

repository.ub.ac.id

**IMPLEMENTASI SENSOR WARNA TCS 230 PADA  
ROBOT HUMANOID KRISI SEBAGAI MODE TARIAN DI  
ARENA PERLOMBAAN**

**SKRIPSI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan*

*Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



**DISUSUN OLEH:**

**IRFAN HABIBUR RAHMAN**

**NIM. 0810633054-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**MALANG**

**2012**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**IMPLEMENTASI SENSOR WARNA TCS 230 PADA ROBOT  
HUMANOID KRISI SEBAGAI MODE TARIAN DI ARENA  
PERLOMBAAN**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**IRFAN HABIBUR RAHMAN**

**NIM. 0810633054-63**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Ir. Nurussa'adah, MT**  
**NIP. 19690725 199702 1 001**

**Raden Arief Setyawan, ST., MT**  
**NIP. 19621211 198802 1 001**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**IMPLEMENTASI SENSOR WARNA TCS 230 PADA ROBOT  
HUMANOID KRISI SEBAGAI MODE TARIAN DI ARENA  
PERLOMBAAN**

**SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**IRFAN HABIBUR RAHMAN**

**NIM. 0810633054-63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 31 Juli 2012

**DOSEN PENGUJI**

**Ponco Siwindarto, Ir., M.Eng.Sc.**

**NIP. 19590304 198903 1 001**

**Ir. M. Julius St., MS.**

**NIP. 19540720 198203 1 002**

**Mochammad Rif'an, ST.,MT.**

**NIP. 19710301 200012 1 001**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Dr. Sholeh Hadi Pramono, Ir., MS.**

**NIP. 19710615 199802 1 003**

## PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karuniaNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi Sensor Warna TCS 230 Pada Robot *Humanoid* KRSI Sebagai Mode Tarian Di Arena Perlombaan”. Skripsi ini disusun sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada :

- Ibu, Ayah, atas segala nasehat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya di dalam membesarkan dan mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
- Kakak dan kedua adikku yang banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
- Bapak Dr. Sholeh Hadi Pramono, Ir., MS selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT, Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Mochammad Rif’an, ST., MT sebagai Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak M. Julius St, Ir., MS sebagai Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Ibu Ir. Nurussa’adah, MT sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang telah diberikan,
- Bapak Raden Arief Setyawan, ST., MT sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, saran, kritik, dan masukan yang telah diberikan,
- Staf Rekording, staf Pengajaran, dan staf Ruang Baca Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu segala urusan penulis selama ini,
- Tim KRSI 2010 “el~Hawa” dan 2012 “De’Furqon”, Mas Lana, Arif Blontank, , Aka, Andik, Gladi, Abu, Tansu, Muamar dan seluruh Tim Robot Elektro UB 2010-2011 atas semua perjuangan, pelajaran, pengalaman dan kenangan yang

telah diberikan,

- Dewi Fitriyanti J. yang selalu menemani dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
- Sahabat seperjuangan Riza dan Mita.
- Teman-teman Laboratorium Elka.
- Teman-teman Concordes angkatan 2008 yang telah berbagi ilmu dengan penulis dan selalu memberikan semangat,
- Seluruh teman-teman, senior serta semua pihak yang tidak mungkin untuk dicantumkan namanya satu-persatu, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Juli 2012

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Sisitmatika Pembahasan.....	2
<b>BAB II</b> .....	<b>4</b>
2.1 Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) .....	4
2.2 Motor DC Servo.....	5
2.3 Warna Benda.....	8
2.3.1 Warna – warna primer.....	9
2.3.2 Warna – warna sekunder dan tersier .....	9
2.4 Sensor Warna .....	9
2.5 Mikrokontroler Atmel AVR ATMega 32 .....	11
2.6 Liquid Crystal Display (LCD) .....	14
<b>BAB III</b> .....	<b>16</b>
3.1 Studi Literatur .....	16
3.2 Penentuan Spesifikasi Alat.....	16
3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat.....	17

3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) .....	17
3.3.2 Perancangan dan Penyusunan Perangkat Lunak.....	17
3.4 Pengujian Alat .....	17
3.4.1 Pengujian Tiap Blok.....	17
3.4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem.....	18
3.5 Pengambilan Kesimpulan.....	18
<b>BAB IV .....</b>	<b>19</b>
4.1 Diagram Blok Sistem .....	19
4.2 Perancangan Mekanik Robot.....	20
4.3 Perancangan Gerakan .....	25
4.3.1 Gerakan Sembah Pembuka .....	25
4.3.2 Gerakan Menyemai Benih .....	27
4.3.3 Gerakan Maalow Beruang .....	28
4.3.4 Gerakan Mamipih .....	29
4.3.5 Gerakan Sembah Panutuik .....	31
4.4 Perancangan Perangkat Keras .....	32
4.4.1 Rangkaian Catu Daya.....	33
4.4.2 Rangkaian Mikrokontroler Kontrol Servo.....	34
4.4.3 Rangkaian Sensor Warna .....	36
4.4.4 Motor DC Servo.....	37
4.5 Perancangan Perangkat Lunak .....	38
4.5.1 Kontrol Multi-Servo.....	38
4.5.2 Algoritma Mikrokontroler Kontrol Servo.....	42
4.5.3 Perancangan Algoritma Perhitungan Frekuensi.....	46
<b>BAB V.....</b>	<b>47</b>
5.1 Pengujian Rangkaian Catu Daya.....	48
5.2 Pengujian Sensor Warna .....	50

5.3	Pengujian LCD 2x16 Karakter .....	56
5.4	Pengujian Sinyal Kontrol Servo .....	57
5.4.1	Pengujian Sinyal Kontrol HIGH .....	57
5.4.2	Pengujian Sinyal Kontrol Multi-Servo .....	65
5.5	Pengujian Gerakan Tarian .....	68
5.5.1	Pengujian Gerakan Sembah Pembuka .....	68
5.5.2	Pengujian Gerakan Menyemai benih .....	69
5.5.3	Pengujian Gerakan Maalow Beruang .....	70
5.5.4	Pengujian Gerakan Mamipih .....	72
5.5.5	Pengujian Gerakan Sembah Panutuik .....	73
5.6	Pengujian Keseluruhan .....	75
5.6.1	Pengujian Pada Zona Awal .....	75
5.6.2	Pengujian Pada Zona Mulai .....	77
5.6.3	Pengujian Pada Zona Tengah .....	78
5.6.4	Pengujian Pada Zona Akhir .....	79
5.6.5	Pengujian Pada Zona Tutup .....	80
<b>BAB VI</b>	<b>.....</b>	<b>82</b>
6.1	Kesimpulan .....	82
6.2	Saran .....	82
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>83</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>84</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arena Perlombaan KRSI.....	5
Gambar 2. 2 Motor Servo Parallax .....	6
Gambar 2. 3 Konfigurasi Pin Pengkabelan Motor Servo.....	6
Gambar 2. 4 Pengaturan Sudut Motor Servo .....	7
Gambar 2. 5 Berbagai macam kombinasi warna benda.....	8
Gambar 2. 6 IC TCS230 .....	10
Gambar 2. 7. Diagram Blok IC TCS230.....	10
Gambar 2. 8 Sampel warna dan komposisi RGB-nya .....	11
Gambar 2. 9 Konfigurasi Pin ATmega32.....	13
Gambar 2. 10 Rangkaian <i>Interface</i> ke LCD Karakter 2X16.....	15
Gambar 4. 1 Diagram Blok Sistem <i>Robot Humanoid</i> .....	19
Gambar 4. 2 Perspektif Desain Mekanik <i>Robot Humanoid</i> .....	21
Gambar 4. 3 Desain Mekanik <i>Robot Humanoid</i> Tampak Depan Dan Tampak Samping .....	21
Gambar 4. 4 Ilustrasi Pergerakan Servo Pundak.....	22
Gambar 4. 5 Ilustrasi Pergerakan Servo Lengan.....	23
Gambar 4. 6 Ilustrasi Pergerakan Servo Telapak I .....	23
Gambar 4. 7 Ilustrasi Pergerakan Servo Telapak II.....	24
Gambar 4. 8 Ilustrasi Pergerakan Servo Telapak II.....	25
Gambar 4. 9 Peletakan Perangkat Keras pada <i>Robot Humanoid</i> Bagian Depan .....	32
Gambar 4. 10 Peletakan Perangkat Keras pada <i>Robot Humanoid</i> Bagian Belakang .....	32
Gambar 4. 12 Rangkaian Catu Motor DC Servo dan Mikrokontroler.....	34
Gambar 4. 13 Skema Rangkaian Mikrokontroler Kontrol Servo .....	35
Gambar 4. 14 Skema Rangkaian Sensor Warna .....	37
Gambar 4. 15 Komunikasi Mikrokontroler dengan Motor Servo.....	38

Gambar 4. 16 Pulsa Minimal dan Maksimal Motor Servo .....	38
Gambar 4. 17 Sinyal Kontrol Motor DC Servo .....	39
Gambar 4. 18 Sinyal Kontrol Multi-Servo.....	39
Gambar 4. 19 Diagram Alir Program Interupsi <i>Timer1</i> .....	43
Gambar 4. 20 Diagram Alir Program Interupsi <i>Timer Output Compare Match</i> Interupsi OCRA.....	44
Gambar 4. 21 Diagram Alir Program Utama Mikrokontroler .....	45
Gambar 4. 22 Diagram Alir perhitungan frekuensi sensor warna .....	46
Gambar 5. 1 Proses Pengujian Rangkaian Catu Daya .....	48
Gambar 5. 2 Tegangan Masukan dan Keluaran pada Rangkaian Catu Daya 5,3V .....	49
Gambar 5. 3 Tegangan Keluaran pada Rangkaian Catu Daya 5V .....	49
Gambar 5. 4 Diagram blok pengujian sensor warna dengan warna benda .....	50
Gambar 5. 5 Proses pengujian sensor warna dengan warna benda.....	50
Gambar 5. 6 Diagram Blok Pengujian Tampilan LCD.....	56
Gambar 5. 7 Tampilan Hasil Pengujian Tampilan LCD.....	56
Gambar 5. 8 Diagram Blok Pengujian Sinyal Kontrol Servo .....	57
Gambar 5. 9 Proses Pengujian Sinyal Kontrol Servo .....	58
Gambar 5. 10 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 800 $\mu$ s.....	58
Gambar 5. 11 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 900 $\mu$ s.....	59
Gambar 5. 12 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1000 $\mu$ s.....	59
Gambar 5. 13 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1100 $\mu$ s.....	59
Gambar 5. 14 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1200 $\mu$ s.....	60
Gambar 5. 15 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1300 $\mu$ s.....	60
Gambar 5. 16 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1400 $\mu$ s.....	60
Gambar 5. 17 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1500 $\mu$ s.....	61
Gambar 5. 18 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1600 $\mu$ s.....	61
Gambar 5. 19 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1700 $\mu$ s.....	61

Gambar 5. 20 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1800 $\mu$ s.....	62
Gambar 5. 21 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1900 $\mu$ s.....	62
Gambar 5. 22 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 2000 $\mu$ s.....	62
Gambar 5. 23 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 2100 $\mu$ s.....	63
Gambar 5. 24 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 2200 $\mu$ s.....	63
Gambar 5. 25 Diagram Blok Pengujian Sinyal Kontrol Multi Servo .....	65
Gambar 5. 26 Pengujian Sinyal Kontrol Multi Servo .....	65
Gambar 5. 27 Sinyal Kontrol Multi Servo dengan Lebar Pulsa HIGH 2000 $\mu$ s .....	66
Gambar 5. 28 Sinyal Kontrol Multi Servo dengan Lebar Pulsa HIGH yang Berbeda ...	67
Gambar 5. 30 Pengujian Gerakan Sembah Pembuka .....	68
Gambar 5. 31 Pengujian Gerakan Menyemai Benih.....	69
Gambar 5. 32 Pengujian Gerakan Maalow Beruang.....	71
Gambar 5. 33 Pengujian Gerakan Mamipih.....	72
Gambar 5. 34 Pengujian Gerakan Sembah Panutuik .....	73
Gambar 5. 35 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan .....	75
Gambar 5. 36 Pengujian Zona Awal.....	76
Gambar 5. 37 Pengujian Zona Mulai.....	77
Gambar 5. 38 Pengujian Zona Tengah.....	78
Gambar 5. 39 Pengujian Zona Akhir .....	79
Gambar 5. 40 Pengujian Zona Tuup .....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kombinasi S0 S1 dan S2 S3 untuk mengatur skala keluaran dan tipe <i>photodiode</i> .....	10
Tabel 2. 2 Tabel I/O LCD .....	15
Tabel 4. 1 Tahap-Tahap Gerak Sembah Pembuka <i>Robot Humanoid</i> .....	26
Tabel 4. 2 Tahap-Tahap Gerak Menyemai Benih <i>Robot Humanoid</i> .....	27
Tabel 4. 3 Tahap-Tahap Gerak Maalow Beruang <i>Robot Humanoid</i> .....	29
Tabel 4. 4 Tahap-Tahap Gerak Mamipih <i>Robot Humanoid</i> .....	30
Tabel 4. 5 Tahap-Tahap Gerak Sembah Panutuik <i>Robot Humanoid</i> .....	31
Tabel 4. 6 Kombinasi Fungsi dari S2 dan S3 .....	36
Tabel 4. 7 Penskalaan Output .....	37
Tabel 4. 8 Periode Sudut Servo dan Nilai TOP .....	42
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Warna Merah Dengan Media Penyerap Cahaya .....	51
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Warna Biru Dengan Media Kertas Penyerap Cahaya .....	52
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Warna Hijau Dengan Media Kertas Penyerap Cahaya .....	53
Tabel 5. 4 Hasil pengujian frekuensi keluaran sensor warna untuk berbagai warna benda .....	54
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Sinyal Kontrol Servo HIGH .....	64
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Gerakan Sembah Pembuka .....	69
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Gerakan Menyemai Benih .....	70
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Gerakan Maalow Beruang .....	71
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Gerakan Mamipih .....	72
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Gerakan Sembah Panutuik .....	74
Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Zona Awal .....	76
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Gerakan Mamipih .....	77
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Zona Tengah .....	79



Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Gerakan Mamipih ..... 80

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Gerakan Sembah Panutuik ..... 81



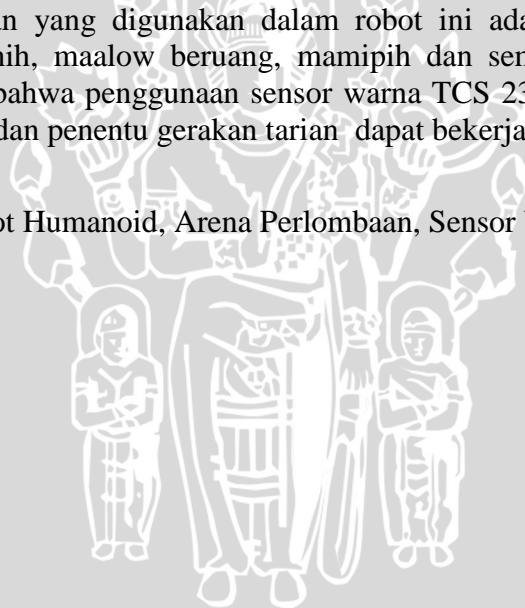
## ABSTRAK

**Irfan Habibur Rahman**, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2012, *Implementasi sensor warna TCS 230 pada robot humanoid krsi sebagai mode tarian di arena perlombaan*, Dosen Pembimbing : Dr. Agung Darmawansyah ST., MT. dan Goegoes Dwi Nusantoro ST., MT.

Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) merupakan suatu ajang kompetisi perancangan dan pembuatan robot yang disertai dengan unsur-unsur seni dan budaya yang telah ada di Indonesia. Tujuan dari kontes robot ini adalah untuk menumbuhkan kembangkan kreatifitas dan minat para mahasiswa dalam teknologi maju. Robot penari ini harus mampu berjalan pada arena perlombaan yang telah ditentukan. Tema tarian untuk tahun ini adalah "Robot Humanoid Penari Piring". Untuk membuat robot ini menari dibutuhkan suatu sistem tangan yang terdiri dari beberapa motor servo. Untuk mendeteksi daerah robot berada di arena perlombaan dibutuhkan sensor warna TCS 230 yang dapat mengetahui warna zona robot dan jenis gerakan tarian. Dengan penggunaan mikrokontroler yang dapat digunakan untuk mengatur putaran sudut motor servo maka didapatkan gerakan dari tangan robot sesuai dengan yang diinginkan.

Gerakan tarian yang digunakan dalam robot ini adalah gerakan sembah pembuka, menyemai benih, maalow beruang, mamipih dan sembah panutuik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan sensor warna TCS 230 sebagai pendeteksi warna zona robot berada dan penentu gerakan tarian dapat bekerja dengan baik.

**Kata Kunci:** KRSI, Robot Humanoid, Arena Perlombaan, Sensor Warna TCS 230, Mikrokontroler.



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi robotika akhir-akhir ini menunjukkan kualitas yang semakin pesat. Aplikasi teknologi semakin mempermudah pekerjaan manusia dengan adanya otomatisasi. Di sisi lain pengembangan robot sebagai sarana hiburan semakin diminati oleh masyarakat karena kemampuannya menirukan tingkah laku manusia sesuai instruksi yang diberikan. Banyak ilmuwan yang melakukan penelitian untuk menciptakan robot menyerupai manusia atau biasa disebut robot humanoid yang bergerak secara otomatis.

Kontes Robot Seni Indonesia adalah suatu ajang kompetensi pembuatan dan perancangan robot yang disertai dengan unsure seni dan budaya yang ada di negara kita Republik Indonesia dan diselenggarakan oleh Dirjen Dikti tiap tahunnya yang bertujuan untuk menumbuhkembangkan potensi mahasiswa dari berbagai universitas di Indonesia, khususnya dalam bidang robotika. Dalam Kontes Robot Seni Indonesia dua robot dipertandingkan dalam suatu arena untuk menunjukkan kemampuan menari mengikuti alunan suara musik. Kontes robot ini sudah memasuki tahun keempat yang setiap tahunnya mengambil tema tarian yang berbeda-beda sesuai seni dan budaya yang ada di Indonesia

Dalam KRSI, robot harus dapat melakukan gerakan tarian pada arena perlombaan yang disediakan. Dalam arena perlombaan terdapat beberapa zona tarian yang memiliki gerakan-gerakan yang berbeda dan zona tersebut dibedakan dalam beberapa warna sehingga robot harus tepat dalam melakukan gerakan agar dapat mendapatkan poin penilaian yang sempurna.

Warna pada tiap zona inilah yang dijadikan acuan robot untuk melakukan gerakan yang tepat dan baik sesuai peraturan lomba yang telah ditentukan. Warna yang dijadikan acuan dapat dikenali robot menggunakan sensor warna. sensor warna dapat merubah besaran fisik (warna) menjadi sebuah sinyal kotak yang mempunyai frekuensi yang berbeda-beda untuk setiap pembacaan warna. Robot akan melakukan gerakan tarian sesuai zona yang dituju.



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana merancang sensor warna TCS 230 yang digunakan pada robot humanoid sebagai mode tarian pada arena perlombaan.
- 2) Bagaimana merancang sensor warna untuk mengenali arena perlombaan sebagai mode tarian.
- 3) Bagaimana merancang dan membuat sistem elektronika yang menunjang penggunaan motor servo untuk pergerakan robot dan penggunaan sensor warna pada sistem.

## 1.3 Ruang Lingkup

Dalam Perancangan untuk skripsi ini permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

- 1) Dimensi robot yang digunakan disesuaikan dengan peraturan lomba Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) tahun 2012.
- 2) Arena yang digunakan sesuai aturan dalam Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) tahun 2012.
- 3) Objek warna yang digunakan adalah warna merah, hijau, biru, biru muda, kuning dan putih.
- 4) Motor servo yang digunakan adalah GWS micro tipe 2BB – MG.
- 5) Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega 32.

## 1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat robot *humanoid* yang dapat menari pada arena perlombaan Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) dengan menggunakan sensor warna TCS 230 sebagai mode tarian.

## 1.5 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

### **BAB I     Pendahuluan**



Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika pembahasan.

## **BAB II Tinjauan Pustaka**

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

## **BAB III Metodologi**

Berisi tentang metode-metode yang dipakai dalam melakukan perancangan, pengujian, dan analisis data.

## **BAB IV Perancangan**

Perancangan dan perealisasiian alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan diagram blok, prinsip kerja dan realisasi alat.

## **BAB V Pengujian dan Analisis**

Memuat aspek pengujian meliputi penjelasan tentang cara pengujian dan hasil pengujian. Aspek analisis meliputi penilaian atau komentar terhadap hasil-hasil pengujian. Pengujian dan analisis ini terhadap alat yang telah direalisasikan berdasarkan masing-masing blok dan sistem secara keseluruhan.

## **BAB VI Kesimpulan dan Saran**

Memuat intisari hasil pengujian dan menjawab rumusan masalah serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan kualitas penelitian dimasa yang akan datang.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

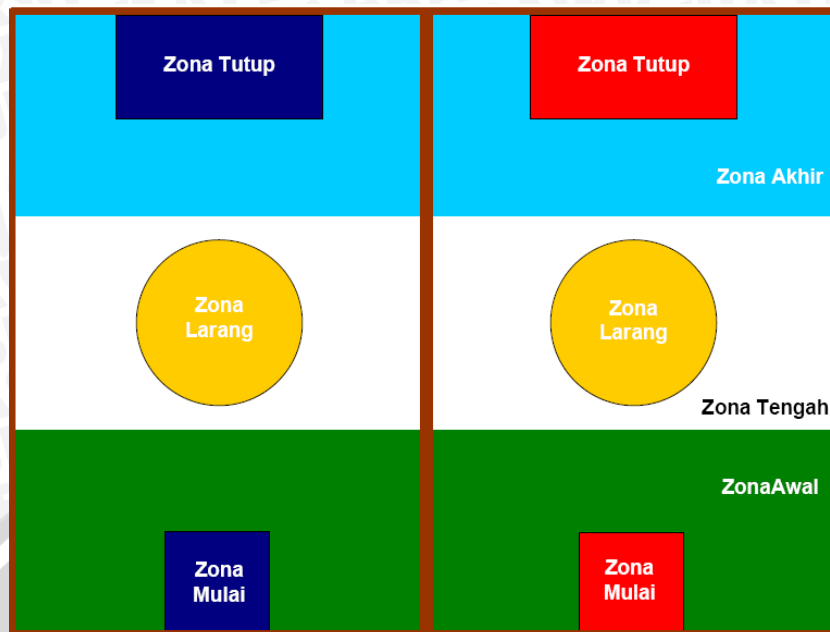
Beberapa teori pendukung yang perlu dibahas dalam pembuatan sistem *robot humanoid* yang dapat mengikuti lintasan ini meliputi :

- 1). Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI)
- 2). Motor DC Servo
- 3). Warna Benda
- 4). Sensor Warna
- 5). Mikrokontroler Atmel AVR ATMega32
- 6). *Liquid Crystal Display* (LCD)

### 2.1 Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI)

Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) merupakan suatu ajang kompetisi perancangan dan pembuatan robot yang disertai dengan unsur-unsur seni dan budaya bangsa yang telah terkenal di bumi pertiwi. KRSI pertamakali diadakan pada tahun 2009 yang mengangkat tema Robot Penari Jaipong, pada tahun 2010 dengan mengangkat tema Robot Penari Pendet dan pada tahun 2011 mengangkat tema Robot Penari Klono Topeng. Setiap tim peserta yang terdiri dari tiga mahasiswa dengan seorang dosen pembimbing, diwajibkan untuk membuat satu atau beberapa robot yang terkoordinasi untuk menampilkan seni budaya yang diinginkan sesuai tema kontes. Untuk KRSI 2012, sesuai dengan momentum yang tepat dalam gemas nasional membangkitkan kecintaan dan pelestarian budaya-budaya Nasional maka tema yang diangkat adalah “Robot Penari Piring”.

