Sudut Servo pertama yang terukur	Sudut Servo kedua yang terukur	Sudut Servo ketiga yang terukur	Sudut Servo keempat yang terukur
10	9	9	8	9
20	22	22	19	24
30	34	36	33	34
40	45	47	47	46
50	58	59	59	59
60	70	68	72	66
70	82	79	81	80
80	92	86	94	89
90	103	99	101	100



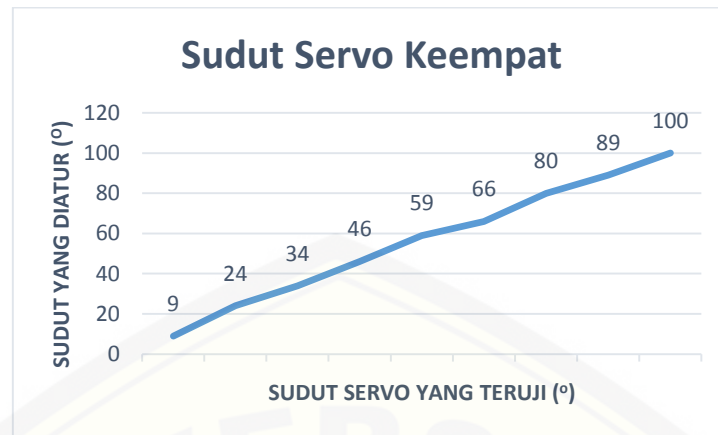
Gambar 3.13 Grafik Pengujian Sudut Servo Pertama



Gambar 3.14 Grafik Pengujian Sudut Servo Kedua



Gambar 3.15 Grafik Pengujian Sudut Servo Ketiga



Gambar 3.16 Grafik Pengujian Sudut Servo Keempat

Proses kalibrasi putaran sudut motor servo ini dilakukan menggunakan kertas yang menampilkan putaran derajat, dari situ setiap motor servo diuji putaran sudut nya mulai dari 0° hingga 90° . Pengujian hanya dilakukan sebesar 90° dikarenakan putaran sudut servo yang digunakan nanti maksimal hanya mencapai 90° . Pada tabel 3.4 diatas menunjukkan data dari putaran sudut motor servo pertama kedua, ketiga, dan keempat robot lengan yang digunakan memberikan pergerakan pada robot. Servo yang digunakan adalah servo MG995 pada servo pertama kedua dan ketiga sedangkan untuk servo keempat menggunakan servo SG90. Dari data sudut servo yang sudah diuji maka dapat dilakukan proses kalibrasi untuk mengurangi error persen pada tiap servo nya.

Dari proses kalibrasi sendiri nantinya akan didapatkan hasil perhitungan untuk mendapatkan nilai sudut yang mendekati nilai sudut yang diinginkan dengan mencari garis linier dari grafik yang sudah dibuat. Proses kalibrasi ini sendiri memiliki rumus perhitungan yang berbeda beda pada setiap motor servo dikarenakan sudut hasil pengujian dari tiap servo memiliki nilai yang berbeda beda. Persamaan perhitungan matematis yang didapatkan yaitu berupa dimana nilai y akan ditemukan dari perkalian antara hasil perhitungan invers kinematik yang sudah dibuat dengan nilai yang didapat kan dari persamaan grafik yang sudah dibuat. Dari rumus tersebut maka akan didapatkan nilai sudut yang lebih tepat.

Persamaan perhitungan matematis yang didapatkan dari grafik pada gambar 3.13 untuk perhitungan motor servo pertama yaitu :

$$y = 0,848 * x + 1,4773 \dots\dots\dots(3.1)$$

Persamaan perhitungan matematis yang didapatkan dari grafik pada gambar 3.14 untuk perhitungan motor servo kedua yaitu :

$$y = 0,9056 * x - 0,8146 \dots\dots\dots(3.2)$$

Persamaan perhitungan matematis yang didapatkan dari grafik pada gambar 3.15 untuk perhitungan motor servo ketiga yaitu :

$$y = 0,8319 * x + 2,8495 \dots\dots\dots(3.3)$$

Persamaan perhitungan matematis yang didapatkan dari grafik pada gambar 3.16 untuk perhitungan motor servo keempat yaitu :

$$y = 0,8916 * x + 0,2254 \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

x = Nilai Sudut yang diperoleh dari perhitungan Invers Kinematik

y = Nilai Sudut Hasil Kalibrasi

BAB V PENUTUP

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil dan kelemahan dari system yang telah dibuat. Setelah melakukan perencanaan, pembuatan, dan implementasi robot lengan, kemudian dilakukan pengujian dan analisa maka dapat diambil kesimpulan dan saran-saran sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

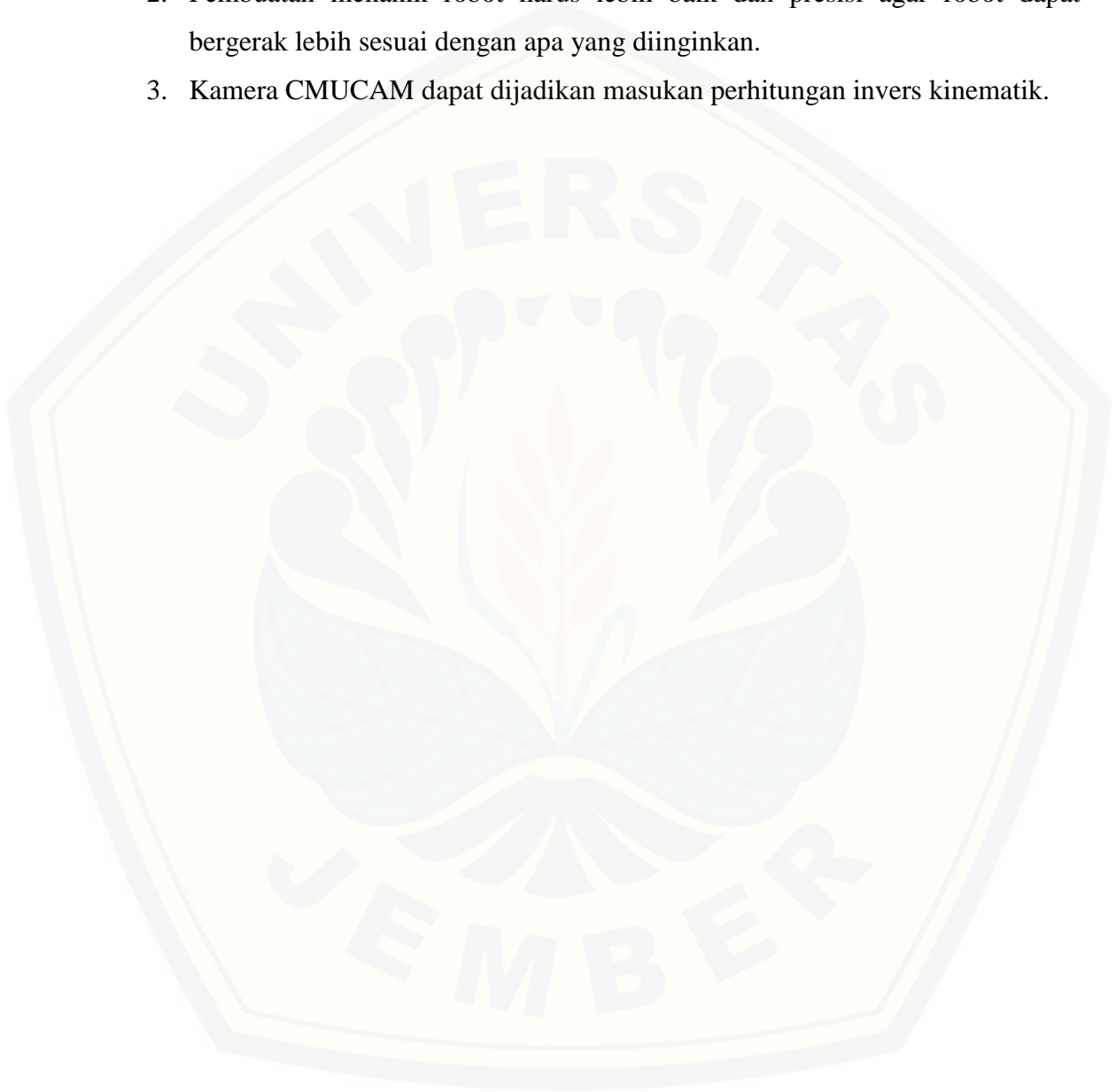
Dengan memperhatikan data pengamatan dan analisis pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa :

1. Robot Lengan yang sudah dibuat dapat bergerak mengambil barang warna merah, hijau, dan biru dan meletakkannya tepat pada kondisi yang sudah ditentukan, hal ini dibuktikan pada tabel 4.5 dimana robot dapat memindahkan barang warna merah dalam kurang waktu 5 detik.
2. Menggunakan perhitungan Invers Kinematik, robot lengan dapat bergerak secara menyeluruh dari sendi pertama hingga keempat sesuai dengan kondisi yang diinginkan, mulai dari pengambilan barang hingga peletakkan barang. Nilai sudut putaran motor servo setiap kondisi dapat diketahui dari perhitungan invers kinematik.
3. Kamera CMUCAM5 dapat membedakan warna dan ketinggian benda menggunakan aplikasi *pixymon*. Dari tabel 4.2 dapat terlihat bahwa terukur nilai ketinggian barang warna merah terbaca sebesar 59 *pixels* dengan jarak kamera dari benda sejauh 40 cm.

5.2 Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Struktur pembuatan robot dapat dibuat lebih ringan agar beban pada servo tidak terlalu besar.
2. Pembuatan mekanik robot harus lebih baik dan presisi agar robot dapat bergerak lebih sesuai dengan apa yang diinginkan.
3. Kamera CMUCAM dapat dijadikan masukan perhitungan invers kinematik.



DAFTAR PUSTAKA

- Budiono, A., Sulistijono, I. A., & Setiawan, M. A. (2011) Robot Lengan dengan Pengendali Lengan Manusia.
- Hendriyono, Dede. Artikel "Mengenal Arduino Mega2560". 2014.
- Irawan, Diyan. 2013. *Perancangan dan Pembuatan Alat Penyortir Barang Berdasarkan Warna Berbasis Arduino Uno*. Teknik Informatika. Universitas Panca Marga, Probolinggo.
- Indrayanto, Andes. 2003. Aplikasi Mikrokontroler ATMEGA 90S8515 Sebagai Pengatur pada Alat Penyeleksian dan Pemindah Barang. *Semarang: Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro*.
- Kucuk, Serdar dan Bingul, Zafer. 2006. Robot Kinematics : Forward dan Inverse Kinematics.
- Munadi. 2013. *Analisa Forward Kinematic pada Simulator Arm Robot 5 Dof yang mengintegrasikan Mikrokontroler Arduino-Uno dan LabView*. Semarang: Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Mohammed, Amin. 2015. Kinematics Modeling of a 4-DOF Robotic Arm. <https://www.researchgate.net/publication/279201859>, 87-91
- Henggar, Rizka 2015. *Rancang Bangun Robot Lengan Pemindah dan Penyeleksi Barang Berdasarkan Warna Berbasis Arduino Uno*. Teknik Elektro. Universitas Panca Marga, Probolinggo.
- Saftari, Firmansyah. 2015 "*Proyek Robotik Keren dengan Arduino*". Jakarta: PT. Elex Media Komputindo
- Syahrul. 2008. Karakteristik dan Pengontrolan Servomotor. *Jurnal Teknik Komputer Universitas Komputer Indonesia*.
- Wijaya, C, Marvin. 2007. "*Pengolahan Citra Digital Menggunakan Matlab*". Bandung: Informatika.
- <https://handritoar.wordpress.com/2013/08/28/1-kinematik/>. [Diakses 25 November 2016].

<http://insauin.blogspot.co.id/2014/12/makalah-motor-dc.html>. [Diakses 25 November 2016].

http://www.mind.ilstu.edu/curriculum/medical_robotics/motors.php [Diakses 25 November 2016].

<http://infotechno-education.blogspot.co.id/2015/12/sensor-kamera-pixy-cmucam-5-untuk.html> [Diakses 25 November 2016].

<http://cmucam.org/projects/cmucam5> [Diakses 25 November 2016].

<http://sepriadikoto.blogspot.co.id/2011/09/lengan-robotku-adalah-taku.html>. [Diakses 18 Desember 2016].

<http://khansraa.blogspot.co.id/2011/11/pengolahan-citra.html>. [Diakses 18 Desember 2016].

<http://yusuf-saepulloh.blogspot.co.id/2012/01/motor-dc.html> [Diakses 18 Desember 2016].