Robot penari yang digunakan harus menyerupai struktur tubuh manusia dengan tinggi  $55 \pm 5$  cm diukur di posisi kepala. Berat robot total maksimum adalah 30kg. Arena perlombaan berbentuk persegi-panjang lantai berwarna berukuran (300 x 200) cm yang memiliki 5 zona yaitu zona mulai, zona awal, zona tengah, zona akhir dan zona tutup. Gambar 6.1 menunjukkan lapangan yang digunakan dalam pertandingan.



Gambar 2.1 Arena Perlombaan KRSI

Sumber: DIKTI, 2012

Robot harus dapat menari di atas arena perlombaan yang membentuk persegi panjang berwarna. Tiap arena satu robot memiliki lima zona, bila diurutkan dari zona mulai, zona awal, zona tengah, zona akhir dan zona tutup. Tiap zona berfungsi sebagai pemandu gerakan tari. Gerakan tari harus dilakukan berdasarkan irama musik pengiring tari piring dengan cara mendengarkan langsung dari sistem audio gedung lomba menggunakan sensor (tanpa kabel).

Musik gamelan pengiring tari robot adalah gamelan khas tari Piring yang disediakan oleh panitia. Waktu yang disediakan untuk setiap unjuk kebolehan tari dalam lomba ini adalah tiga menit sesuai dengan panjang atau durasi irama gamelan pengiring. Dalam setiap game tim diberikan kesempatan *retry* tidak dibatasi. Dalam setiap sesi pertandingan, dua robot dari tim peserta akan diletakkan di atas panggung (lapangan perlombaan) sesuai dengan warna tim awal, yaitu merah atau biru.

## 2.2 Motor DC Servo

Berbeda dengan motor DC dan motor Stepper, motor servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri atas sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sedangkan sudut sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.

Motor servo mampu bekerja dua arah (*CW* dan *CCW*) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal *PWM* pada bagian pin kontrolnya. Gambar 6.2 menunjukkan gambar motor servo.



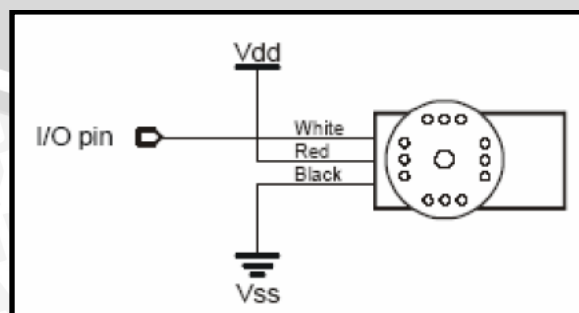
Gambar 2.2. Motor Servo Parallax

Sumber : Parallax, Inc.

Motor servo merupakan motor yang berputar lambat, dimana biasanya ditunjukkan oleh rate putarannya yang lambat, namun demikian memiliki torsi yang kuat karena *internal gear*-nya. Karakteristik motor servo adalah sebagai berikut :

- Memiliki 3 jalur kabel : *power*, *ground*, dan *control* seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.3
- Pin *Control* untuk mengendalikan posisi.
- Operasional dari servo motor dikendalikan oleh sebuah pulsa selebar  $\pm 20$  ms, dimana lebar pulsa antara 0.5 ms dan 2 ms menyatakan akhir dari range sudut maksimum.
- Konstruksi didalamnya meliputi *internal gear*, *potensiometer*, dan *feedback control*.

Gambar 6.4 menunjukkan konfigurasi pin pengkabelan motor servo.



Gambar 2.3 Konfigurasi Pin Pengkabelan Motor Servo

Sumber : Parallax, Inc.

Secara umum terdapat dua jenis motor servo, yaitu :

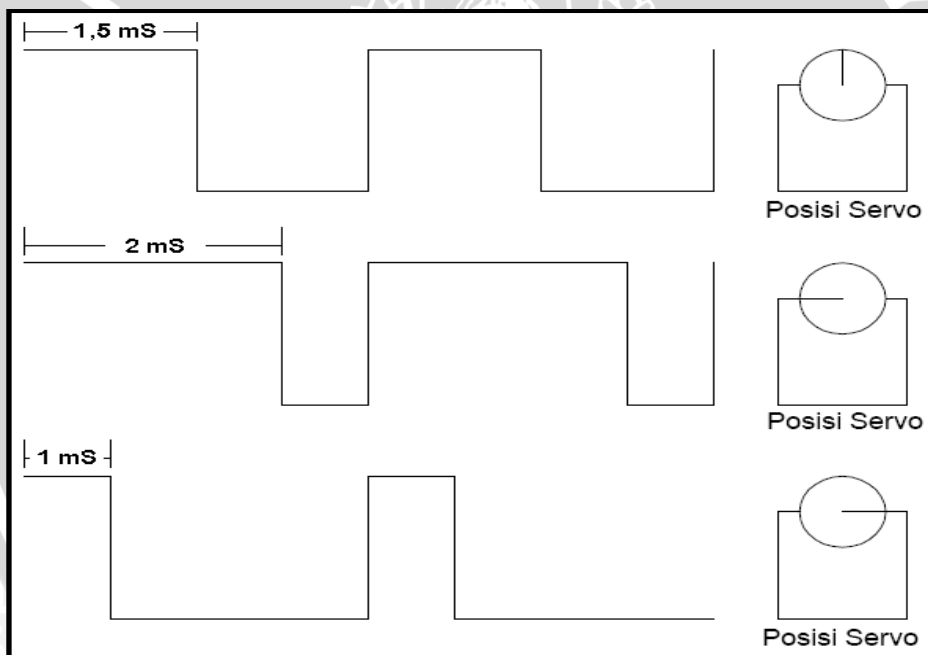
- Motor Servo *Standar 180°*

Motor servo jenis ini merupakan motor yang hanya mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan mempunyai *defleksi* masing-masing sudut mencapai  $90^\circ$  sehingga total *defleksi* sudut dari kanan – tengah – kiri adalah  $180^\circ$ .

- Motor Servo *Continuous*

Motor servo jenis ini mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan tanpa batasan *defleksi* sudut putar (dapat berputar secara kontinyu) sehingga motor ini berputar  $360^\circ$ .

Pengaturan sudut motor servo diperlukan untuk mengetahui gerakan dari motor servo dan pulsa yang harus diberikan untuk bergerak kekanan atau bergerak kekiri. Gambar 6.4 menunjukkan teknik PWM untuk mengatur sudut motor servo.



Gambar 2.4 Pengaturan Sudut Motor Servo

Sumber : Parallax, Inc.

Dalam Gambar 6.5 diasumsikan bahwa saat diberikan sinyal periodik dengan lebar 1 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut  $0^\circ$ , jika diberi sinyal 1,5 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut  $90^\circ$ , dan jika diberi sinyal 2 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut  $180^\circ$ . Dari kondisi tersebut bisa ditarik kesimpulan bahwa untuk mengatur sudut putaran motor servo diperlukan sinyal dengan lebar pulsa seperti pada persamaan berikut:

$$S = D \left( \frac{1000}{180} \right) + 1000 \mu s \text{ atau}$$

$$S = (0,18)D + 1000 \mu s$$

$S = \text{Lebar Pulsa dalam } \mu s$

$D = \text{Sudut putar servo dalam derajat}$

Motor servo yang digunakan adalah merk **GWS** micro dengan tipe **2BB - MG**.

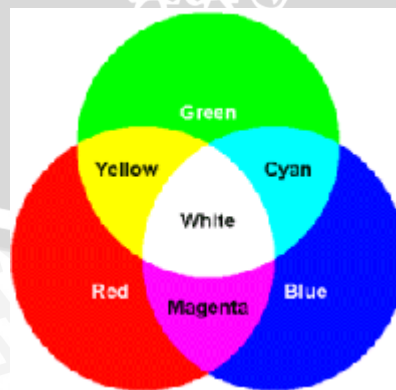
Tipe tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Torsi: 5,4 kg-cm pada 4,8 V DC dan 6,4 kg-cm pada 6,0 V DC.
- Kecepatan: 0,17 detik/60° pada 4,8 V DC dan 0,14 detik/60° pada 6,0 V DC
- Dimensi: 28 x 14 x 30 mm.
- Berat: 25 gr.

### 2.3 Warna Benda

Ketika memandang suatu benda, cahaya dari benda itu merambat langsung ke mata kita. Warna benda tersebut adalah sinar yang dipantulkannya. Misalnya sebuah benda berwarna merah tampak berwarna merah ketika benda tersebut dikenai sinar putih karena semua spektrum warna kecuali sinar merah diserap oleh benda. Jadi hanya sinar merah yang dipantulkan oleh benda sehingga benda tersebut akan tampak berwarna merah.

Warna komplementer yaitu dua buah warna yang menghasilkan warna putih bila dijumlahkan. Warna komplementer adalah warna kuning dengan warna biru, warna sian dengan warna merah, dan warna magenta dengan warna hijau. Warna benda tembus cahaya akan meneruskan cahaya sedangkan warna benda tak tembus cahaya akan memantulkan cahaya. Warna sinar dibedakan menjadi dua macam, primer dan sekunder. Gambar 2.5 menunjukkan kombinasi warna benda.



Gambar 2.5. Berbagai macam kombinasi warna benda

### 2.3.1 Warna – warna primer

Dari keseluruhan warna dalam spektrum yang terlihat, tiga diantaranya adalah warna yang spesial. Dikatakan spesial karena dari ketiga warna inilah warna-warna lainnya terbentuk. Oleh karena itu ketiga warna ini disebut warna primer, yaitu: merah/*red*, hijau/*green*, dan biru/*blue* atau RGB. Mungkin beberapa dari kita mengenal warna merah, kuning, dan biru sebagai warna primer. Perbedaan ini muncul dari sumber cahaya yang kita lihat. Jika dalam spektrum yang terlihat pancaran sumber cahaya berada pada panjang gelombang yang spesifik maka akan menghadirkan sistem warna subtraktif (*subtractive color system*).

Sistem warna aditif (*additive color systems*), adalah produsen cahaya, seperti televisi dan monitor komputer. Sistem warna subtraktif (*subtractive color systems*) atau dengan kata lain material/unsur yang aktif merefleksikan cahaya sekitarnya untuk menghasilkan bermacam-macam warna. Sistem ini tidak menghasilkan cahaya sendiri melainkan bergantung pada material yang mencerminkan sumber cahaya sekitarnya untuk menentukan warna yg dilihat oleh mata manusia. Dalam sistem ini jika ketiga warna primer dicampurkan dengan komposisi yang sama, maka akan didapatkan warna yang lebih mendekati hitam dan bukan warna putih seperti ketika mencampurkan ketiga warna primer dalam sumber aditif.

### 2.3.2 Warna – warna sekunder dan tersier

Warna sekunder didapat dengan menggabungkan warna primer yang bersebelahan. Dalam sistem warna aditif jika warna merah dan hijau dicampurkan maka akan didapatkan warna kuning. Gabungan warna merah dan biru akan menghasilkan warna *magenta*/merah keungu-unguan. Bila warna biru dan hijau digabungkan maka akan dihasilkan warna *cyan*/sejenis biru muda. Sedangkan warna tersier merupakan gabungan dari warna primer dan warna sekunder.

## 2.4 Sensor Warna

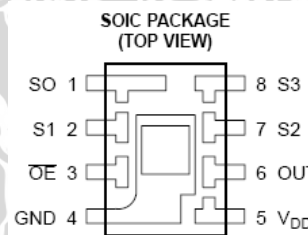
Sensor warna yang digunakan pada alat ini adalah TCS230 ditunjukkan dalam Gambar 6.6. IC TCS230 adalah IC pengkonversi warna cahaya ke frekuensi. *Silicon Photodiode* dan pengkonversi arus ke frekuensi merupakan komponen utama pembentuk IC TCS230 ditunjukkan dalam Gambar 6.7. Sensor ini menghasilkan keluaran berupa gelombang persegi yang frekuensinya sesuai dengan warna cahaya

yang diterima. Sensor TCS230 memiliki tiga pilihan skala keluaran yaitu 100%, 20%, dan 2%. Skala keluaran sensor ini dapat diatur dengan mengatur keadaan dua pin masukan sensor yaitu pin S0 dan S1. Sensor warna TCS230 memiliki 4 macam *Photodiode* yaitu *Photodiode* dengan filter warna merah, *Photodiode* dengan filter warna hijau, *Photodiode* dengan filter warna biru, dan *Photodiode* tanpa filter (*clear*). Jenis *Photodiode* yang digunakan saat pengukuran dapat ditentukan dengan mengatur keadaan 2 pin masukan sensor yaitu pin S2 dan S3. Pengaturan skala frekuensi keluaran dan jenis *Photodiode* dapat dilakukan dengan mengatur kondisi pin S0, S1, S2, dan S3 sesuai dengan Tabel 6.1.

Tabel 2.1. Kombinasi S0 S1 dan S2 S3 untuk mengatur skala keluaran dan tipe *photodioda*

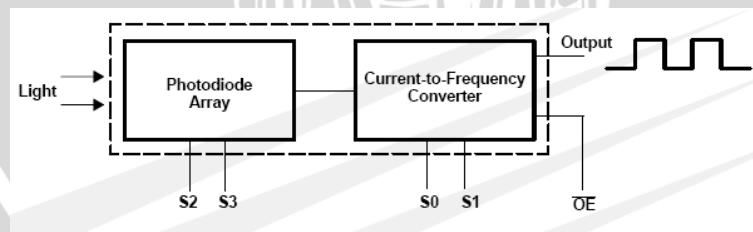
S0	S1	Skala frekuensi keluaran	S2	S3	<i>Photodioda</i>
0	0	Power down	0	0	Red
0	1	2%	0	1	Blue
1	0	20%	1	0	Clear
1	1	100%	1	1	Green

Sumber: TAOS 2003:2



Gambar 2.6. IC TCS230

Sumber: TAOS 2003:1









Gambar 2.7. Diagram Blok IC TCS230

Sumber: TAOS 2003:1

Setiap warna bisa disusun dari warna dasar. Untuk cahaya, warna dasar penyusunnya adalah warna Merah, Hijau dan Biru, atau lebih dikenal dengan istilah RGB (*Red-Green-Blue*). Beberapa sampel warna dan komposisi RGB-nya berskala 8 bit ditunjukkan dalam Gambar 6.8.



	Hitam ( R = 0, G = 0, B = 0 )
	Merah ( R = 255, G = 0, B = 0 )
	Biru ( R = 0, G = 0, B = 255 )
	Hijau ( R = 0, G = 255, B = 0 )
	Hijau ( R = 255, G = 255, B = 0 )
	Orange ( R = 255, G = 160, B = 0 )

Gambar 2.8. Sampel warna dan komposisi RGB-nya

Keunggulan dari sensor ini yaitu mempunyai resolusi yang sangat tinggi dalam mengkonversikan intensitas cahaya ke frekuensi.

## 2.5 Mikrokontroler Atmel AVR ATmega 32

Secara umum, mikrokontroler berfungsi sama dengan komputer. Bedanya adalah mikrokontroler memiliki desain dalam sebuah *single chip* (IC). Mikrokontroler terdapat di hampir semua peralatan elektronik di sekeliling kita, didalam tape, TV, radio, telepon genggam (*Hand Phone*). Mikrokontroler memiliki kemampuan yang diperlukan untuk membuat keputusan berdasarkan sinyal dari luar dengan kata lain mikrokontroler merupakan otak dari sebuah perangkat elektronik.

ATmega32 merupakan salah satu mikrokontroler buatan ATMEL keluarga ATmega yang mempunyai 32 kbyte Flash PEROM (*Flash Programmable and Erasable Read Only Memory*), 2 kbyte SRAM, 32 pin I/O (4 buah port I/O bit) yang mana tiap pin tersebut dapat diprogram secara paralel dan tersendiri, mempunyai dua buah *timer/counter* 8 bit dan satu buah *timer/counter* 16 bit, mempunyai 8 bit 10 channel ADC, mempunyai *watchdog timer*.

Pada dasarnya mikrokontroler adalah terdiri atas mikroprosesor, *timer*, dan *counter*, perangkat I/O dan internal memori. Mikrokontroler termasuk perangkat yang sudah didesain dalam bentuk chip tunggal. Mikrokontroler dikemas dalam satu chip (*single chip*). Mikrokontroler didesain dengan instruksi-instruksi lebih luas dan 8 bit instruksi yang digunakan membaca data instruksi dari *internal* memori ke ALU.

Sebagai suatu sistem kontrol mikrokontroler ATmega32 bila dibandingkan dengan mikroprosesor memiliki kemampuan dan segi ekonomis yang bisa diandalkan karena dalam mikrokontroler sudah terdapat RAM dan ROM sedangkan mikroprosesor

didalamnya tidak terdapat keduanya. Secara umum konfigurasi yang dimiliki mikrokontroler ATmega32 adalah sebagai berikut :

- Sebuah CPU 8 bit dengan menggunakan teknologi dari Atmel.
- Memiliki memori baca-tulis sebesar 2 kbyte SRAM.
- Jalur dua arah (*bidirectional*) yang digunakan sebagai saluran masukan atau keluaran yang dikontrol oleh *register* DDR.
- Sebuah komunikasi serial USART yang dapat diprogram.
- Sebuah *master/slave* serial SPI yang dapat diprogram.
- Sebuah *Two Wire Serial Interface*.
- Dua buah *timer/counter* 8 bit dan sebuah *timer/counter* 16 bit.
- *Watcdog Timer* yang dapat diprogram.
- *Analog to Digital Converter (ADC)* 10-bit dan *Analog comparator* di dalam chip.
- Osilator internal dan rangkaian pewaktu.
- Flash PEROM yang besarnya 32 kbyte untuk memori program
- Kemampuan melaksanakan operasi perkalian, pembagian, dan operasi Boolean.
- Mampu beroperasi sampai 16 MHz.

ATmega32 mikrokontroler mempunyai kompatibilitas instruksi dan konfigurasi pin dengan mikrokontroler keluarga AVR seri ATmega16 dan ATmega8535.

Masing-masing kaki dalam mikrokontroler ATmega32 mempunyai fungsi tersendiri. Dengan mengetahui fungsi masing-masing kaki mikrokontroler ATmega32, perancangan aplikasi mikrokontroler ATmega32 akan lebih mudah. ATmega32 mempunyai 40 pin, susunan masing-masing pin ditunjukkan dalam Gambar 6.9.



(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5 (TDI)
(TXD) PD1	15	26	PC4 (TDO)
(INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS)
(INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK)
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP) PD6	20	21	PD7 (OC2)

Gambar 2.9. Konfigurasi Pin ATmega32

Sumber: ATMEL, 2007a

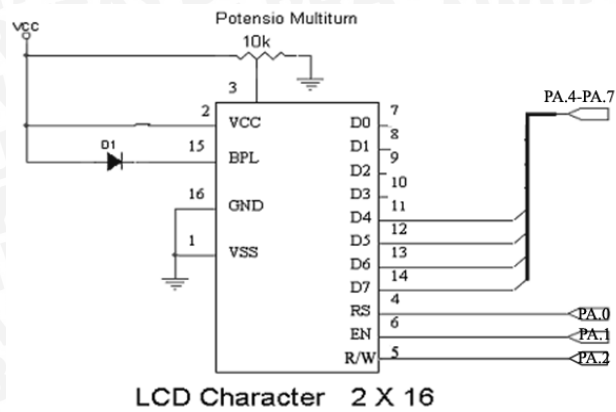
Fungsi kaki-kaki ATmega32 adalah :

- *Port A* (Pin A0..7), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus *Port A* adalah sebagai ADC (*input ADC channel 0..7*).
- *Port B* (Pin B0..7), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus *Port B* diantaranya adalah : *Port B0* (*T0 (timer/counter0 eksternal counter input) & XCK (USART eksternal clock input/output)*), *Port B1* {*T1 (timer/counter eksternal counter input)*}, *Port B2* *AIN0 (Analog comparator positive input) & INT2 (External interrupt 2 input)*, *Port B3* *AIN1 (Analog comparator negative input) & {OC0 (Timer/counter0 output compare match output)}*, *Port B4* {*SS (SPI slave select input)*}, *Port B5* {*MOSI (SPI bus master output/slave input)*}, *Port B6* {*MISO (SPI bus master input/slave output)*}, *Port B7* {*SCK (SPI bus serial clock)*}.
- *Port C* (Pin C0..7), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus dari *Port C* diantaranya adalah : *Port C0* {*SCL (Two-Wire serial bus clock line)*}, *Port C1* {*SDA (Two-Wire serial bus data input/output line)*}, *Port C6* {*TOSC1 (Timer Oscillator pin1)*}, *Port C7* {*TOSC2 (Timer oscillator pin2)*}.

- Port D (Pin D0..7), merupakan saluran masukan/keluaran dua arah dan juga mempunyai fungsi khusus. Fungsi khusus dari Port D diantaranya adalah : Port D0 {RXD (USART *input pin*)}, Port D1 {TXD (USART *output pin*)}, Port D2 {INT0 (Eksternal *interrupt 0 input*)}, Port D3 {INT1 (Eksternal *interrupt 1 input*)}, Port D4 {OC1B (Timer/counter 1 *output compare B match output*)}, Port D5 {OC1A (Timer/counter 1 *output compare A match output*)}, Port D6 {ICP (Timer/counter *input capture pin*)}, Port D7 {OC2 (timer/counter 2 *compare match output*)}.
- Pin 9 RESET, merupakan saluran dua masukan untuk mereset mikrokontroler dengan cara memberi masukan logika rendah.
- Pin 10 VCC, merupakan saluran masukan untuk catu daya positif sebesar 5 volt DC.
- Pin 11 GND, merupakan Ground dari seluruh rangkaian.
- Pin 12 dan 13 (XTAL2 dan XTAL1), merupakan saluran untuk mengatur pewaktuan sistem. Untuk pewaktuan dapat menggunakan pewaktuan internal maupun eksternal.
- Pin 32 AREF, merupakan pin referensi analog untuk masukan ADC.
- Pin 33 GND, merupakan *ground* dari ADC.
- Pin 30 AVCC, merupakan catu untuk perangkat ADC.

## 2.6 Liquid Crystal Display (LCD)

*Liquid Crystal Display* (LCD) merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menampilkan karakter baik berupa karakter angka, huruf, atau karakter lainnya, sehingga tampilan tersebut dapat dilihat secara visual. Gambar 6.10 menunjukkan rangkaian *interface* ke LCD Karakter 4X16. dan Tabel 6.2 menunjukkan PIN-PIN I/O LCD.



Gambar 2.10. Rangkaian *Interface* ke LCD Karakter 2X16

Tabel 2.2. Tabel I/O LCD

No	Simbol	Level	Fungsi
1	Vss		GND
2	Vcc		5 Volt
3	Vee		Power Supply Drive
4	RS	H/L	H:Data Input L:Ins Input
5	R/W	H/L	H: Read L: Write
6	E	H	Enable Signal
7	DB0	H/L	Data Bus
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	
12	DB5	H/L	
13	DB6	H/L	
14	DB7	H/L	
15	V+BL		Power Supply 4 - 4.2 Volt
16	V-BL		GND

Sumber: Manual book LCD 16x2

Pada perancangan sistem ini memakai LCD modul M1632 yang merupakan sebuah modul LCD dot matrik yang membutuhkan daya kecil. LCD modul M1632 dilengkapi panel LCD dengan tingkat kontras yang cukup tinggi serta pengendali LCD CMOS yang telah terpasang dalam modul tersebut. LCD modul M1632 mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Memiliki 16 karakter dan 2 baris tampilan yang terdiri atas 5 X 7 dot matrik ditambah dengan kursor.
- Memerlukan catu daya DC 5 V.
- Otomatis *reset* saat catu daya dinyalakan.
- Memiliki data RAM (max 80 karakter) dengan 80 X 8 *display*.
- Menggunakan 4 bit data dan 3 bit kontrol.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut.

### 3.1 Studi Literatur

Literatur yang dibutuhkan adalah dasar teori yang berhubungan dengan alat yang akan dirancang, yaitu sebagai berikut:

- 1). Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI)
- 2). Motor DC Servo
- 3). Warna Benda
- 4). Sensor Warna
- 5). Mikrokontroler Atmel AVR ATmega32
- 6). *Liquid Crystal Display* (LCD)

### 3.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut :

- 1) Tinggi maksimal robot sesuai dengan Peraturan Kontes Robot Seni Indonesia adalah 60 cm.
- 2) Robot berbahan dasar aluminium kotak.
- 3) Robot memiliki struktur kepala, tangan dan kaki sesuai struktur tubuh manusia.
- 4) Masing-masing tangan robot memiliki 5 buah motor DC servo (*5DOF*).
- 5) Motor servo yang digunakan adalah GWS micro tipe 2BB - MG.
- 6) IC TCS230 berfungsi untuk mengenali warna objek.
- 7) Mikrokontroler yang digunakan adalah Atmel ATmega32.
- 8) Kemampuan kaki robot adalah berjalan melangkah di arena perlombaan

- 9) Kemampuan tangan robot sebagai gerakan tarian sesuai zona yang ditempati oleh robot seperti gerak sembah pembuka menyemai benih, maallow beruang, memipih, dan sembah panutuik.
- 10) Alat dilengkapi LCD 4X16 karakter untuk menampilkan warna zona dan gerakan tarian
- 11) Menggunakan catu daya baterai DC 11,1 V jenis *lithium polymer*.

### 3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat

#### 3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

- 1). Pembuatan blok diagram lengkap sistem
- 2). Pembuatan mekanik tangan robot
- 3). Penentuan desain pergerakan robot
- 4). Penentuan dan perhitungan komponen yang akan digunakan

#### 3.3.2 Perancangan dan Penyusunan Perangkat Lunak

Setelah kita mengetahui seperti apa perangkat keras yang dirancang, maka kita membutuhkan perangkat lunak untuk mengendalikan dan mengatur kerja dari alat ini. Desain dan parameter yang telah dirancang kemudian diterapkan kedalam Mikrokontroler ATmega32 dengan menggunakan bahasa C dan *compiler* CodeVision AVR.

### 3.4 Pengujian Alat

Untuk memastikan bahwa sistem ini berjalan sesuai yang direncanakan maka perlu dilakukan pengujian alat meliputi perangkat keras (*hardware*) yang dilakukan baik per blok maupun keseluruhan sistem.

#### 3.4.1 Pengujian Tiap Blok

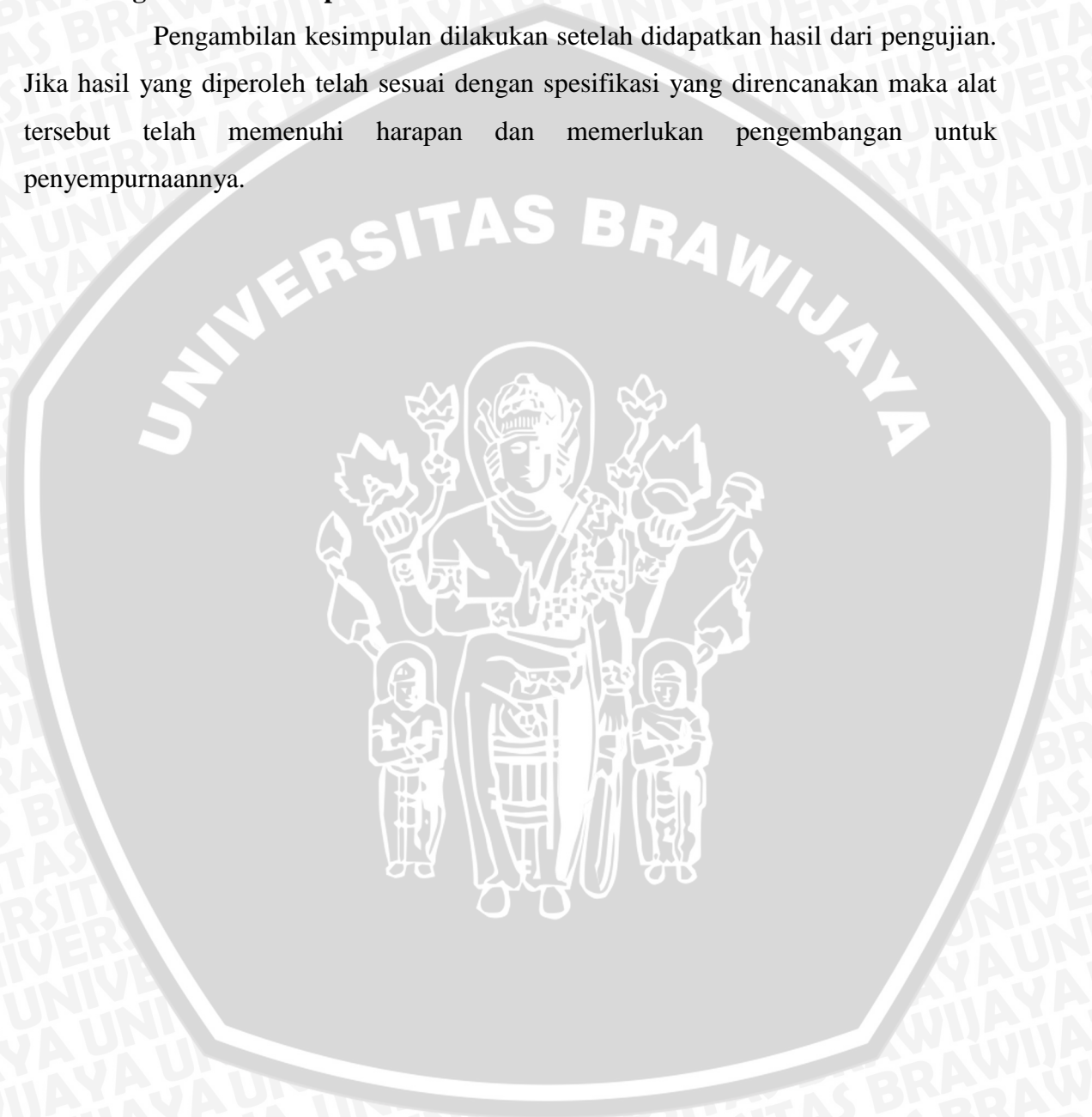
Pengujian per blok dilakukan dengan tujuan untuk menyesuaikan nilai masukan dan nilai keluaran tiap-tiap blok sesuai dengan perancangan yang dilakukan sebelumnya.

### 3.4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui unjuk kerja alat setelah perangkat keras dan perangkat lunak diintegrasikan bersama.

### 3.5 Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah didapatkan hasil dari pengujian. Jika hasil yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan maka alat tersebut telah memenuhi harapan dan memerlukan pengembangan untuk penyempurnaannya.





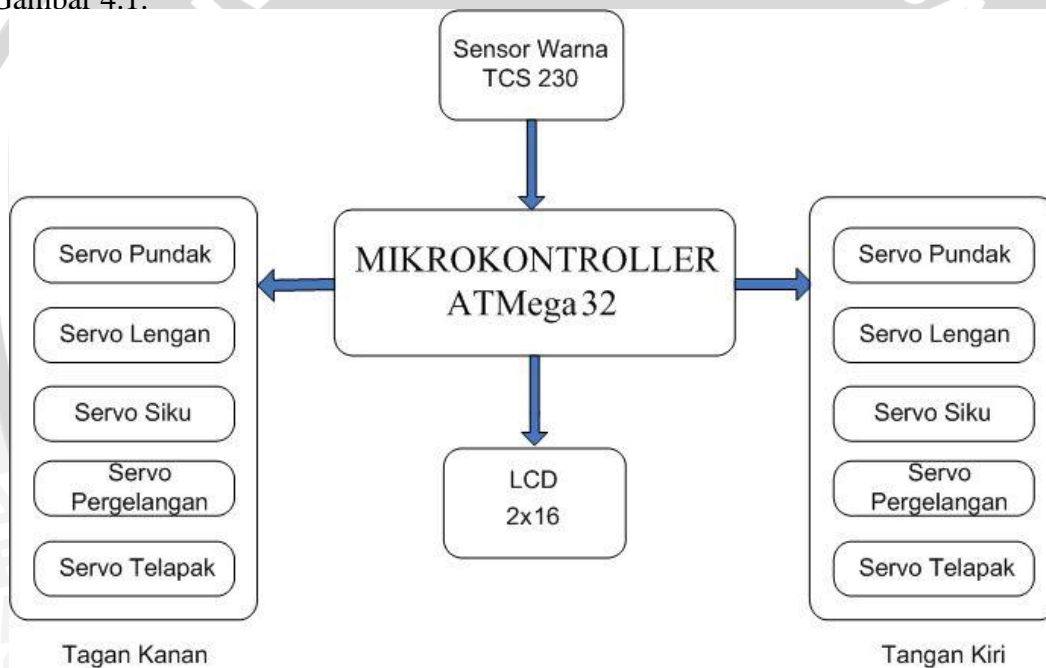
## BAB IV

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini menjelaskan tentang perancangan dan pembuatan *robot humanoid* mulai dari diagram blok sistem, desain mekanik robot, perancangan gerakan, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan dilakukan secara bertahap dan sistematis, sehingga nantinya akan memudahkan dalam analisis sistem.

#### 4.1 Diagram Blok Sistem

Sistem pergerakan *robot humanoid* secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Diagram Blok Sistem *Robot Humanoid*

Robot memiliki dua buah tangan. Masing-masing tangan memiliki lima buah motor DC servo yang disusun dengan memodelkan struktur tangan manusia. Total keseluruhan adalah sepuluh buah motor DC servo yang tiap-tiap motor tersebut memiliki fungsi khusus dalam menunjang gerakan tarian robot. Untuk penjelasan posisi dan fungsinya akan dijelaskan dalam sub bab perancangan mekanik robot.

Pada telapak kaki akan diletakkan sensor warna. Sensor warna TCS 230 akan menghasilkan gelombang persegi yang memiliki frekuensi yang sama dengan

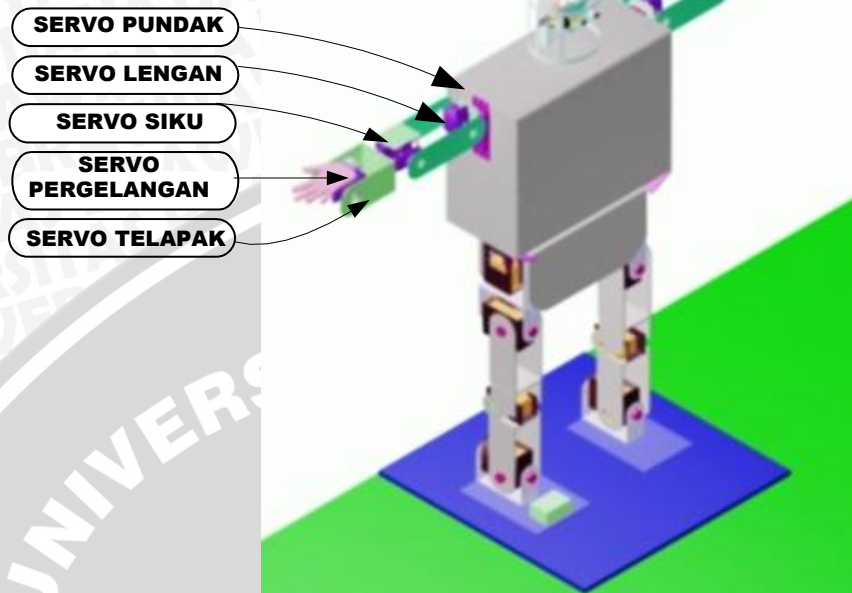
warna cahaya dan nantinya akan menunjukkan zona dimana robot itu berada. Untuk mengetahui hal tersebut, maka sinyal data yang dihasilkan sensor warna TCS 230 dikirim ke Mikrokontroler ATmega32. Hasil pengolahan data mikrokontroler akan ditampilkan dalam bentuk jarak tempuh oleh LCD 2x16.

Mikrokontroler juga berfungsi sebagai pengontrol pergerakan tiap-tiap sendi robot yang dalam hal ini berupa motor servo. Pada blok motor servo tangan kanan dan blok motor servo tangan kiri masing-masing terdapat lima buah motor servo yaitu servo pundak, servo lengan, servo siku, servo pergelangan dan servo telapak. Kesepuluh motor servo tersebut akan dikontrol oleh mikrokontroler ATmega32 sehingga mampu menghasilkan gerakan sembah pembuka, menyemai benih, maallow beruang, memipih, dan sembah panutuik.

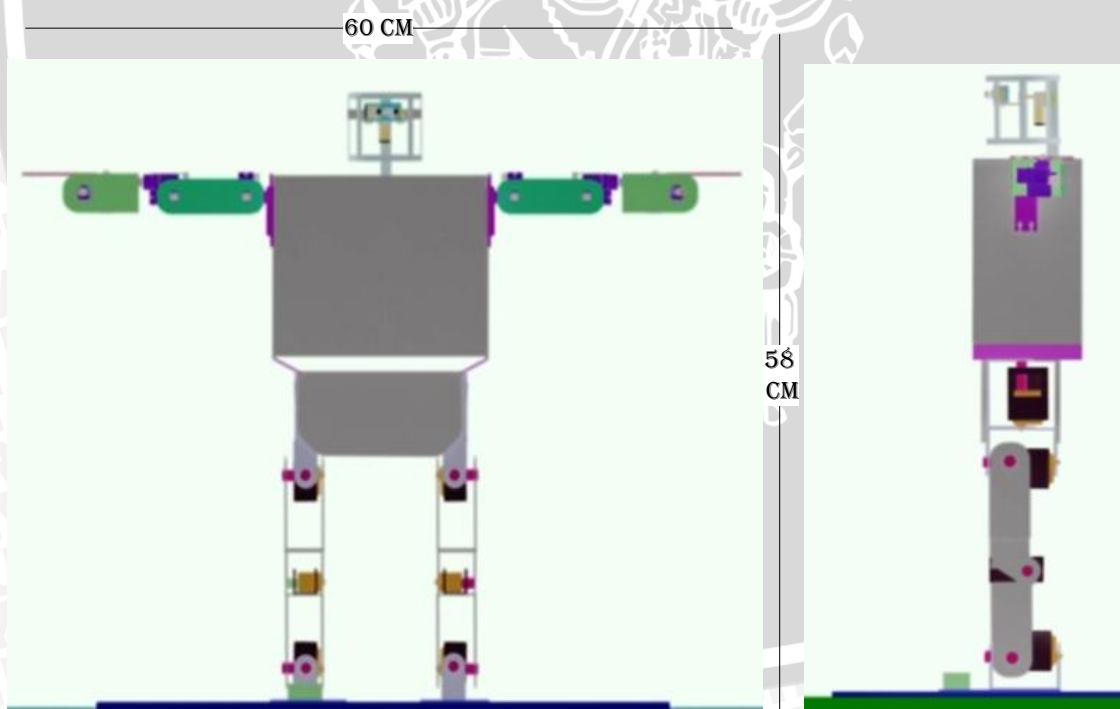
Lintasan yang digunakan disini sudah ditentukan warna-warna tiap zona. Awalnya, robot akan berdiri teagak sampai sensor TCS 230 sudah mendeteksi warna pada zona yang ditempati. Setelah itu, mikrokontroler memerintahkan robot untuk melakukan gerakan tarian yang sesuai zona tersebut, misalnya pada zona mulai akan melakukan gerakan sembah pembuka. Kemudian robot akan melangkah maju lagi sampai sensor warna TCS 230 kembali mendeteksi bahwa robot telah berada di zona selanjutnya. Begitu seterusnya sampai robot tiba di zona tutup dan robot akan berhenti menari.

#### **4.2 Perancangan Mekanik Robot**

Peraturan Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) membatasi ukuran robot secara keseluruhan, yaitu tinggi  $55 \pm 5$  cm diukur dari posisi kepala. Rentang kaki atau tangan robot maksimal tidak boleh melebihi 60 cm diukur dari ujung jari tangan/kaki kanan ke kiri ketika membuka tangan/kaki selebar-lebarnya. Lebar telapak kaki maksimum  $150 \text{ cm}^2$  berbentuk elips, lingkaran atau persegi empat. Berat robot maksimal 30 kg. Gambar 4.2 menunjukkan perspektif desain mekanik robot secara keseluruhan, Gambar 4.3 menunjukkan desain mekanik kaki tampak depan dan tampak samping. Desain mekanik tersebut digambar menggunakan software *3ds Max 7*.



Gambar 4. 2 Perspektif Desain Mekanik *Robot Humanoid*



Gambar 4. 3 Desain Mekanik *Robot Humanoid* Tampak Depan Dan Tampak Samping

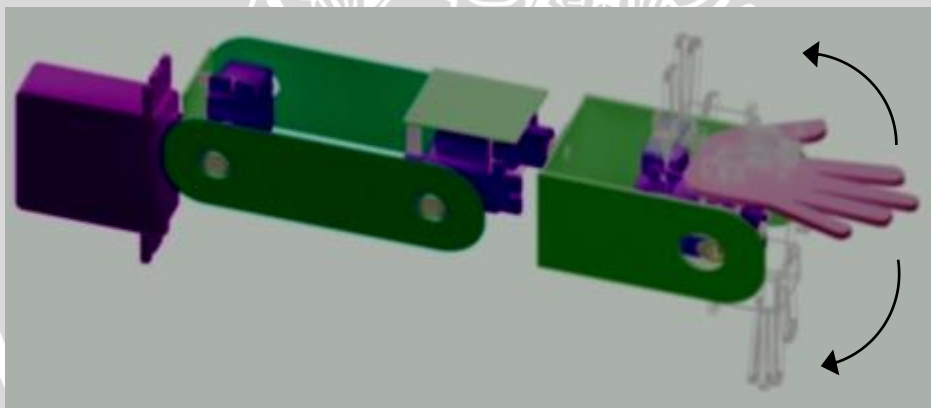
Dari Gambar 4.3 diatas diperoleh dimensi *robot humanoid* yaitu tinggi 58cm, panjang rentang tangan 60 cm, dan luas telapak kaki  $125\text{cm}^2$  dengan bentuk elips. Ukuran tinggi robot diukur dari telapak kaki hingga kepala

Pada setiap tangan robot terdapat lima buah motor DC servo yang merupakan permodelan dari sendi tangan. Peletakan tiap-tiap motor DC servo tersebut disesuaikan dengan fungsinya. Fungsi yang dimaksud adalah fungsi yang menunjang pergerakan dalam hal ini melakukan tarian robot. Pergerakan tarian adalah sembah pembuka, gerakan menyemai benih, gerakan maalow beruang, dan gerakan mamipih dan gerakan sembah panutuik.

Berikut adalah penjelasan fungsi dan posisi masing-masing motor DC servo.

#### 1). Servo Pundak

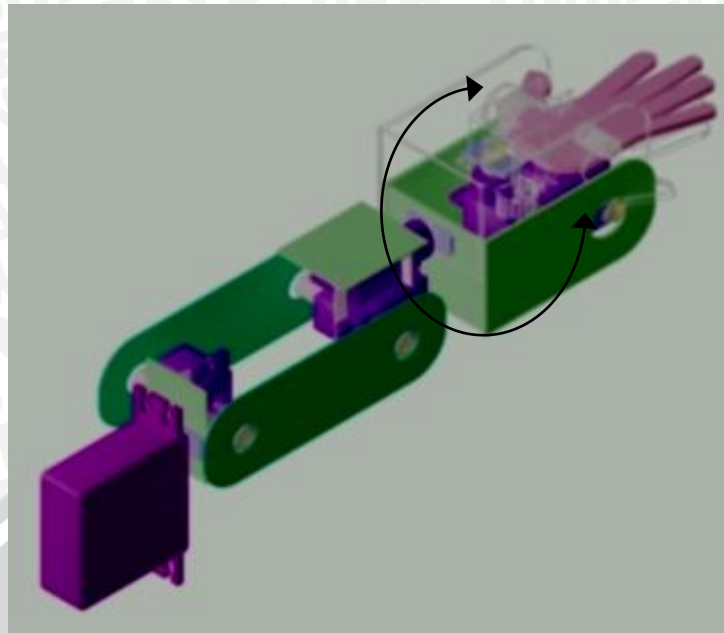
Motor servo ini berfungsi untuk membantu robot dalam melakukan gerakan tangan memutar depan dan belakang. Posisi servo yang terletak pada bagian tangani paling atas memungkinkan untuk menggerakkan seluruh bagian tangan. Gambar 4.4 menunjukkan ilustrasi pergerakan tanga yang diakibatkan oleh Servo Pundak.