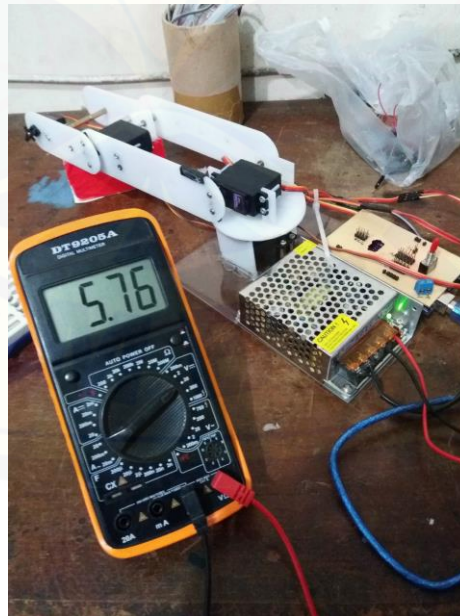
LAMPIRAN

1. Foto Pengujian Sensor dan Pengambilan Data

- Gambar Pengujian Kamera CMUCAM membaca Kondisi Barang



- Gambar Pengujian Tegangan *Power Supply*



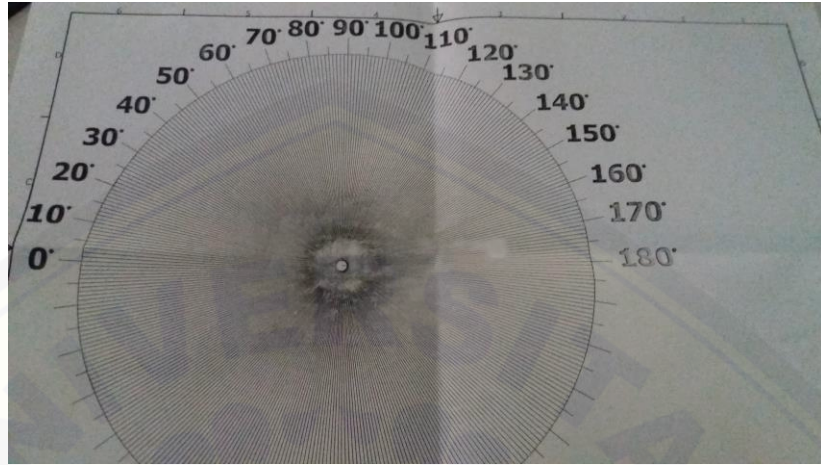
- Gambar Pengukuran Jarak Kamera CMUCAM pada Barang warna Merah



- Pembacaan Jarak Barang pada Serial Monitor

```
COM10 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
Width: 41 Height: 118 Distance W: 39.02in. Distance H: 39.3
Average: 39.003 in.
Width: 42 Height: 115 Distance W: 38.10in. Distance H: 40.3
Average: 39.003 in.
Width: 13 Height: 2 Distance W: 123.08in. Distance H: 2320.
Average: 1222.0010 in.
Width: 42 Height: 116 Distance W: 38.10in. Distance H: 40.0
Average: 39.003 in.
Width: 42 Height: 117 Distance W: 38.10in. Distance H: 39.6
Average: 39.003 in.
Width: 42 Height: 115 Distance W: 38.10in. Distance H: 40.3
Average: 39.003 in.
Width: 42 Height: 115 Distance W: 38.10in. Distance H: 40.3
Average: 39.003 in.
Width: 42 Height: 114 Distance W: 38.10in. Distance H: 40.7
Average: 39.003 in.
Width: 40 Height: 115 Distance W: 40.00in. Distance H: 40.3
Average: 40.004 in.
Width: 46 Height: 117 Distance W: 34.78in. Distance H: 39.6
Average: 37.001 in.
Width: 9 Height: 3 Distance W: 177.78in. Distance H: 1546.6
Average: 862.0010 in.
Width: 43 Height: 114 Distance W: 37.21in. Distance H: 40.7
Average: 39.003 in.
Width: 41 Height: 114 Distance W: 39.02in. Distance H: 40.7
Average: 40.004 in.
Width: 43 Height: 116 Distance W: 37.21in. Distance H: 40.0
Average: 39.003 in.
```


- Gambar Kalibrasi Motor Servo



- Pembacaan Ketinggian dan warna dari barang pada serial monitor

```
Detected 1:  
block 0: sig: 1 x: 155 y: 145 width: 34 height: 94
```