Gambar 4. 4 Ilustrasi Pergerakan Servo Pundak

#### 2). Servo Lengan

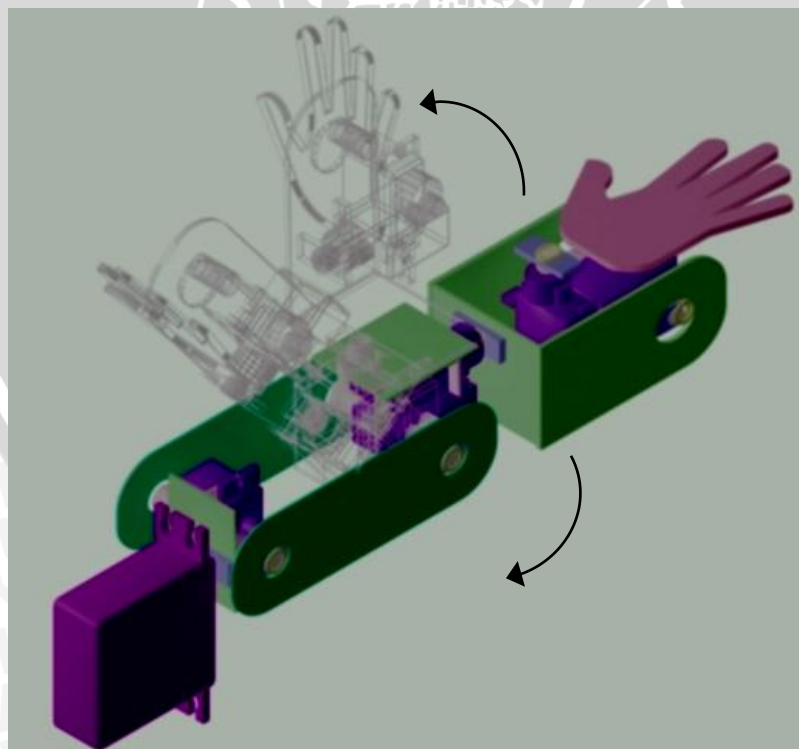
Motor servo ini memiliki fungsi dalam melangkah. Servo ini bersama-sama dengan Servo Siku menciptakan gerakan mengayunkan tangai ke atas dan ke bawah. Kombinasi sudut antara kedua servo tersebut mempengaruhi Gambar 4.5 menunjukkan ilustrasi pergerakan Servo Lengan.



Gambar 4. 5 Ilustrasi Pergerakan Servo Lengan

### 3). Servo Siku

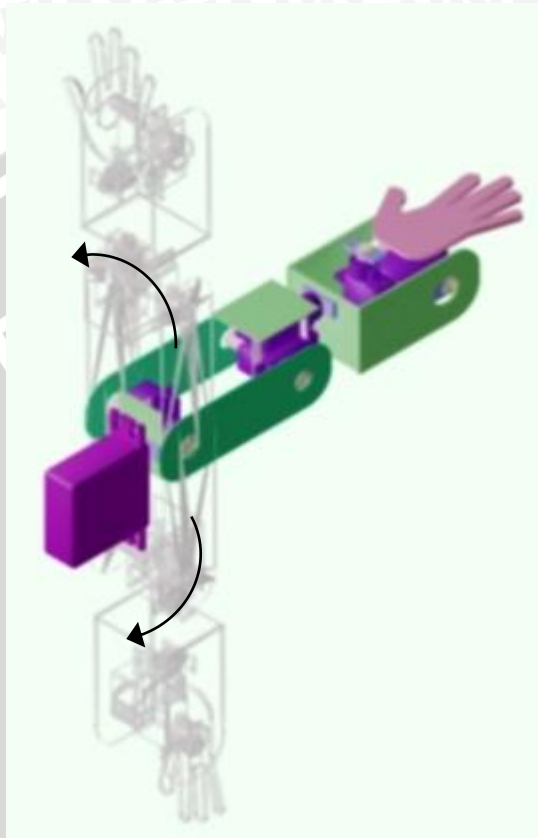
Motor servo ini memiliki fungsi yang sama dengan servo Lengan dalam mengayunkan tangan. Servo ini juga berfungsi untuk menggerakkan separuh tangan saja untuk kebutuhan gerakan tarihan yang bermacam-macam. Gambar 4.6 menunjukkan ilustrasi pergerakan Servo Siku.



Gambar 4. 6 Ilustrasi Pergerakan Servo Telapak I

#### 4). Servo Pergelangan

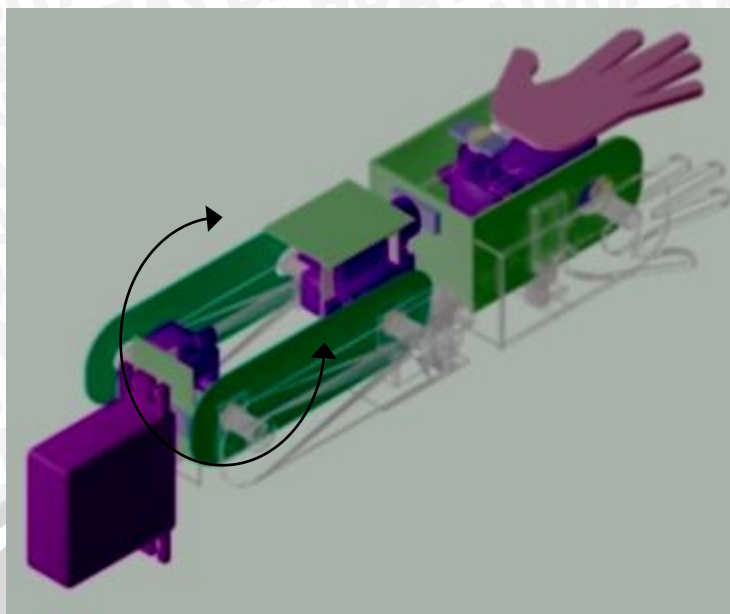
Servo ini memiliki fungsi dalam memutar tangan bagian tengah hingga telapak. Selain itu servo pergelangan juga sebagai pendukung variasi gerakan tari serta memperindah gerakannya. Arah pergerakan Servo Pergelangan ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Ilustrasi Pergerakan Servo Telapak II

#### 5) Servo Telapak

Servo ini memiliki fungsi dalam menggerakkan seluruh bagian telapak tangan ke samping. Selain itu servo ini penting karena bagian telapak tangan menyangga piring di atasnya serta memperindah gerakan seolah-olah mirip dengan tangan manusia. Arah pergerakan Servo Pergelangan ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4. 8 Ilustrasi Pergerakan Servo Telapak II

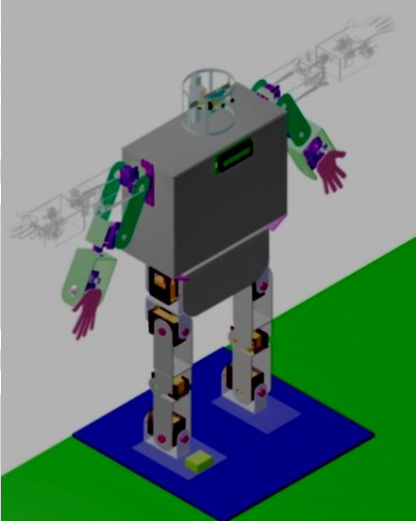
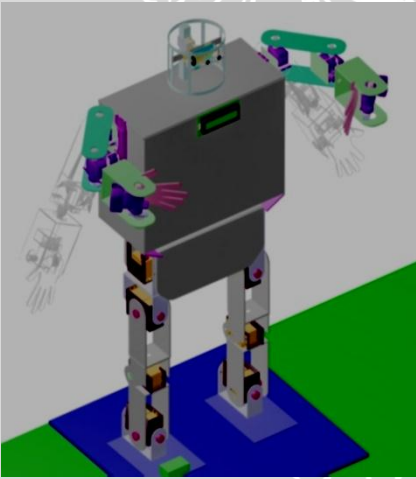
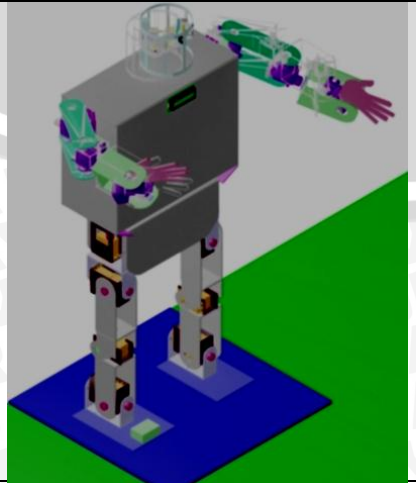
### 4.3 Perancangan Gerakan

#### 4.3.1 Gerakan Sembah Pembuka

Gerakan ini merupakan gerak tari pada zona awal dimana robot diharuskan menari dengan gerakan salam pembuka sebagai awal dari tari. Tangan kanan dan kiri secara bergantian membuka ke samping kanan dan kiri. Tahap-tahap gerakan sembah pembuka pada *robot humanoid* ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

$$\text{Posisi} = \begin{bmatrix} \textit{servo pundak kanan} & \textit{servo pundak kiri} \\ \textit{servo lengan kanan} & \textit{servo lengan kiri} \\ \textit{servo siku kanan} & \textit{servo siku kiri} \\ \textit{servo pergelangan kanan} & \textit{servo pergelangan kiri} \\ \textit{servo telapak kanan} & \textit{servo telapak kanan} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{PKa} & \text{PKi} \\ \text{LKa} & \text{LKl} \\ \text{SKa} & \text{SKi} \\ \text{PerKa} & \text{PerKi} \\ \text{Tka} & \text{TKi} \end{bmatrix}$$

Tabel 4.1 Tahap-Tahap Gerak Sembah Pembuka *Robot Humanoid*

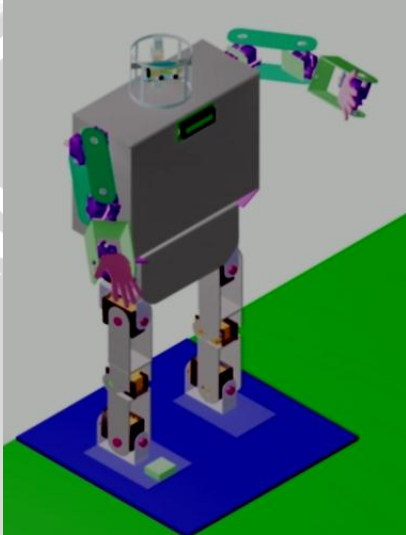
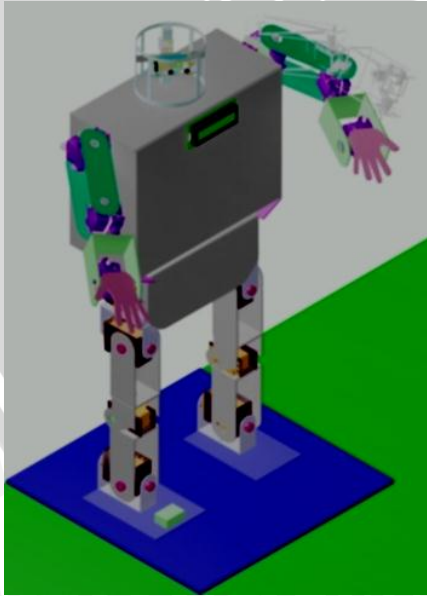
Tahap	Gambar	Sudut Servo
1.		<p>Posisi dasar =</p> $\begin{bmatrix} 104^\circ & 104^\circ \\ 160^\circ & 35^\circ \\ 48^\circ & 138^\circ \\ 104^\circ & 104^\circ \\ 138^\circ & 48^\circ \end{bmatrix}$
2.		<p>Posisi 1 =</p> $\begin{bmatrix} 122^\circ & 104^\circ \\ 160^\circ & 35^\circ \\ 104^\circ & 138^\circ \\ 160^\circ & 104^\circ \\ 104^\circ & 48^\circ \end{bmatrix}$
3.		<p>Posisi 2 =</p> $\begin{bmatrix} 122^\circ & 87^\circ \\ 160^\circ & 35^\circ \\ 48^\circ & 104^\circ \\ 104^\circ & 30^\circ \\ 138^\circ & 104^\circ \end{bmatrix}$

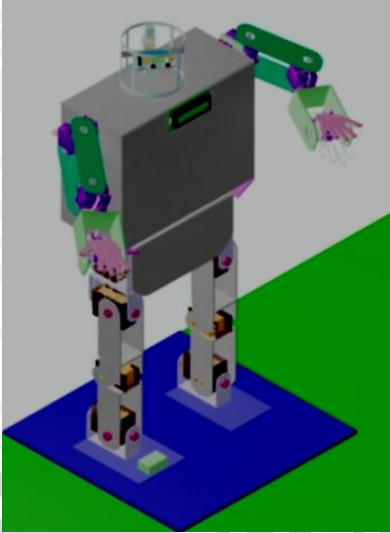
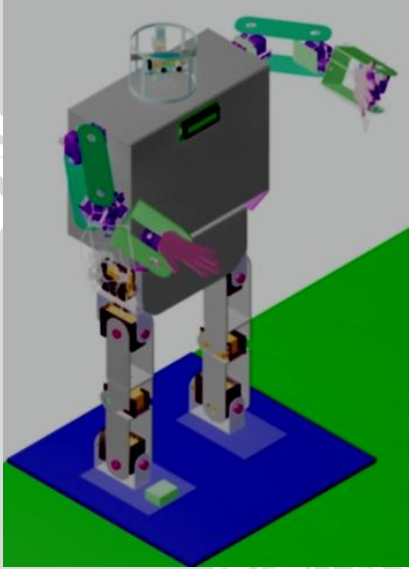


### 4.3.2 Gerakan Menyemai Benih

Gerakan ini merupakan gerak tarian pada zona mulai dimana robot akan menari seperti seseorang yang sedang menebar benih padi. Tangan kiri menekuk seolah-olah memegang kendi tempat benih padi, tangan kanan mengambil benih dan menebarnya secara berulang-ulang. Tahap-tahap gerakan sembah pembuka pada *robot humanoid* ditunjukkan dalam Tabel 4.2

Tabel 4.2 Tahap-Tahap Gerak Menyemai Benih *Robot Humanoid*

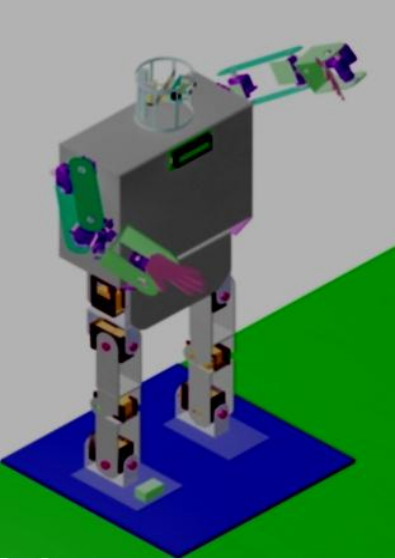
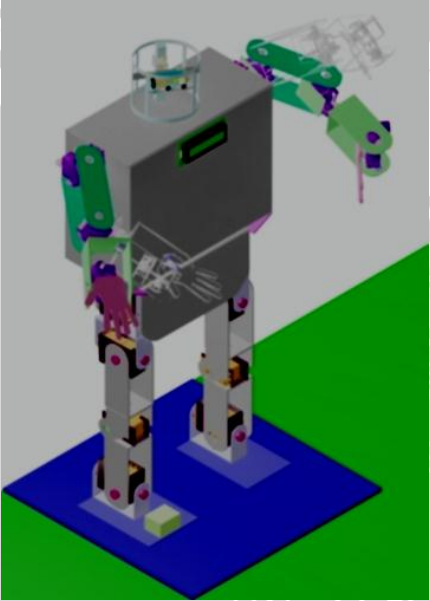
Tahap	Gambar	Sudut Servo
1.		Posisi 1 = $\begin{bmatrix} 90^\circ & 90^\circ \\ 180^\circ & 53^\circ \\ 104^\circ & 104^\circ \\ 160^\circ & 105^\circ \\ 68^\circ & 104^\circ \end{bmatrix}$
2.		Posisi 2 = $\begin{bmatrix} 140^\circ & 78^\circ \\ 165^\circ & 53^\circ \\ 104^\circ & 177^\circ \\ 160^\circ & 30^\circ \\ 68^\circ & 132^\circ \end{bmatrix}$

<p>3.</p>		<p>Posisi 3 =</p> $\begin{bmatrix} 125^\circ & 78^\circ \\ 168^\circ & 53^\circ \\ 104^\circ & 77^\circ \\ 160^\circ & 30^\circ \\ 104^\circ & 132^\circ \end{bmatrix}$
<p>4.</p>		<p>Posisi 4 =</p> $\begin{bmatrix} 140^\circ & 78^\circ \\ 160^\circ & 53^\circ \\ 104^\circ & 177^\circ \\ 160^\circ & 30^\circ \\ 68^\circ & 132^\circ \end{bmatrix}$

### 4.3.3 Gerakan Maalow Beruang

Gerakan ini merupakan gerak tarian pada zona tengah dimana robot diharuskan menari seperti hendak mengusir burung yang memakan padi. Tangan kanan menekuk, tangan kiri membuka ke atas dan ke bawah secara berulang-ulang. Tahap-tahap gerakan sembah pembuka pada *robot humanoid* ditunjukkan dalam Tabel 4.3

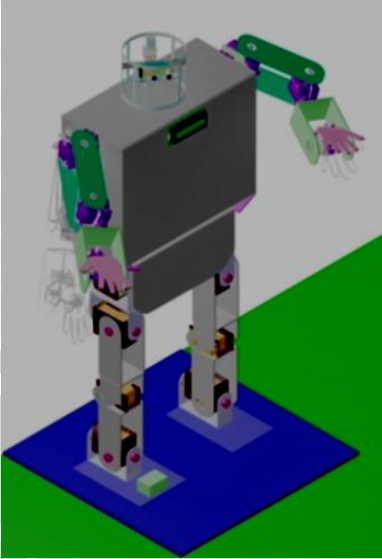
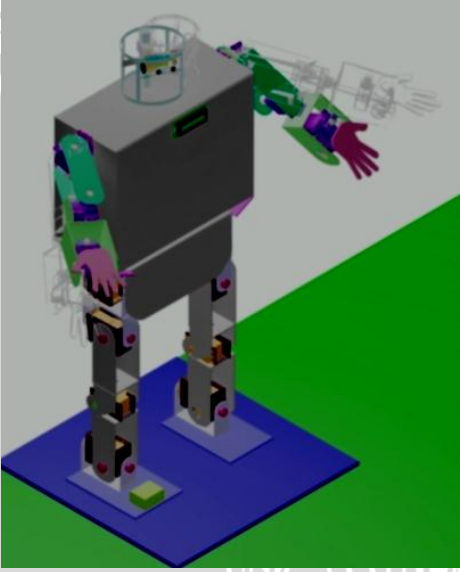
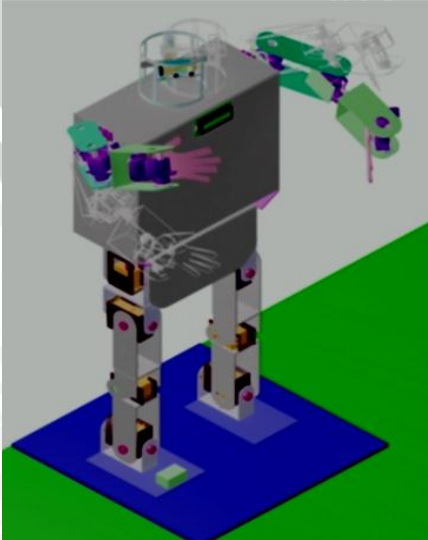
Tabel 4.3 Tahap-Tahap Gerak Maalow Beruang *Robot Humanoid*

Tahap	Gambar	Sudut Servo
1.		$\text{Posisi 1} = \begin{bmatrix} 131^\circ & 68^\circ \\ 160^\circ & 35^\circ \\ 48^\circ & 153^\circ \\ 104^\circ & 87^\circ \\ 138^\circ & 104^\circ \end{bmatrix}$
2.		$\text{Posisi 2} = \begin{bmatrix} 142^\circ & 63^\circ \\ 168^\circ & 45^\circ \\ 48^\circ & 142^\circ \\ 140^\circ & 128^\circ \\ 160^\circ & 104^\circ \end{bmatrix}$

#### 4.3.4 Gerakan Mamipih

Gerakan ini merupakan gerak tarian pada zona tutup dimana robot diharuskan menari dengan gerakan seperti memipih tumbukan padi.. Tangan kanan bergerak membuka keluar dan menutup kedalam secara berulang-ulang, tangan kiri menekuk seperti menyangga barang. Tahap-tahap gerakan sembah pembuka pada *robot humanoid* ditunjukkan dalam Tabel 4.4

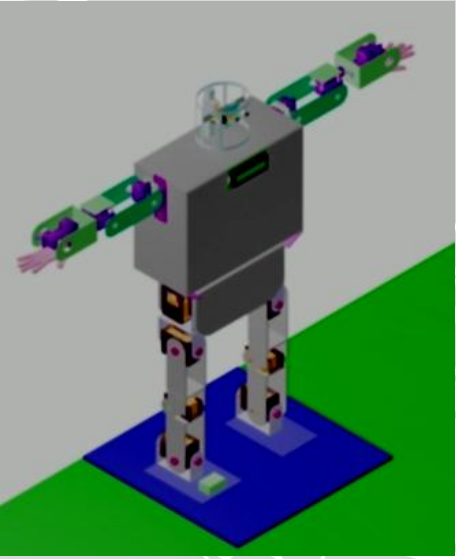
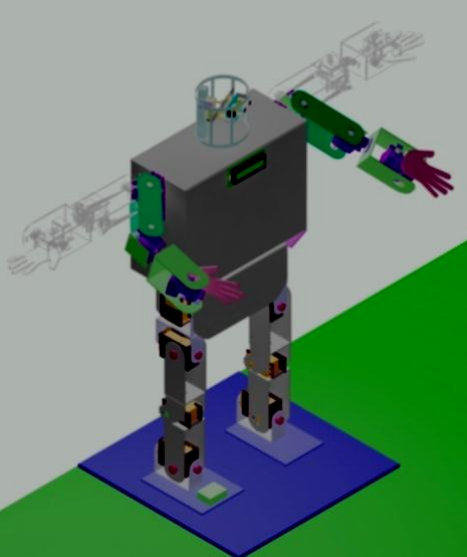
Tabel 4. 4 Tahap-Tahap Gerak Mamipih *Robot Humanoid*

Tahap	Gambar	Sudut Servo
1.		Posisi dasar = $\begin{bmatrix} 101^\circ & 50^\circ \\ 38^\circ & 45^\circ \\ 138^\circ & 155^\circ \\ 104^\circ & 45^\circ \\ 111^\circ & 97^\circ \end{bmatrix}$
2.		Posisi 1 = $\begin{bmatrix} 101^\circ & 65^\circ \\ 165^\circ & 45^\circ \\ 50^\circ & 155^\circ \\ 40^\circ & 65^\circ \\ 111^\circ & 97^\circ \end{bmatrix}$
3.		Posisi 2 = $\begin{bmatrix} 150^\circ & 65^\circ \\ 140^\circ & 45^\circ \\ 111^\circ & 135^\circ \\ 175^\circ & 65^\circ \\ 50^\circ & 97^\circ \end{bmatrix}$

### 4.3.5 Gerakan Sembah Panutuik

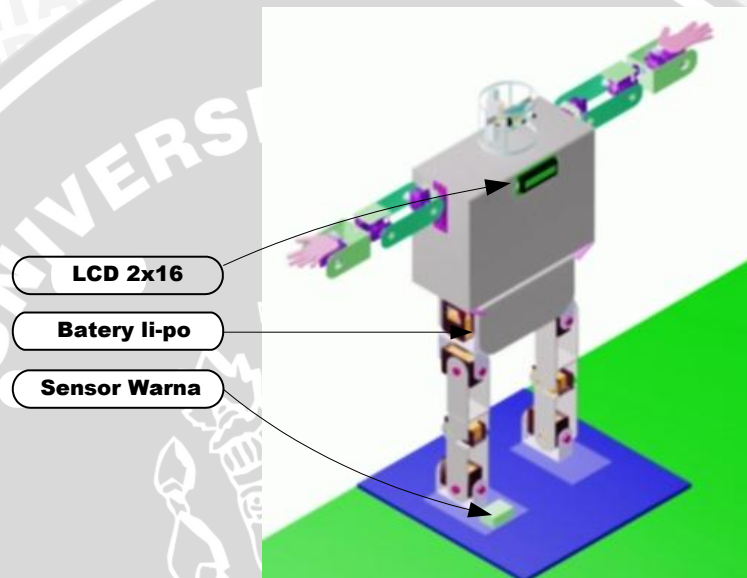
Gerakan ini merupakan gerak tarian pada zona akhir dimana robot diharuskan menari dengan gerakan mirip salam pembuka yaitu tangan kanan dan kiri secara bergantian membuka ke samping kanan dan kiri, selanjutnya tangan robot akan merentangkan kesamping lalu piring akan dilepaskan. Tahap-tahap gerakan sembah pembuka pada *robot humanoid* ditunjukkan dalam Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Tahap-Tahap Gerak Sembah Panutuik *Robot Humanoid*

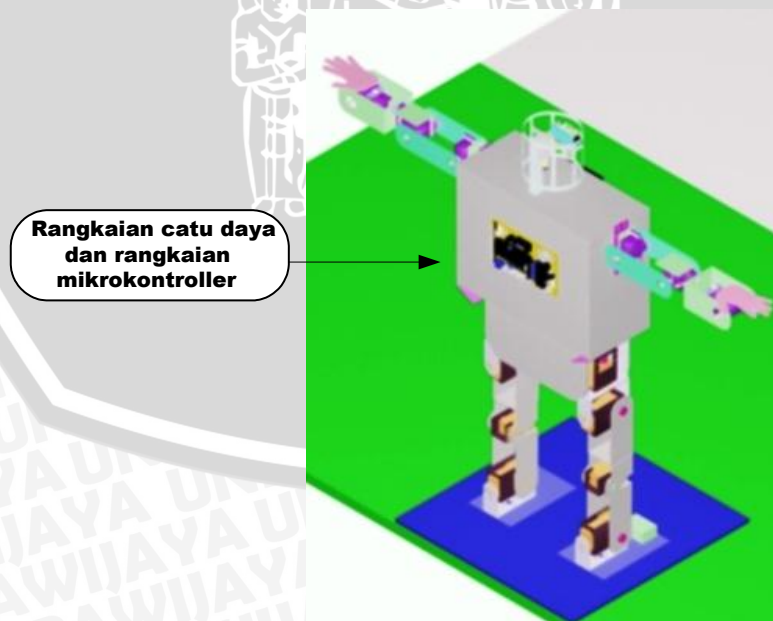
Tahap	Gambar	Sudut Servo
1.		Posisi dasar = $\begin{bmatrix} 104^\circ & 104^\circ \\ 160^\circ & 38^\circ \\ 48^\circ & 138^\circ \\ 104^\circ & 104^\circ \\ 138^\circ & 48^\circ \end{bmatrix}$
2.		Posisi 1 = $\begin{bmatrix} 120^\circ & 40^\circ \\ 150^\circ & 35^\circ \\ 120^\circ & 95^\circ \\ 101^\circ & 120^\circ \\ 104^\circ & 95^\circ \end{bmatrix}$

#### 4.4 Perancangan Perangkat Keras

Pada badan *robot humanoid* bagian depan, terdapat LCD 2x16 karakter. Sedangkan pada badan *robot humanoid* bagian belakang, terdapat rangkaian catu daya dan rangkaian mikrokontroler yang terdapat dalam satu *board*. Pada bagian depan servo telapak kaki, terpasang sensor warna TCS 230. Sedangkan peletakan baterai *lithium polymer* berada di bawah bagian perut robot. Gambar 4.9 menunjukkan desain peletakan perangkat keras pada *robot humanoid* bagian depan. Sedangkan Gambar 4.10 menunjukkan desain peletakan perangkat keras pada *robot humanoid* bagian belakang.



Gambar 4. 9 Peletakan Perangkat Keras pada *Robot Humanoid* Bagian Depan

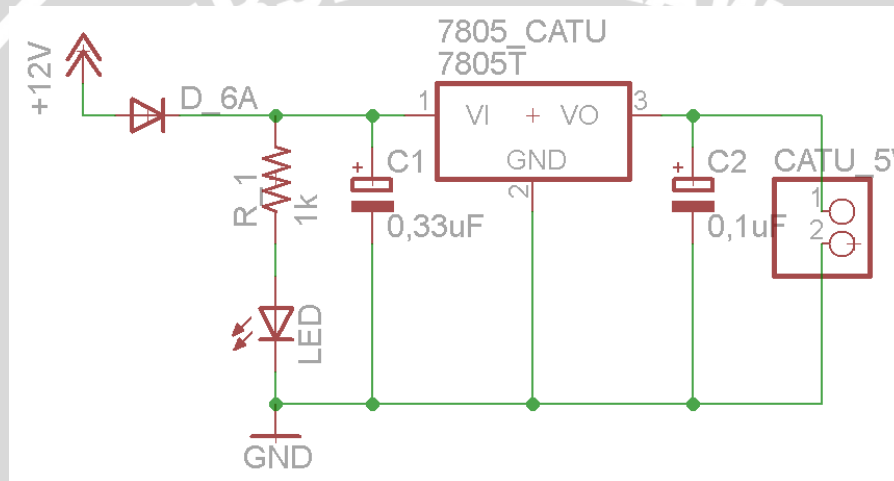


Gambar 4. 10 Peletakan Perangkat Keras pada *Robot Humanoid* Bagian Belakang

#### 4.4.1 Rangkaian Catu Daya

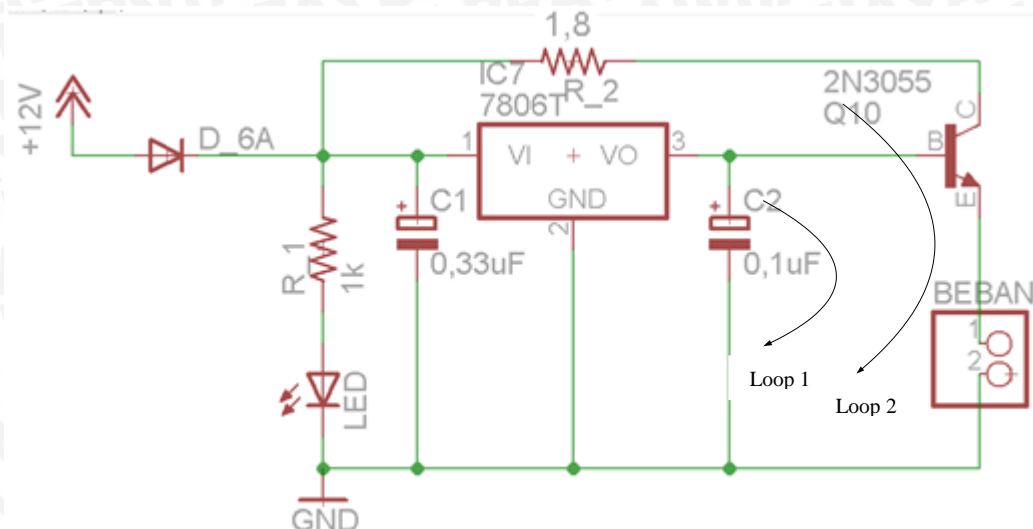
*Robot Humanoid* membutuhkan dua jenis catu daya yang berbeda, yaitu catu daya 5V untuk rangkaian sensor warna TCS 230 dan LCD, dan catu daya 5,3V untuk Mikrokontroler ATmega32 dan motor DC servo. Sumber catu daya yang dipakai adalah satu buah baterai *lithium polymer* 11,1V.

Rangkaian sensor warna TCS 230 dan LCD dapat bekerja jika diberi catu daya tegangan 5V sesuai dengan *datasheet*. Pada perancangan digunakan catu daya sebesar 5V yang diperoleh dari rangkaian *Fixed Output Regulator* pada *datasheet* LM78XX. Pada rangkaian digunakan LM7805 agar tegangan keluarannya sebesar 5V. Gambar 4.11 menunjukkan skema rangkaian catu mikrokontroler.



Gambar 4. 11 Rangkaian Catu Sensor Warna TCS 230 dan LCD

Mikrokontroler dapat bekerja jika diberi catu daya tegangan antara 4,8V hingga 5,5V sesuai dengan *datasheet* ATmega32. Pada perancangan digunakan catu daya sebesar 5,3V yang diperoleh dari rangkaian *Fixed Output Regulator* pada *datasheet* LM78XX. Rangkaian ini dapat melewati arus yang lebih besar dari batas arus maksimal yang bisa dilewatkan oleh regulator LM7806 yang hanya 1A. Berdasarkan hasil pengukuran, satu motor DC servo membutuhkan arus sebesar 140 mA untuk bergerak dengan beban maksimum, sementara motor DC servo yang digunakan sebanyak 10 buah. Jadi total arus yang dibutuhkan sekitar 1,4 A. Gambar 4.12 menunjukkan skema rangkaian catu daya sistem.



Gambar 4. 12 Rangkaian Catu Motor DC Servo dan Mikrokontroller

Untuk mengetahui besarnya tegangan pada beban, dilakukan dengan menggunakan analisis sebagai berikut:

Loop 1 :

$$V_{in} = V_{be} + V_{beban}$$

$$6V = 0,7V + V_{beban}$$

(4.2)

$$V_{beban} = 6V - 0,7V$$

$$V_{beban} = 5,3V$$

Loop 2 :

$$V_{cc} - V_{dioda} = I_c \cdot R_c + V_{ce} + V_{beban}$$

(4.3)

$$12V - 0,7V = I_c \cdot 1,8 + 1V + 5,3V$$

$$I_c = (11,1V - 0,7V) - (1V + 5,3V) / 1,8$$

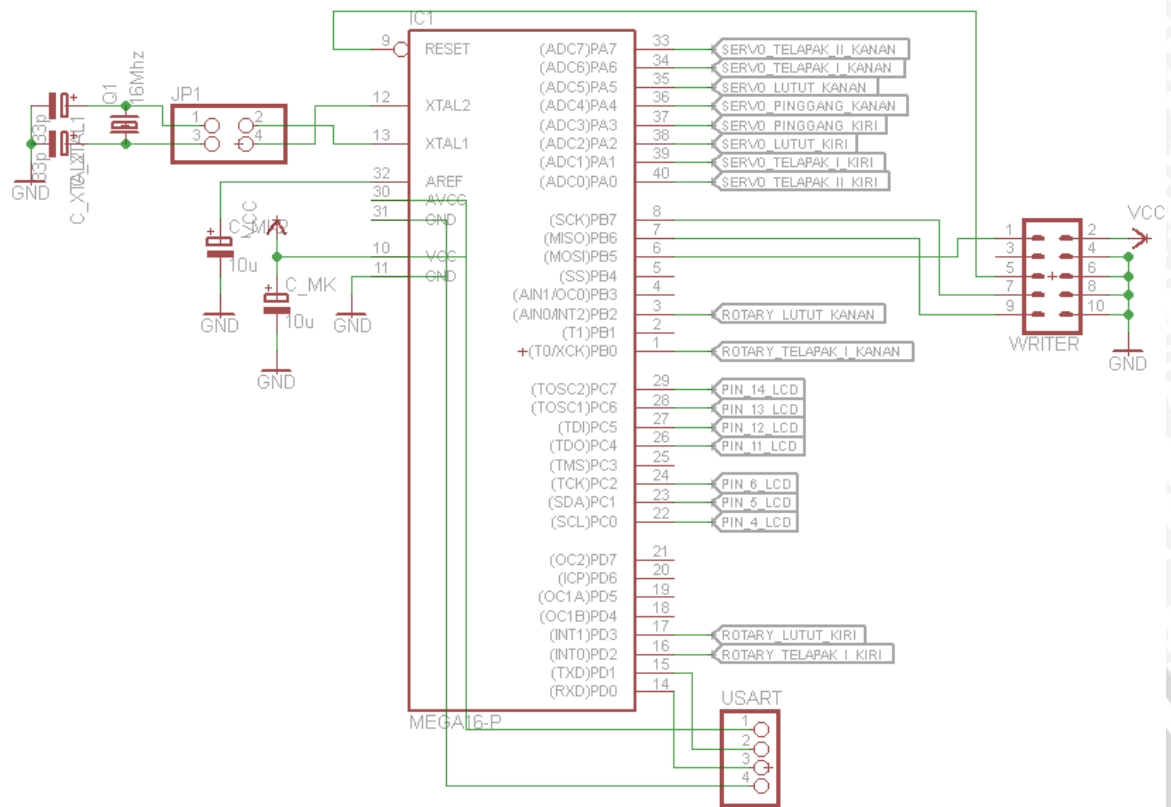
$$I_c = 2,27A$$

Tegangan beban bernilai 5,3V serta menurut datasheet ATmega32 dan servo, tegangan tersebut telah sesuai untuk digunakan sebagai catu daya sistem. Arus maksimum yang dapat dilewatkan pada rangkaian ini sebesar 2,27 A, nilai ini sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan arus 10 buah motor DC servo yang mencapai 1,4 A.

#### 4.4.2 Rangkaian Mikrokontroller Kontrol Servo

Pada perancangan perangkat keras sistem pergerakan *robot humanoid* menggunakan mikrokontroller ATmega32 sebagai pengolah utama dalam menggerakkan kedua tangan robot. Konfigurasi kaki I/O dari mikrokontroller ATmega32 ditunjukkan dalam gambar 4.13.





Gambar 4. 13 Skema Rangkaian Mikrokontroler Kontrol Servo

Mikrokontroler ATmega32 mempunyai 4 port, 32 jalur yang dapat diprogram menjadi masukan atau keluaran, pada perancangan ini pin-pin yang digunakan adalah:

- Pin A.0 = digunakan sebagai pengatur motor servo telapak tangan kiri
- Pin A.1 = digunakan sebagai pengatur motor servo pergelangan tangan kiri
- Pin A.2 = digunakan sebagai pengatur motor servo siku tangan kiri
- Pin A.3 = digunakan sebagai pengatur motor servo lengan tangan kiri
- Pin A.4 = digunakan sebagai pengatur motor servo pundak tangan kiri
- Pin A.5 = digunakan sebagai pengatur motor servo pundak tangan kanan
- Pin A.6 = digunakan sebagai pengatur motor servo lengan tangan kanan
- Pin A.7 = digunakan sebagai pengatur motor servo siku tangan kanan
- Pin D.0 = digunakan sebagai pengatur motor servo pergelangan tangan kanan
- Pin D.1 = digunakan sebagai pengatur motor servo telapak tangan kanan
- Pin D.2 = digunakan sebagai masukan kaki selektor S3 sensor warna TCS 230
- Pin D.3 = digunakan sebagai masukan kaki selektor S2 sensor warna TCS 230
- Pin B.0 = digunakan sebagai masukan sensor warna TCS 230
- Pin B.5 = digunakan sebagai antarmuka dengan modul driver (*MOSI-SPI*)



- Pin B.6 = digunakan sebagai antarmuka dengan modul driver (*MISO-SPI*)
- Pin B.7 = digunakan sebagai antarmuka dengan modul driver (*SCK-SPI*)
- Pin C.0 = dihubungkan ke pin 4 LCD
- Pin C.1 = dihubungkan ke pin 5 LCD
- Pin C.2 = dihubungkan ke pin 6 LCD
- Pin C.4 = dihubungkan ke pin 11 LCD
- Pin C.5 = dihubungkan ke pin 12 LCD
- Pin C.6 = dihubungkan ke pin 13 LCD
- Pin C.7 = dihubungkan ke pin 14 LCD
- XTAL1 = digunakan sebagai masukan dari rangkaian osilator kristal
- XTAL2 = digunakan sebagai masukan dari rangkaian osilator kristal

#### 4.4.3 Rangkaian Sensor Warna

Sensor warna berfungsi untuk membaca warna objek yang telah terdeteksi. Sensor warna yang digunakan pada alat ini adalah TCS230. IC TCS230 adalah IC pengkonversi warna cahaya ke frekuensi. Setiap warna bisa disusun dari warna dasar. Untuk cahaya, warna dasar penyusunnya adalah warna Merah, Hijau dan Biru, atau lebih dikenal dengan istilah RGB (*Red-Green-Blue*).

Terdapat dua komponen utama pembentuk IC ini, yaitu *photodiode* dan pengkonversi arus ke frekuensi. Kelompok *photodiode* yang akan dipakai dapat diatur melalui kaki selektor S2 dan S3 (TAOS TCS230 datasheet). Kombinasi fungsi dari S2 dan S3 ditunjukkan dalam Tabel 4.6

Tabel 4.6 Kombinasi Fungsi S2 dan S3

S2	S3	PHOTODIODE TYPE
L	L	Red
L	H	Blue
H	L	Clear (no filter)
H	H	Green

Sumber: TAOS TCS230 Datasheet

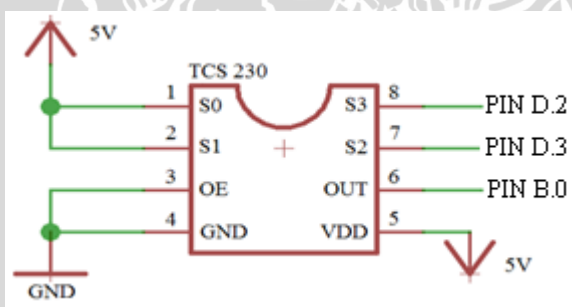
*Photodiode* akan mengeluarkan arus yang besarnya sebanding dengan kadar warna dasar cahaya yang menyimpannya. Arus ini kemudian dikonversikan menjadi sinyal kotak dengan frekuensi sebanding dengan besarnya arus. Frekuensi Output ini bisa diskala dengan mengatur kaki selektor S0 dan S1. Penskalaan Output ditunjukkan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Penskalaan Output

S0	S1	OUTPUT FREQUENCY SCALING (f <sub>o</sub> )
L	L	Power down
L	H	2%
H	L	20%
H	H	100%

Sumber: TAOS TCS230 Datasheet

Dalam perancangan ini skala sensor yang akan digunakan adalah skala frekuensi keluaran 100% dengan mengatur S0 dan S1 sama dengan 1. *Photodiode* yang akan digunakan adalah *photodiode red, green, dan blue*. Ketiga *photodiode* ini digunakan secara bergantian sesuai dengan pengaturan S2 dan S3 yang dikendalikan oleh perangkat lunak pada rangkaian mikrokontroler Atmega16. Kaki selektor S2 dan S3 sensor warna dihubungkan dengan PIN D.2 dan PIN D.3 pada mikrokontroler Atmega16. Sehingga dalam satu kali pengukuran terdapat tiga frekuensi keluaran yang berbeda, yaitu frekuensi untuk *red, green, dan blue*. Gambar 4.14 menunjukkan skema rangkaian sensor warna.



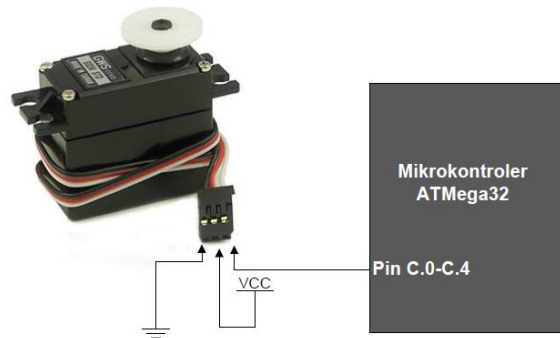
Gambar 4.14 Skema Rangkaian Sensor Warna

Sensor warna ini memiliki resolusi yang dapat diperoleh dari perbandingan panjang gelombang maksimal dengan besar frekuensi maksimal yang dapat dihasilkan.

$$Resolusi = \frac{\text{panjang gelombang}}{\text{frekuensi}} \quad Resolusi = \frac{700 \text{ nm}}{600 \text{ kHz}} = 1,16$$

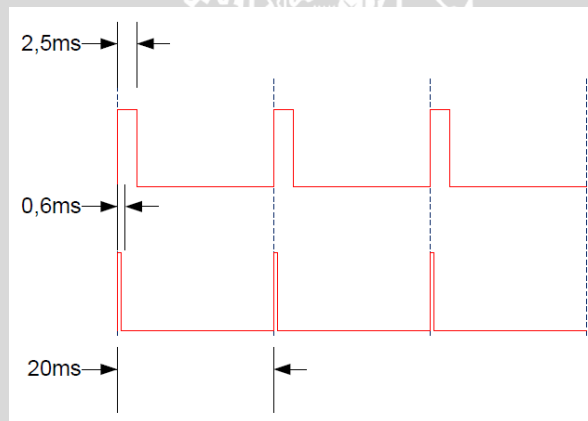
#### 4.4.4 Motor DC Servo

Motor servo merupakan komponen utama untuk menggerakkan kaki robot. Servo memiliki tiga buah kaki atau pin yakni pin kontrol, pin VCC dan pin GND. Komunikasi mikrokontroler dengan motor servo ditunjukkan dalam Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Komunikasi Mikrokontroler dengan Motor Servo

Servo memiliki periode sebesar 20ms dan motor ini hanya dapat berputar antara 0° sampai 180°. Dengan mengubah kondisi logika *high* dari *duty cycle* akan dapat mengatur besarnya sudut servo. Untuk menghasilkan sudut 0° dibutuhkan logika high sebesar 0,525ms dan sudut 180° sebesar 2,25ms. Pulsa minimal dan maksimal motor servo ditunjukkan dalam Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Pulsa Minimal dan Maksimal Motor Servo

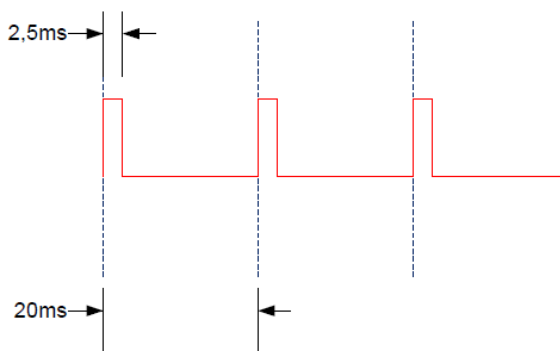
PWM motor servo memiliki resolusi yang dapat diperoleh dari perbandingan pulsa high maksimal dengan besar sudut maksimal yang dapat dicapai.

$$Resolusi = \frac{\text{pulsa maksimal}}{\text{Sudut}} \quad Resolusi = \frac{2500\mu s}{180^\circ} = 13,8$$

#### 4.5 Perancangan Perangkat Lunak

##### 4.5.1 Kontrol Multi-Servo

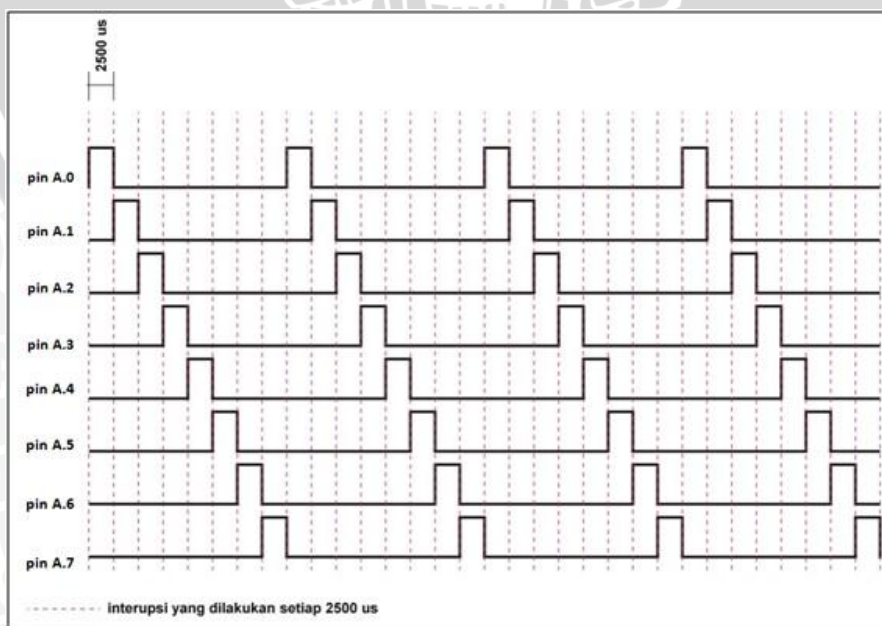
Motor DC Servo membutuhkan sinyal kontrol berupa pulsa periodik selebar 20 ms dengan sinyal logika HIGH pada 2,5 ms awal sebagai kontrol posisi seperti pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Sinyal Kontrol Motor DC Servo

Motor DC servo harus selalu diberi pulsa periodik agar selalu berfungsi sesuai dengan posisi yang diinginkan. Apabila pulsa periodik tersebut hilang dalam waktu tertentu, maka servo akan kehilangan posisinya dan motor seakan-akan mati. Hal tersebut selain dapat mempengaruhi kinerja robot secara keseluruhan, juga dapat menyebabkan motor servo menjadi rusak. Untuk menghindari terjadinya error posisi dan kerusakan servo, mikrokontroler yang berfungsi sebagai kontrol servo harus dapat menyediakan pulsa periodik selama terus-menerus kepada motor servo. Pulsa periodik juga harus bersifat stabil, karena jika pulsa periodik tersebut lebarnya berubah-ubah akan menyebabkan posisi servo berubah-ubah.