2. Listing Program Arduino

```
#include <SPI.h>  
#include <Pixy.h>  
#include <math.h>  
Pixy pixy;  
  
#include <Servo.h>  
Servo satu, dua, tiga, empat, lima;  
  
float A,B;  
float sdt1, sdt2, sdt3, sdt4;  
float pjg1, pjg2, pjg3, pjg4;
```

```
float servo1,servo2,servo3,servo4;

float sdt3_der,sdt3_rad;

float y1,y2,y3,y4;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.print("Mulai.....\n");
  pixy.init();

  satu.attach(12);
  dua.attach(11);
  tiga.attach(10);
  empat.attach(9);
  lima.attach(8);
}

void kamera ()
{
  static int i = 0;
  int j;
  uint16_t blocks;
  char benda[32];

  blocks = pixy.getBlocks();//Ambil benda
```

```
if (blocks)// jika ada benda, pilih !
{
  if(pixy.blocks[j].height>50 && pixy.blocks[j].height<65 &&
pixy.blocks[j].signature==1)
  {
    Serial.print("Satu");
    invers1(-1,-5,-5.8,1);
    invers1(-1,-5,-4,1);
    invers1(-4,-5,-5,1);
    invers1(-4,-5,-5,0);
    delay(100);
  }
  if(pixy.blocks[j].height>80 && pixy.blocks[j].height<95 &&
pixy.blocks[j].signature==2)
  {
    Serial.print("Dua");
    invers1(-1,-5,-5.6,1);
    invers1(-1,-5,-4,1);
    invers1(-9,-5,-9,1);
    invers1(-9,-5,-9,0);
    delay(100);
  }
  if(pixy.blocks[j].height>110 && pixy.blocks[j].height<125 &&
pixy.blocks[j].signature==3)
  {
```

```
Serial.print("Tiga");
invers1(-1,-5,-5,1);
invers1(-1,-5,-4,1);
invers1(-5,-0,-5,1);
invers1(-5,-0,-5,0);
invers1(-5,-0,-4,0)
delay(100);
}
}
}

void loop()
{
  int j;
  invers1(-1,-5,-4,0);
  //coba1();
  kamera();
  Serial.print(sdt1);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(sdt2);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(sdt3);
  Serial.print("\t");
```

```
Serial.println(sdt4);
//ambil();
//kamera();*/
}

void ambil(){
    invers1(-1,-6,-7,0);
    delay(1000);
    invers1(-1,-6,-7,1);
    delay(500);
}

void invers1(float x, float y, float z, int gripper)
{

    pjpg2= 15;
    pjpg3= 10;
    pjpg4= 8;
    sdt1= atan(y/x);//radian
    sdt1= sdt1*57.295;//derajat
    sdt3_rad= acos(((pow(x,2) + pow(y,2) + pow((z+pjpg4),2)) - (pow(pjpg3,2)) -
        (pow(pjpg2,2)))/(2*pjpg2*pjpg3));//radian
    sdt3_der= sdt3_rad*57.295;//derajat
    sdt3=sdt3_der-90;
    A=(z+pjpg4)/(sqrt((x*x)+(y*y)));
    B=(pjpg3*(sin(sdt3_rad)))/(pjpg2+(pjpg3*(cos(sdt3_rad))));
```

```
sdt2= atan(A) + atan(B);  
sdt2= sdt2*57.295;  
sdt4= (sdt2 - (sdt3)) + 90;  
y1=(0.848*(sdt1))+1.4773;  
y2=(0.9056*(sdt2))-0.8146;  
y4=(0.8319*(sdt3))+2.8495;  
y3=(0.8916*(sdt4))+0.2254;  
empat.write(30);  
delay(100);  
satu.write(y1);  
delay(400);  
dua.write(180-y2);  
delay(300);  
tiga.write(y3-90);  
if(gripper==0){lima.write(0);}  
else{lima.write(60);}  
delay(100);  
}
```

3. Nilai Sudut Servo dan Kondisi Robot Setelah Perhitungan Invers Kinematik

Kondisi	Warna	Koordinat	Sudut Servo1	Sudut Servo2	Sudut Servo 3	Sudut Servo 4
Awal	-	1,5,4	78,69	68,91	70,62	88,30
Ambil	Merah	1,5,5.2	78,69	56,11	75,16	70,95
Ambil	Hijau	1,5,5	78,69	47,20	77,81	59,39
Ambil	Biru	1,5,4.8	78,69	40,80	79,52	51,28
Akhir	Merah	4,5,5.5	51,34	49,70	68,96	70,74
Akhir	Hijau	7.5,5,7	29,05	41,59	46,88	84,71
Akhir	Biru	5,0,5	0,00	55,6	75,93	69,68