Pengontrollan multi-servo menggunakan satu buah ATmega32 dapat dilakukan dengan cara menggunakan pin-pin I/O biasa (selain pin timer) dan pemakaian timer secara bersama-sama. Gambar 4.18 menunjukkan pulsa periodik yang dikeluarkan oleh pin I/O non-timer untuk melakukan pengontrollan multi-servo.



Gambar 4. 18 Sinyal Kontrol Multi-Servo

Garis merah pada Gambar 4.17 menunjukkan interupsi yang dilakukan oleh timer setiap 2500us. Interupsi dilakukan selama 2500us karena setiap servo yang dikontrol hanya memerlukan logika tinggi pada rentang waktu 0 hingga 2500 us pada awal pulsa periodiknya, sisanya adalah logika rendah. Gambar 4.22 juga menunjukkan bagaimana tiap-tiap pin mikrokontroler secara bersamaan menghasilkan pulsa periodik. Yang membedakan hanya waktu awalan periode pulsa kontrolnya. Hal tersebut terlihat dari perbedaan posisi logika tinggi masing-masing pin mikrokontroler. Untuk menghasilkan kontrol posisi yang berbeda pada tiap-tiap pin mikrokontroler digunakan interupsi pada fitur *Timer/Counter Output Compare Match* pada timer 16 bit. Dengan metode seperti pada Gambar 4.18, dapat dilakukan pengontrolan sebanyak 16 motor servo dengan syarat menggunakan timer 16 bit dan menggunakan interupsi pada OCRA dan OCRB (masing-masing delapan kali).

Lebar sinyal high pada awal pulsa periodik diatur oleh Output Compare Register (OCRA dan OCRB) pada timer 16 bit. Perhitungan nilai pada register OCRA dan OCRB diperoleh dari datasheet ATmega32 sebagai berikut.

$$f_{OCPWM} = \frac{f_{clk\_I/O}}{N \cdot (1 + TOP)} \quad (4.8)$$

$$TOP = \frac{f_{clk\_I/O}}{N \cdot f_{OCPWM}} - 1 \quad (4.9)$$

dengan  $f_{OCnxPWM}$  = Frekuensi PWM pada mode Output Compare

$f_{clk\_I/O}$  = Frekuensi clock

N = Prescaler

TOP = Nilai pada *Output Compare Register*

Pada perancangan digunakan clock dengan frekuensi 16 MHz dan prescaler 1x.

Untuk periode 600  $\mu$ s :

$$TOP = \frac{16 \cdot 10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{600 \cdot 10^{-6}}\right)} - 1 = 9599$$

Untuk periode 700  $\mu$ s :

$$TOP = \frac{16 \cdot 10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{700 \cdot 10^{-6}}\right)} - 1 = 11199$$

Untuk periode 800  $\mu$ s :

$$TOP = \frac{16 \cdot 10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{800 \cdot 10^{-6}}\right)} - 1 = 12799$$

Untuk periode 900  $\mu$ s :

$$TOP = \frac{16 \cdot 10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{900 \cdot 10^{-6}}\right)} - 1 = 14399$$

Untuk periode 1000  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1000.10^{-6}}\right)} - 1 = 15999$$

Untuk periode 1100  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1100.10^{-6}}\right)} - 1 = 17599$$

Untuk periode 1200  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1200.10^{-6}}\right)} - 1 = 19199$$

Untuk periode 1300  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1300.10^{-6}}\right)} - 1 = 20799$$

Untuk periode 1400  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1400.10^{-6}}\right)} - 1 = 22399$$

Untuk periode 1500  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1500.10^{-6}}\right)} - 1 = 23999$$

Untuk periode 1600  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1600.10^{-6}}\right)} - 1 = 25599$$

Untuk periode 1700  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1700.10^{-6}}\right)} - 1 = 27199$$

Untuk periode 1800  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1800.10^{-6}}\right)} - 1 = 28799$$

Untuk periode 1900  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{1900.10^{-6}}\right)} - 1 = 30399$$

Untuk periode 2000  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{2000.10^{-6}}\right)} - 1 = 31999$$

Untuk periode 2100  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{2100.10^{-6}}\right)} - 1 = 33599$$

Untuk periode 2200  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{2200.10^{-6}}\right)} - 1 = 35199$$

Untuk periode 2300  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{2300.10^{-6}}\right)} - 1 = 36799$$

Untuk periode 2400  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{2400.10^{-6}}\right)} - 1 = 38399$$

Untuk periode 2500  $\mu\text{s}$  :

$$TOP = \frac{16.10^6}{1 \cdot \left(\frac{1}{2500.10^{-6}}\right)} - 1 = 39999$$

Nilai yang diperoleh dari perhitungan TOP diatas nantinya langsung dimasukkan ke dalam register OCRA dan OCRB. Periode sudut servo dan nilai TOP dapat dilihat dalam Tabel 4.8

Tabel 4. 8 Periode Sudut Servo dan Nilai TOP

No.	Sudut	Periode Sudut Servo (us)	Nilai TOP
1.	0°	525	8399
2.	30°	875	13999
3.	60°	1125	17999
4.	90°	1400	22399
5.	120°	1650	26399
6.	150°	1975	31599
7.	180°	2250	35999

#### 4.5.2 Algoritma Mikrokontroler Kontrol Servo

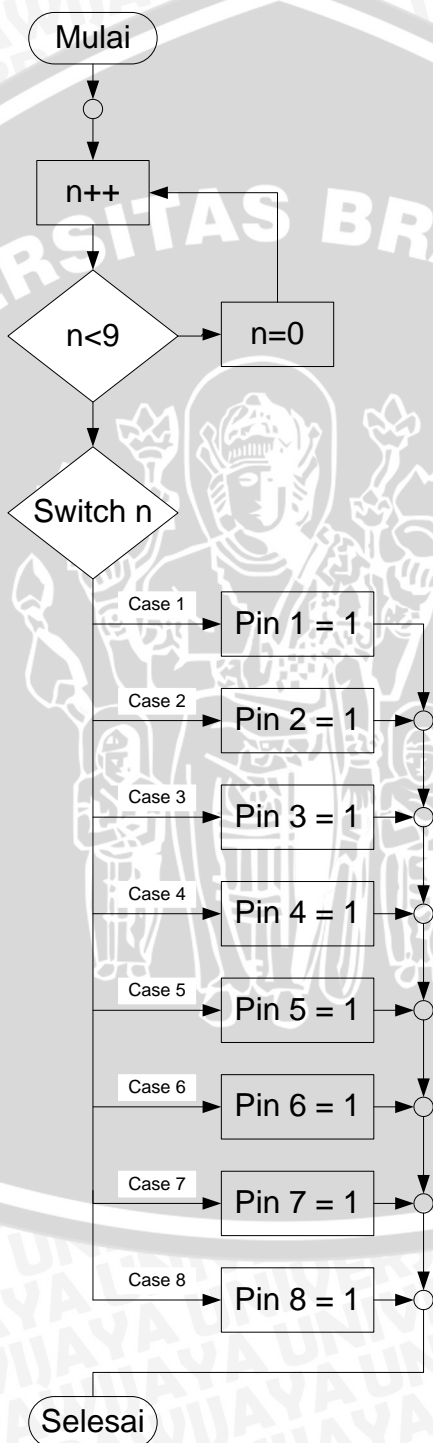
Mikrokontroler ATmega32 digunakan sebagai mikrokontroler kontrol servo, pemrosesan sinyal sensor rotary dan pengolahan data yang akan ditampilkan dalam LCD. Fungsi utama dari mikrokontroler ini adalah menyediakan pulsa periodik secara terus-menerus kepada semua servo yang terhubung kepadanya sesuai dengan input yang diterima. Algoritma pada mikrokontroler kontrol servo secara umum dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

- 1). Interupsi *Timer1*

Timer yang digunakan adalah *Timer1 – 16 bit* dengan mode *Fast PWM* dan *Input Capture*. Tujuannya adalah untuk menghasilkan logika HIGH pada



awal sinyal kontrol servo secara berurutan sesuai dengan servo yang sedang dikontrolnya. Interupsi dilakukan setiap 2500 $\mu$ s, sesuai dengan lebar sinyal kontrol HIGH maksimal pada awal sinyal kontrol servo. Dengan mengetahui bahwa periode sinyal kontrol servo adalah 20ms, maka interupsi dilakukan sebanyak delapan kali. Gambar 4.19 menunjukkan diagram alir program Interupsi *Timer1*.

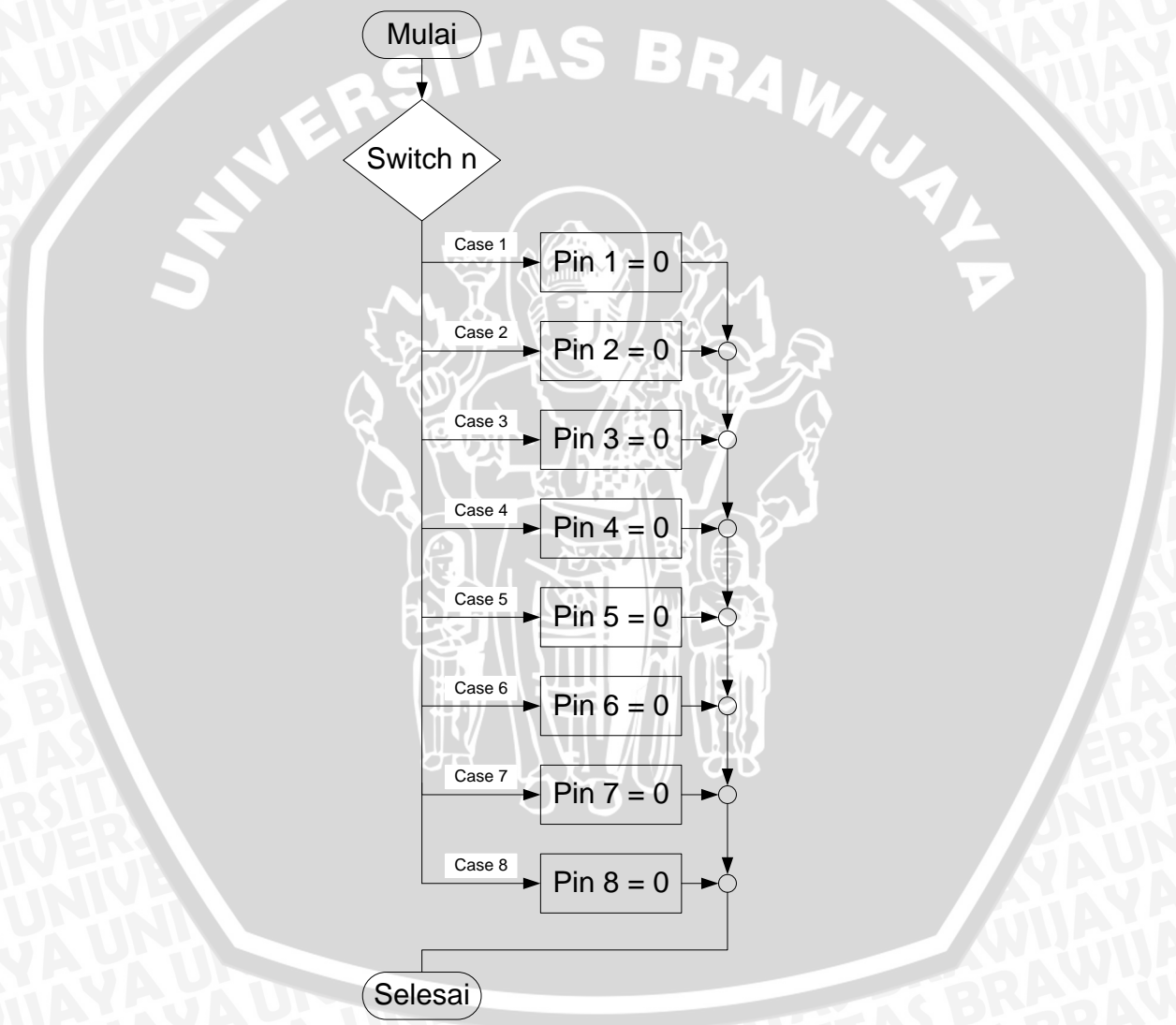


Gambar 4. 19 Diagram Alir Program Interupsi *Timer1*



2). Interupsi *Timer Output Compare Match*

Tujuannya adalah menentukan lebar sinyal kontrol HIGH pada awal sinyal kontrol servo. Isi program interupsi adalah memberi logika LOW pada pin yang mengontrol servo secara berurutan. Pada perancangan ini digunakan satu buah OCR pada timer 16 bit, yaitu OCRA. OCRA mengontrol delapan buah motor servo dalam dua kaki. Nilai OCRA mempengaruhi arah pergerakan motor servo. Gambar 4.20 menunjukkan diagram alir program interupsi *Timer Output Compare Match*.

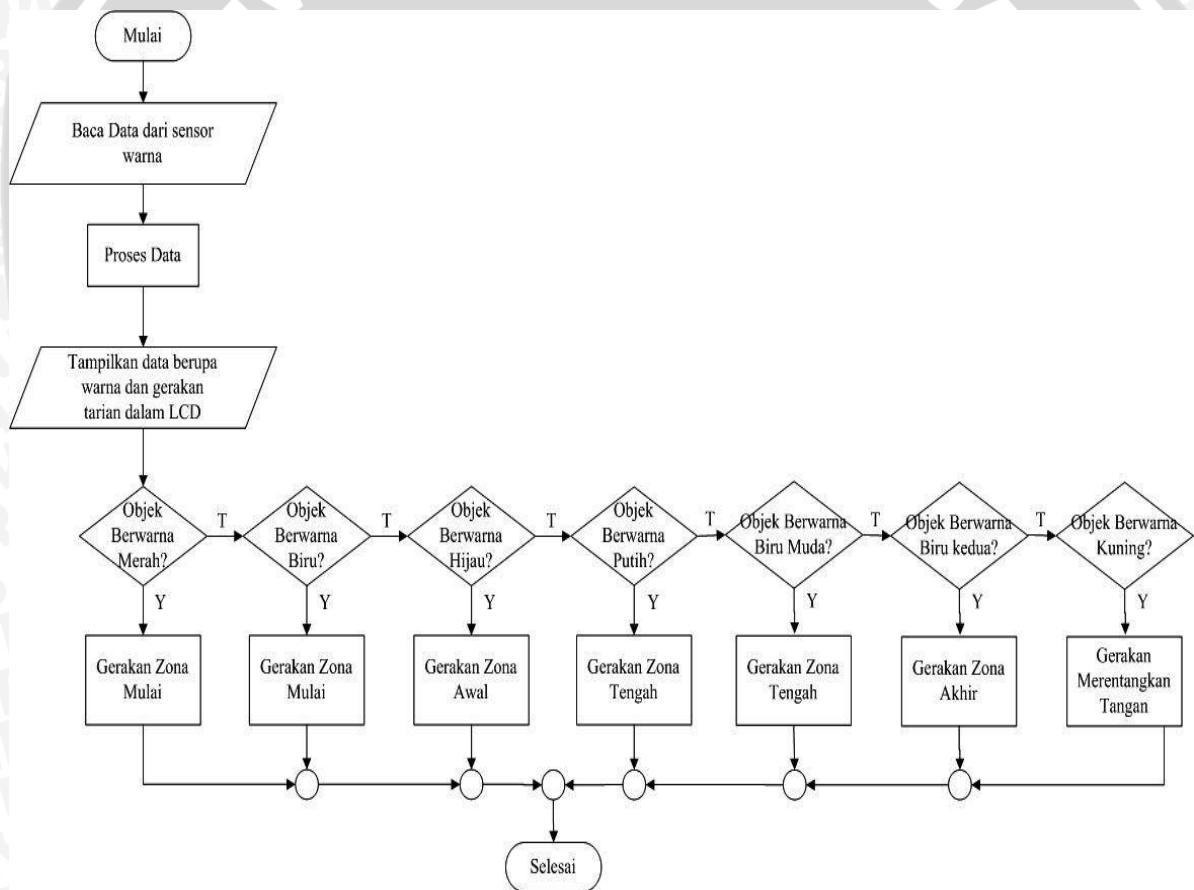


Gambar 4. 20 Diagram Alir Program Interupsi *Timer Output Compare Match* Interupsi OCRA



### 3). Program Utama

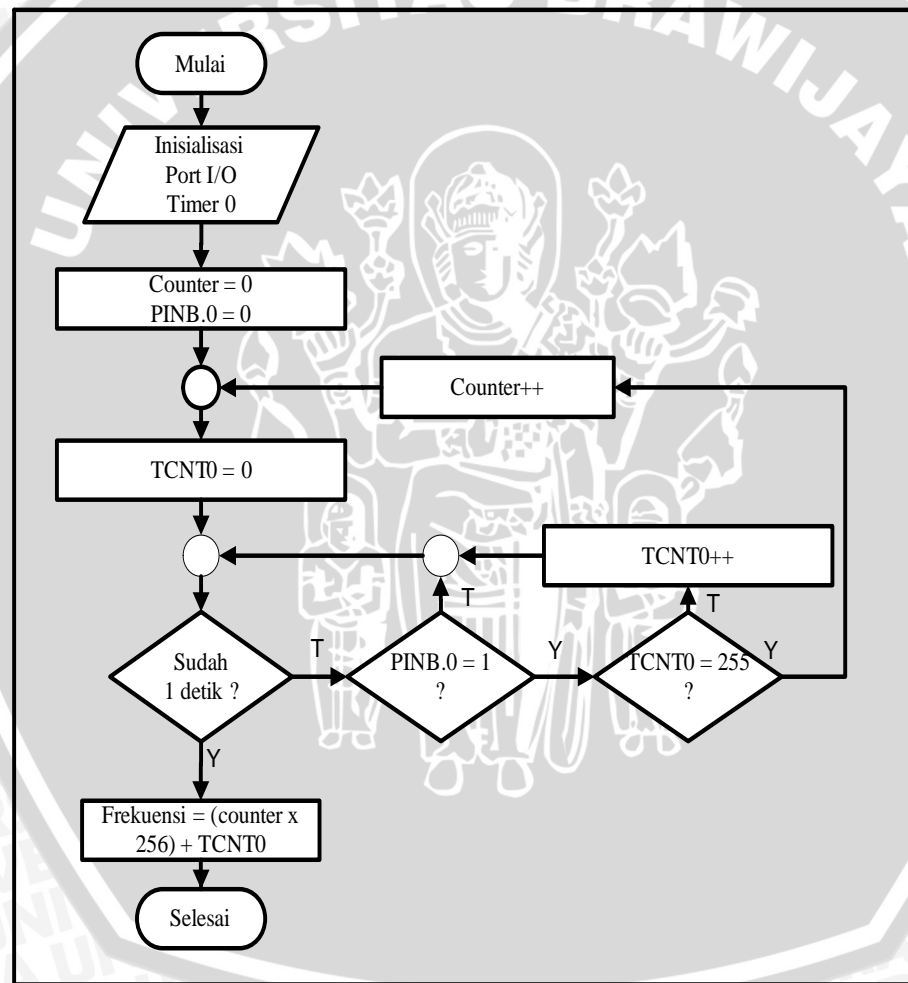
Pada awalnya robot akan berdiri tegak maju, kemudian sensor warna TCS 230 mendeteksi perubahan frekuensi sesuai warna zona yang ditempati dan kemudian akan diproses di dalam Mikrokontroler ATmega32. Hasil dari pengolahan data tersebut akan ditampilkan dalam bentuk warna dan zona oleh LCD. Jika warna dan zona telah diketahui, maka robot akan melakukan gerakan tarian sesuai zona yang ditempati seperti gerakan sembah pembuka dan lainnya. Setelah melakukan gerakan tersebut, robot akan melangkah maju dan akan mendeteksi perubahan frekuensi sesuai cahaya warna yang diterima kemudian melakukan tarian dan seterusnya. Gambar 4.21 menunjukkan diagram alir program pada mikrokontroler.



Gambar 4. 29 Diagram Alir Program Utama Mikrokontroler

### 4.5.3 Perancangan Algoritma Perhitungan Frekuensi

Sensor warna type TCS230 mempunyai output berupa sinyal digital yang mempunyai frekuensi tertentu bergantung warna yang dideteksi. Oleh sebab itu dibutuhkan suatu algoritma pada program mikrokontroler untuk mendeteksi frekuensi keluaran sensor warna tersebut agar dapat menentukan warna apakah yang terdeteksi oleh sensor. Diagram alir program perhitungan frekuensi sensor warna ditunjukkan dalam Gambar 4.22.



Gambar 4.22. Diagram Alir perhitungan frekuensi sensor warna

## BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja sesuai perancangan. Pengujian dilakukan per blok kemudian secara keseluruhan. Adapun pengujian yang perlu dilakukan sebagai berikut:

- 1). Pengujian Rangkaian Catu Daya
- 2). Pengujian Sensor Warna TCS 230
- 3). Pengujian LCD 2x16 Karakter
- 4). Pengujian Sinyal Kontrol Servo
  - a). Pengujian Sinyal Kontrol HIGH
  - b). Pengujian Sinyal Kontrol Multi-Servo
- 5). Pengujian Gerakan Tarian
  - a). Pengujian Gerakan Sembah Pembuka
  - b). Pengujian Gerakan Menyemai Benih
  - c). Pengujian Gerakan Maalow Beruang
  - d). Pengujian Gerakan Memipih
  - e). Pengujian Gerakan Sembah Panutuik
- 6). Pengujian Keseluruhan
  - a). Pengujian Pada Zona Mulai
  - b). Pengujian Pada Zona Awal
  - c). Pengujian Pada Zona Tengah
  - d). Pengujian Pada Zona Akhir
  - e). Pengujian Pada Zona Tutup

Instrumen penunjang yang digunakan dalam melakukan pengujian – pengujian di atas antara lain, osiloskop TEKTRONIX TDS-1012B, dan *logic analyzer* ELAB-080.

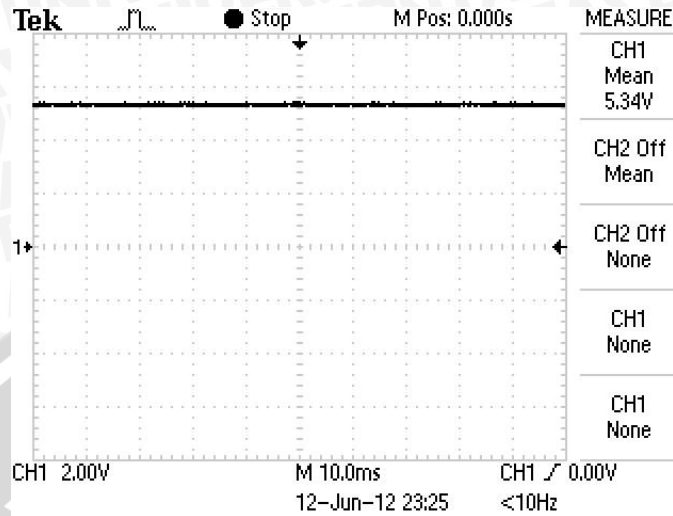
### 5.1 Pengujian Rangkaian Catu Daya

Sebelum melakukan pengujian pada rangkaian keseluruhan, perlu melakukan pemeriksaan terhadap rangkaian catu daya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian keluaran pada rangkaian catu daya. Pemeriksaan dilakukan dengan menghubungkan keluaran rangkaian catu daya dengan osiloskop TEKTRONIX TDS-1012B untuk diketahui nilai tegangannya. Gambar 5.1 menunjukkan proses pengujian rangkaian catu daya.



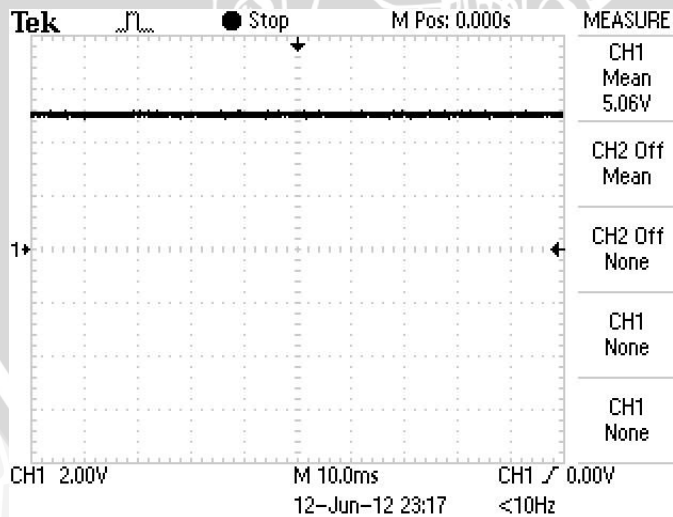
Gambar 5. 1 Proses Pengujian Rangkaian Catu Daya

Pada pengujian tersebut catu masukan berupa baterai lithium polymer dengan tegangan 11,1V. Dari hasil pengujian diperoleh nilai tegangan keluaran rangkaian catu daya 5,3V sebesar 5,34V. Nilai tersebut merupakan nilai tegangan keluaran maksimal (tanpa beban) yang mampu dihasilkan oleh rangkaian catu daya. Nilai tegangan tersebut dapat digunakan sebagai catu daya bagi mikrokontroler dan motor dc servo.



Gambar 5. 2 Tegangan Masukan dan Keluaran pada Rangkaian Catu Daya 5,3V

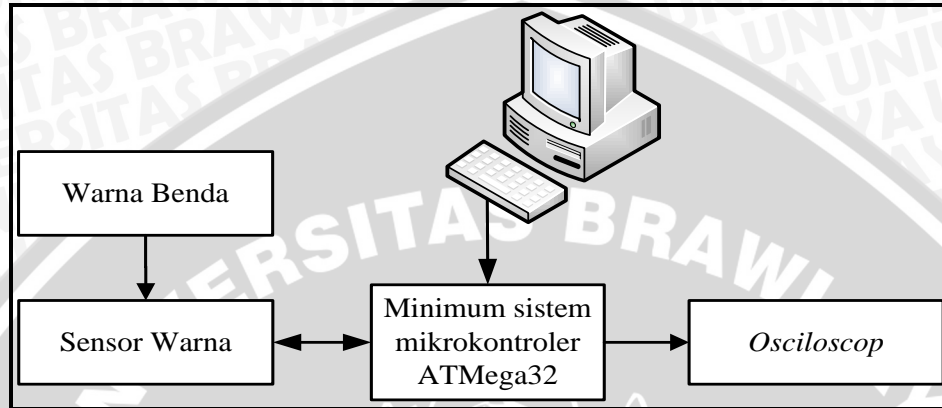
Pada pengujian kedua catu masukan berupa baterai *lithium polymer* dengan tegangan 11,1V. Dari hasil pengujian diperoleh nilai tegangan keluaran rangkaian catu daya 5V sebesar 5,06V. Nilai tersebut merupakan nilai tegangan keluaran maksimal (tanpa beban) yang mampu dihasilkan oleh rangkaian catu daya. Nilai tegangan tersebut dapat digunakan sebagai catu daya bagi sensor warna TCS 230 dan LCD.



Gambar 5. 3 Tegangan Keluaran pada Rangkaian Catu Daya 5V

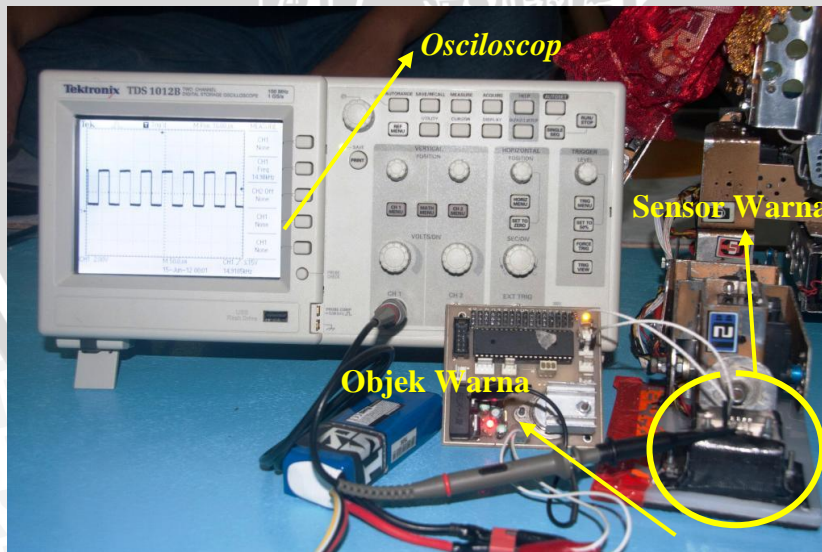
## 5.2 Pengujian Sensor Warna

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis frekuensi keluaran sensor warna untuk beberapa jenis warna dan gradasi warna. Diagram blok pengujian sensor warna dengan warna benda ditunjukkan dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.4. Diagram blok pengujian sensor warna dengan warna benda
















Prosedur pengujian yang dilakukan adalah dengan melakukan pembacaan warna benda menggunakan *photodiode red, green, dan blue* yang terdapat pada sensor warna secara bergantian. Frekuensi keluaran sensor dilihat melalui *oscilloscope* TEKTRONIX TDS-1012B. Proses pengujian sensor warna ditunjukkan dalam Gambar 5.5 serta pengujian menggunakan kertas HVS pada tabel 5.1


















Gambar 5.5. Proses pengujian sensor warna dengan warna benda


















Tabel 5.1 Hasil Pengujian Warna Merah Dengan Media Kertas HVS

No.	Warna	Frekuensi Keluaran Sensor Warna		
		R ( KHz)	G (KHz)	B (KHz)
1.		2,260	2,336	3,092
2.		3,523	2,662	3,343
3.		4,649	2,882	3,319
4.		5,671	2,947	3,271
5.		6,520	2,996	3,229
6.		6,756	3,100	3,395
7.		7,200	3,488	3,942
8.		7,480	3,887	4,671
9.		7,662	4,618	5,774
10.		8,135	5,785	7,414
11.		8,193	6,547	8,585
12.		8,393	7,797	10,10
13.		8,568	9,197	11,80
14.		8,797	10,67	13,91
15.		9,252	12,62	16,51

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Warna Biru Dengan Media Kertas HVS













No.	Warna	Frekuensi Keluaran Sensor Warna		
		R ( KHz)	G (KHz)	B (KHz)
1.		1,674	2,312	3,272
2.		1,906	2,793	4,960
3.		2,004	3,131	6,566
4.		2,109	3,284	7,149
5.		2,172	3,350	7,331
6.		2,253	3,502	7,702
7.		2,516	3,863	8,264
8.		2,679	4,081	8,797
9.		2,970	4,663	9,536
10.		3,811	5,720	11,02
11.		4,492	6,592	11,65
12.		5,456	7,884	12,99
13.		6,726	9,178	13,77
14.		7,993	10.62	15,05
15.		9,481	12,623	16,28

Tabel 5.3. Hasil Pengujian Warna Hijau Dengan Media Kertas HVS






No.	Warna	Frekuensi Keluaran Sensor Warna		
		R ( KHz)	G (KHz)	B (KHz)
1.		1,650	2,448	2,958
2.		2,275	4,048	3,904
3.		2,468	5,125	4,196
4.		2,519	5,355	4,207
5.		2,576	5,531	4,360
6.		2,586	5,491	4,399
7.		2,830	6,126	4,882
8.		3,006	6,492	5,512
9.		3,272	6,720	5,489
10.		3,698	7,345	6,225
11.		4,386	7,996	7,640
12.		5,119	9,115	8,997
13.		6,332	10,31	11,42
14.		7,505	11,45	13,77
15.		9,075	12,94	16,73

Perubahan warna pada warna benda akan mempengaruhi perubahan frekuensi keluaran sensor warna yang ditampilkan di *osciloscop*. Setiap jenis *photodiode* yang digunakan mempunyai frekuensi keluaran yang berbeda yang mewakili pembacaan warna benda. Hasil pengujian di atas menunjukkan semakin terang warna benda maka akan semakin besar frekuensi keluaran sensor. Dan berikut pengujian keluaran sensor untuk berbagai warna benda.

Tabel 5.4. Hasil pengujian frekuensi keluaran sensor warna untuk berbagai warna benda

No	Warna	Frekuensi keluaran Sensor		
		Red (Hz)	Green (Hz)	Blue (Hz)
1		980	1292	1544
2		797,5	720,5	769,2
3		3167	6780	11100
4		1397	1563	1359
5		1729	1239	1519
6		1497	2542	5041
7		591	620,3	626,6
8		9551	13108	15957
9		5454	2123	2216
10		178,4	174,9	183
11		1163	1208	1185
12		6799	5281	2630

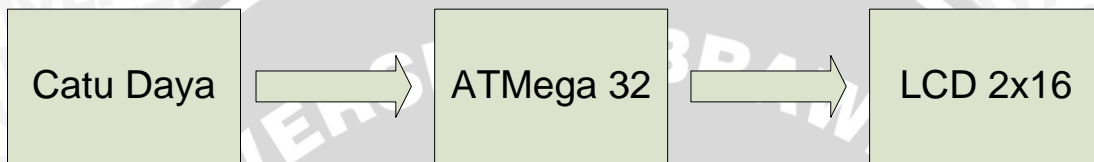
Tabel 5.5. Kombinasi range frekuensi keluaran sensor warna untuk arena perlombaan

No	Warna	Range frekuensi		
		<i>Red</i> (Hz)	<i>Green</i> (Hz)	<i>Blue</i> (Hz)
1		1200-1600	2350-2500	5000-6000
2		1200-1500	2100-2300	2100-2600
3		3000-4000	6100-7000	10000-12000
4		6000-7000	5000-6000	2000-3000
5		18000-20000	12000-13000	14000-16000

Dari data kombinasi frekuensi diatas yang kemudian akan menjadi data yang di olah oleh Mikrokontroler sebagai masukan untuk menentukan robot berada di zona tertentu dengan melakukan gerakan tarian yang sesuai.

### 5.3 Pengujian LCD 2x16 Karakter

Pengujian modul LCD 2x16 dilakukan dengan menghubungkan LCD dengan mikrokontroler yang sudah berisi perangkat lunak untuk menampilkan tulisan tertentu. Pengujian modul LCD ini bertujuan untuk mengetahui keberhasilan LCD menampilkan tulisan sesuai dengan perangkat lunak yang terdapat dalam mikrokontroler. Gambar 5.6 menunjukkan proses pengujian LCD.



Gambar 5. 6 Diagram Blok Pengujian Tampilan LCD

Dalam pengujian ini, LCD dapat menampilkan tulisan "PENGUJIAN LCD" pada baris pertama dan "SENSOR WARNA" pada baris kedua. Gambar 5.7 menunjukkan tampilan hasil pengujian modul LCD. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa rangkaian LCD dan perangkat lunak yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik.



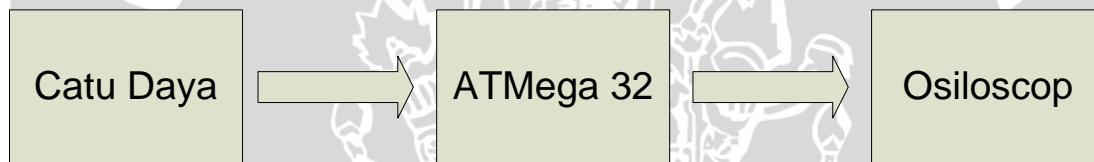
Gambar 5. 7 Tampilan Hasil Pengujian Tampilan LCD

## 5.4 Pengujian Sinyal Kontrol Servo

Pengujian sinyal kontrol servo bertujuan untuk mengetahui bentuk pulsa periodik yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Pengujian ini terdiri atas dua bagian yaitu pengujian sinyal kontrol HIGH dan pengujian sinyal kontrol multi-servo

### 5.4.1 Pengujian Sinyal Kontrol HIGH

Pengujian sinyal kontrol HIGH bertujuan untuk mengetahui ketepatan lebar sinyal HIGH yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Lebar sinyal HIGH mempengaruhi posisi dan arah putar motor servo. Kestabilan dan akurasi dari sinyal HIGH diperlukan untuk menjaga posisi servo agar sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 5.8 menunjukkan diagram blok pengujian sinyal kontrol HIGH. Gambar 5.9 menunjukkan proses pengujian sinyal kontrol HIGH.



Gambar 5. 8 Diagram Blok Pengujian Sinyal Kontrol Servo

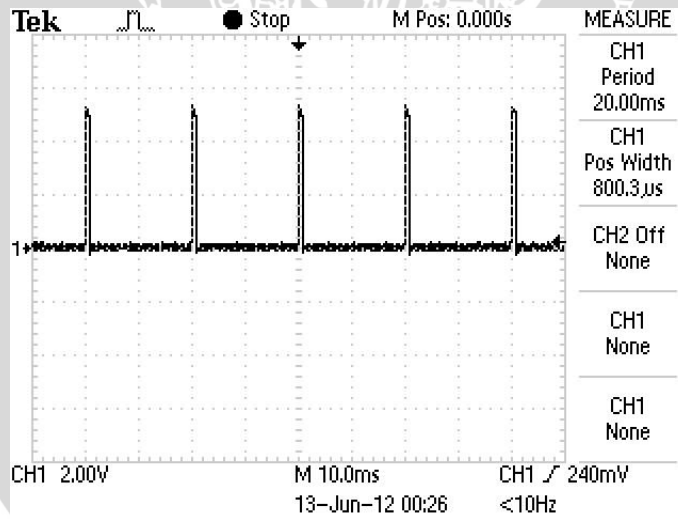
Pengujian sinyal kontrol HIGH dilakukan dengan cara :

- 1). Mikrokontroler yang digunakan adalah ATMega32 sesuai dengan mikrokontroler yang digunakan sebagai kontrol servo.
- 2). Mikrokontroler menggunakan sumber clock eksternal sebesar 16 MHz.
- 3). TIMER 1 (timer 16 bit) diset pada mode *Fast PWM, TOP=ICR1*.
- 4). ICR1 pada TIMER 1 diberi nilai heksa 9C40, sehingga menghasilkan periode 20ms (sesuai dengan pulsa periodik yang dibutuhkan oleh servo).
- 5). OCR1A pada TIMER 1 diberi nilai sesuai dengan lebar sinyal kontrol HIGH yang diuji.
- 6). Mikrokontroler ATMega32 dihubungkan dengan catu daya 5,4V.
- 7). Osiloskop TEKTRONIX TDS-1012B digunakan untuk melihat periode sinyal dan lebar sinyal HIGH yang dihasilkan oleh mikrokontroler.



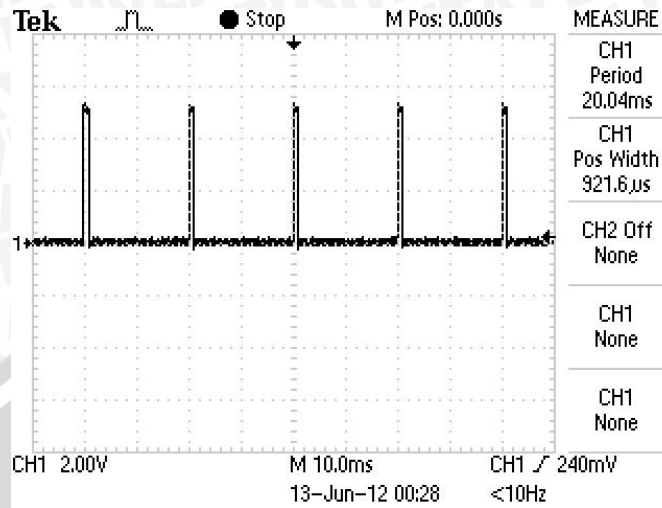
Gambar 5. 9 Proses Pengujian Sinyal Kontrol Servo

Gambar 5.10 – 5.24 menunjukkan hasil pengujian pada osiloskop untuk pengujian lebar sinyal kontrol HIGH dalam rentang 600 $\mu$ s hingga 2200  $\mu$ s.

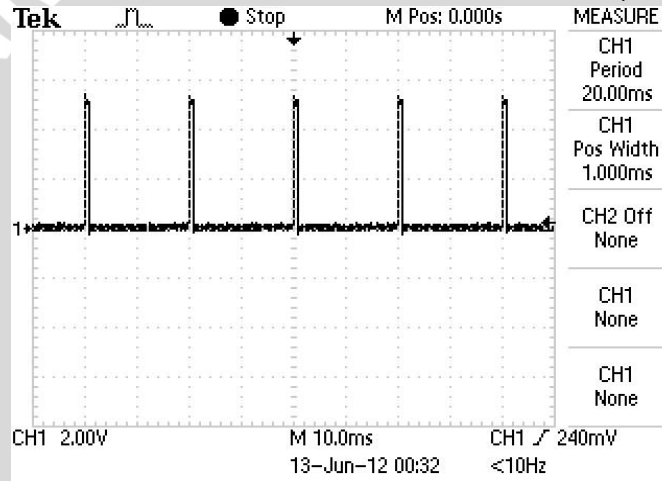


Gambar 5. 10 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 800 $\mu$ s

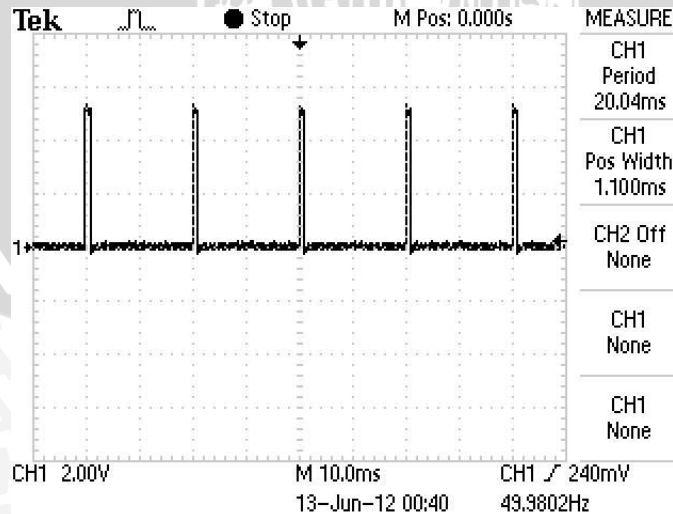




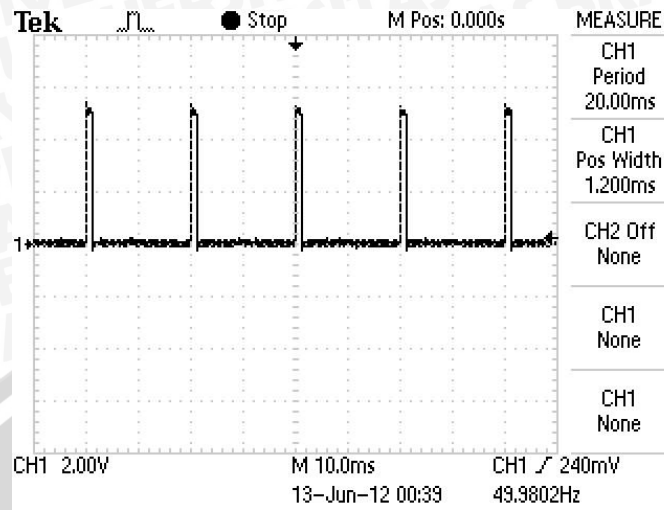
Gambar 5.11 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 900µs



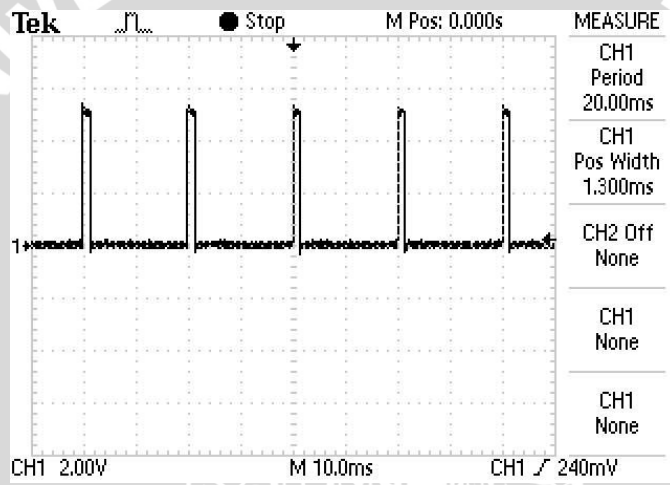
Gambar 5.12 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1000µs



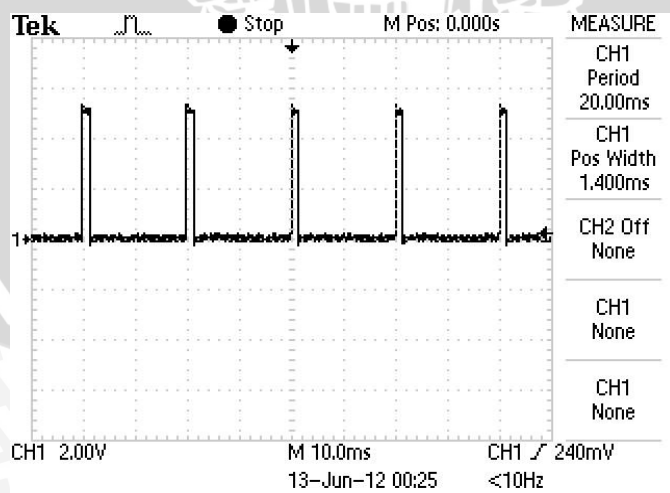
Gambar 5.13 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1100µs



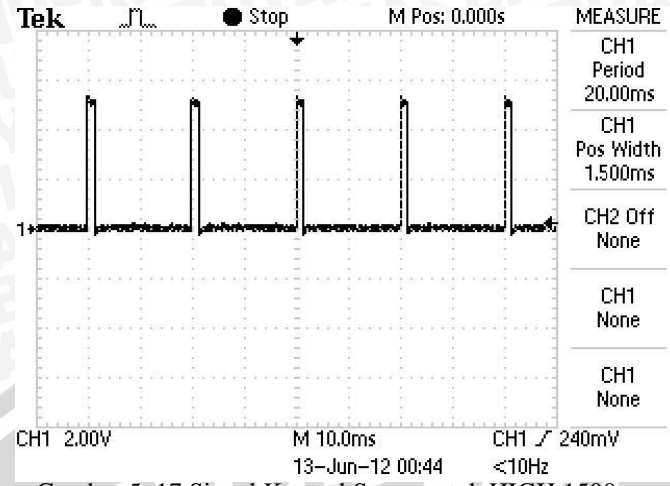
Gambar 5. 14 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1200µs



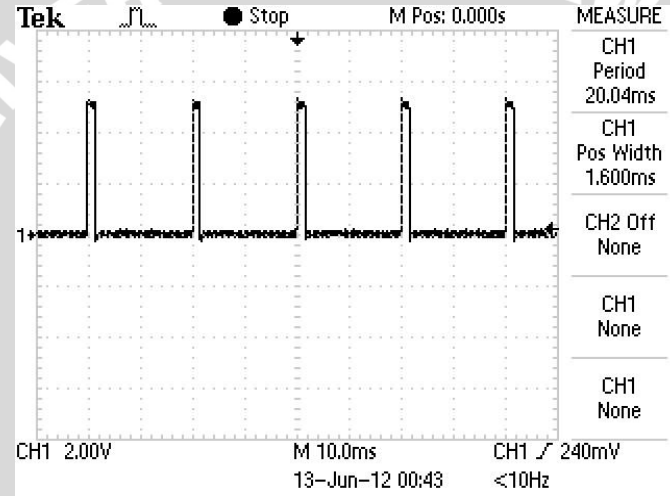
Gambar 5. 15 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1300µs



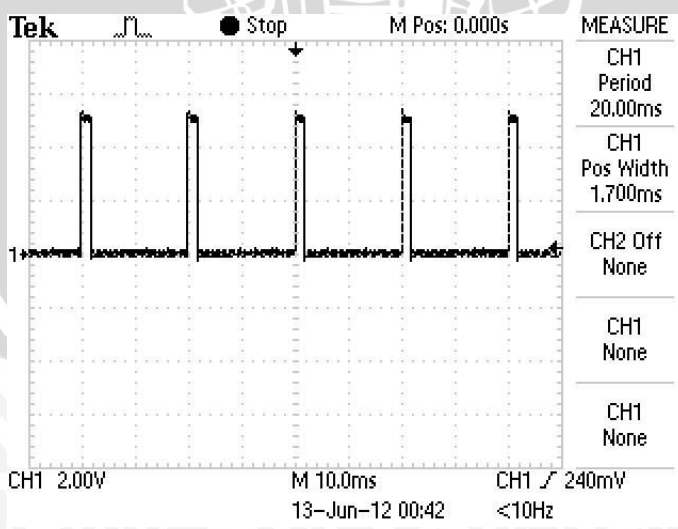
Gambar 5. 16 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1400µs



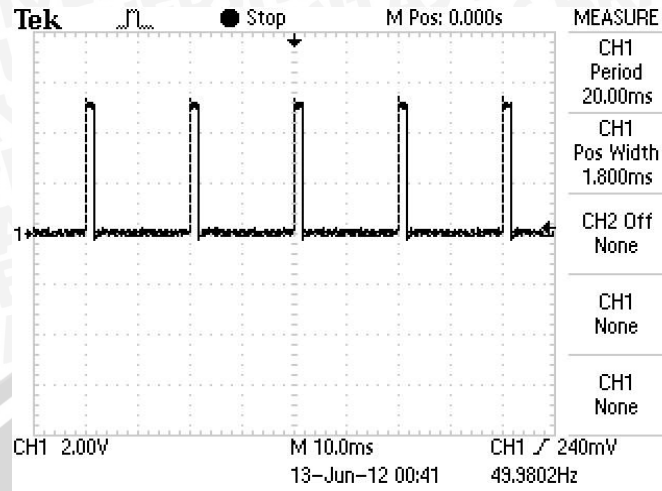
Gambar 5. 17 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1500 $\mu$ s



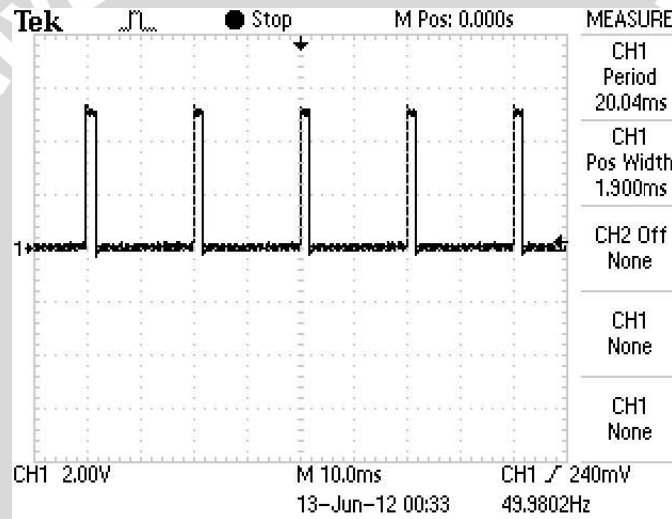
Gambar 5. 18 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1600 $\mu$ s



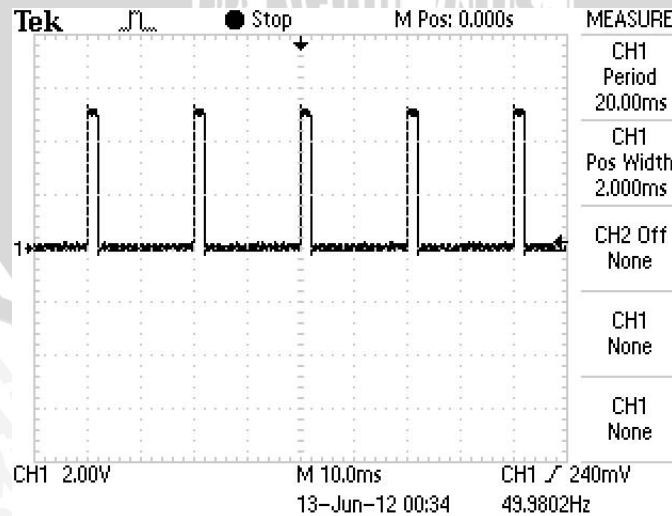
Gambar 5. 49 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1700 $\mu$ s



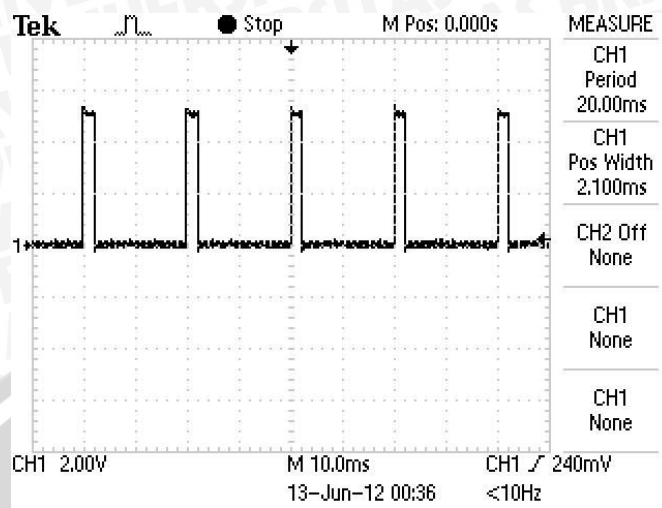
Gambar 5. 50 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1800µs



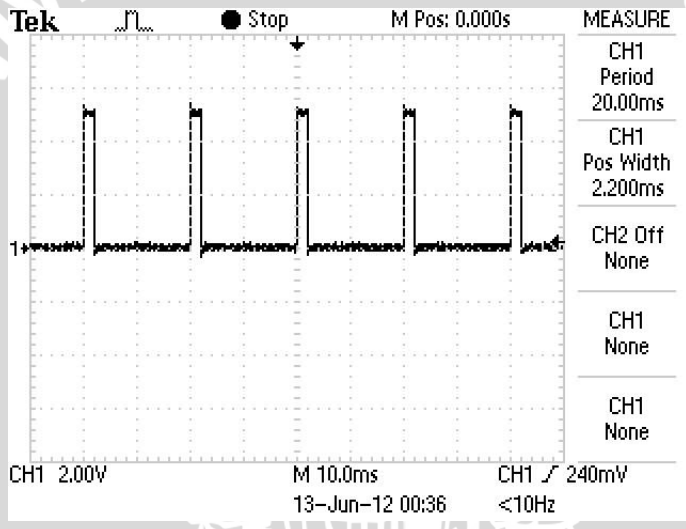
Gambar 5. 21 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 1900µs



Gambar 5. 22 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 2000µs



Gambar 5. 23 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 2100µs



Gambar 5. 24 Sinyal Kontrol Servo untuk HIGH 2200µs

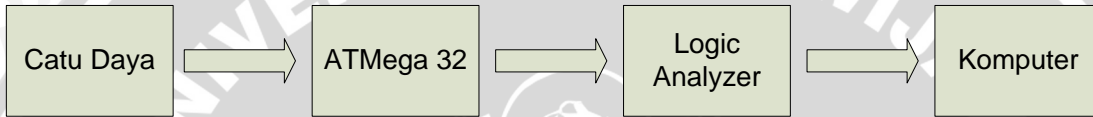
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Sinyal Kontrol Servo HIGH

Sinyal HIGH (dalam $\mu\text{s}$ )	Sinyal HIGH pada Pengujian (dalam $\mu\text{s}$ )	Selisih Teori dan Praktik (dalam $\mu\text{s}$ )	Kesalahan (dalam %)
800	800,3	0,3	0,0375
900	921,6	21,6	2,4
1000	1000	0	0
1100	1100	0	0
1200	1200	0	0
1300	1300	0	0
1400	1400	0	0
1500	1500	0	0
1600	1600	0	0
1700	1700	0	0
1800	1800	0	0
1900	1900	0	0
2000	2000	0	0
2100	2100	0	0
2200	2200	0	0
Kesalahan Rata - Rata			0,1625

Berdasarkan Tabel 5.5 diperoleh perbandingan antara lebar sinyal yang diinginkan dengan lebar sinyal hasil pengujian. Kesalahan rata-rata lebar sinyal kontrol HIGH yang dihasilkan oleh mikrokontroler ATmega32 dengan clock 16 MHz adalah 0,1625%. Kesalahan terbesar diperoleh saat pengujian lebar sinyal HIGH 900 $\mu\text{s}$ . Dari Tabel 5.5 dapat disimpulkan bahwa mikrokontroler dapat menghasilkan pulsa periodik dengan baik, dengan catatan lebar sinyal HIGH yang dihasilkan memiliki tingkat kesalahan hingga 0,1625%.

### 5.4.2 Pengujian Sinyal Kontrol Multi-Servo

Pengujian sinyal kontrol multi-servo bertujuan untuk mengetahui kemampuan mikrokontroler kontrol servo dalam menghasilkan pulsa periodik pada pin I/O selain pin TIMER. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui apakah metode multi-servo yang telah dirancang sebelumnya dapat diaplikasikan pada mikrokontroler ATmega32 yang nantinya akan berfungsi sebagai pengontrol multi-servo (total sepuluh buah servo). Gambar 5.25 menunjukkan diagram blok pengujian kontrol multi servo. Gambar 5.26 menunjukkan proses pengujian sinyal kontrol multi servo menggunakan *logic analyzer* ELAB-080.

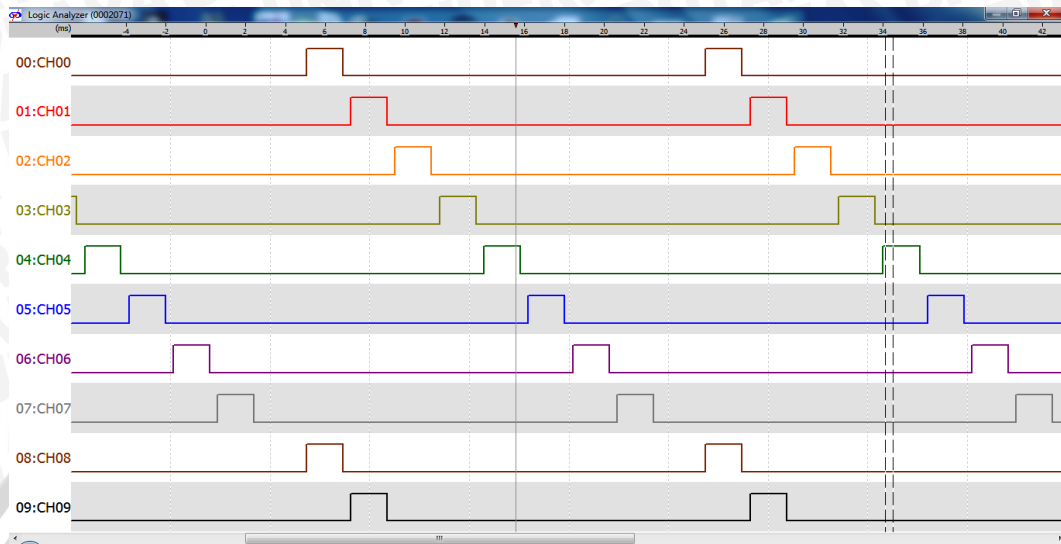


Gambar 5. 25 Diagram Blok Pengujian Sinyal Kontrol Multi Servo



Gambar 5. 6 Pengujian Sinyal Kontrol Multi Servo

Pengujian pertama dilakukan dengan memberikan nilai OCRA dan OCRB yang sama untuk semua pin I/O. Gambar 5.27 menunjukkan hasil pengujian pertama. Dalam pengujian ini, semua pin I/O yang dihubungkan pada *logic analyzer* pCH00 – CH09 menghasilkan pulsa periodik dengan periode 20ms, dengan sinyal kontrol HIGH selebar 1800 $\mu$ s.

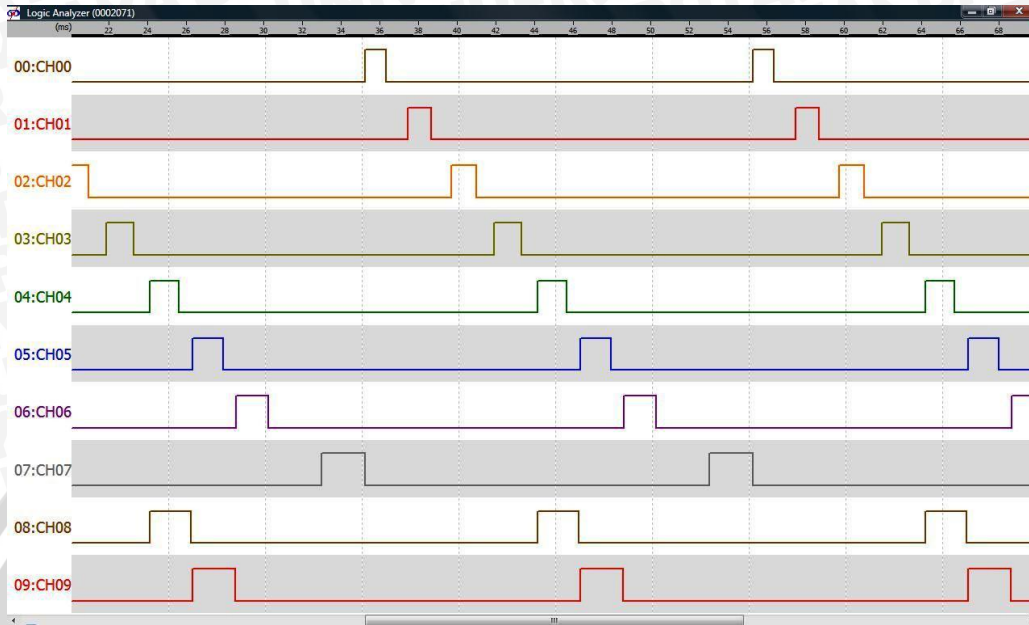


Gambar 5. 27 Sinyal Kontrol Multi Servo dengan Lebar Pulsa HIGH 2000 $\mu$ s

Pengujian kedua dilakukan dengan memberikan nilai OCRA dan OCRB yang berbeda untuk masing-masing pin I/O. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah metode multi-servo ini dapat digunakan untuk mengontrol banyak servo dengan posisi yang berbeda-beda (sinyal kontrol HIGH yang berbeda). Gambar 5.28 menunjukkan hasil pengujian kedua. Dalam pengujian ini semua pin I/O yang terhubung pada *logic analyzer* CH00 – CH09 menghasilkan pulsa periodik selebar 20ms dengan lebar sinyal kontrol HIGH :

- 1). CH00 = 1000 $\mu$ s
- 2). CH01 = 1100 $\mu$ s
- 3). CH02 = 1200 $\mu$ s
- 4). CH03 = 1300 $\mu$ s
- 5). CH04 = 1400 $\mu$ s
- 6). CH05 = 1500 $\mu$ s
- 7). CH06 = 1600 $\mu$ s
- 8). CH07 = 1700 $\mu$ s
- 9). CH07 = 1800 $\mu$ s
- 10). CH07 = 1900 $\mu$ s



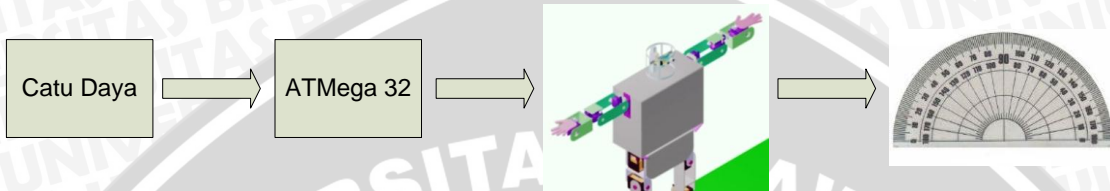


Gambar 5. 28 Sinyal Kontrol Multi Servo dengan Lebar Pulsa HIGH yang Berbeda

Dari kedua pengujian diperoleh kesimpulan bahwa metode kontrol multi-servo dapat diaplikasikan pada mikrokontroler ATmega32 untuk mengontrol sepuluh buah servo.

### 5.5 Pengujian Gerakan Tarian

Pengujian gerakan tarian bertujuan untuk mengetahui kemampuan robot dalam melakukan semua gerakan tarian yang diinginkan sesuai besar pulsa dan sudut yang diberikan pada kesepuluh motor servo pada tangan robot. Gambar 5.29 menunjukkan diagram blok pengujian gerakan tarian.



Gambar 5. 7 Diagram Blok Pengujian Gerakan Tarian

#### 5.5.1 Pengujian Gerakan Sembah Pembuka

Pengujian gerakan sembah pembuka bertujuan untuk mengetahui kemampuan robot dalam melakukan salah satu gerakan tarian. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah kepada robot untuk bergerak dengan memberikan pulsa tertentu berupa sudut dan diukur sudut yang telah dibentuk. Gambar 5.30 menunjukkan pengujian gerakan sembah pembuka. Hasil pengujian untuk gerak hadap kanan pada *Robot Humanoid* ditunjukkan dalam Tabel 5.6.



Gambar 5. 30 Pengujian Gerakan Sembah Pembuka

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Gerakan Sembah Pembuka

Motor Servo	Besar sudut (dalam derajat)		Sudut yang dibentuk (dalam derajat)	
	Tangan Kanan	Tangan Kiri	Tangan Kanan	Tangan Kiri
Pundak	122	104	120	104
Lengan	160	35	160	35
Siku	104	138	104	138
Pergelangan	160	104	160	104
Telapak	104	48	104	48

### 5.5.2 Pengujian Gerakan Menyemai benih

Pengujian gerakan menyemai benih bertujuan untuk mengetahui kemampuan robot dalam melakukan gerakan menyemai benih sesuai pulsa yang di berikan berupa sudut pada tiap motor servo. Gambar 5.31 menunjukkan pengujian gerak hadap kiri *Robot Humanoid*. Hasil pengujian untuk gerakan menyemai benih ditunjukkan dalam Tabel 5.7.



Gambar 5. 31 Pengujian Gerakan Menyemai Benih

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Gerakan Menyemai Benih

Motor Servo	Besar sudut (dalam derajat)		Sudut yang dibentuk (dalam derajat)	
	Tangan Kanan	Tangan Kiri	Tangan Kanan	Tangan Kiri
	Pundak	90	90	92
Lengan	180	53	180	53
Siku	104	104	100	100
Pergelangan	160	30	165	35
Telapak	68	104	65	100

### 5.5.3 Pengujian Gerakan Maalow Beruang

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan robot dalam melakukan gerakan maalow beruang. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah kepada robot untuk bergerak sehingga membentuk gerakan tersebut. Gambar 5.32 menunjukkan pengujian gerak hadap kiri *Robot Humanoid*. Hasil pengujian untuk gerak hadap kiri pada *Robot Humanoid* ditunjukkan dalam Tabel 5.8.



Gambar 5. 32 Pengujian Gerakan Maalow Beruang

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Gerakan Maalow Beruang

Motor Servo	Besarnya sudut (dalam derajat)		Sudut yang dibentuk (dalam derajat)	
	Tangan Kanan	Tangan Kiri	Tangan Kanan	Tangan Kiri
	Pundak	131	68	130
Lengan	160	35	160	35
Siku	48	153	45	155
Pergelangan	104	87	104	85
Telapak	138	104	135	104

### 5.5.4 Pengujian Gerakan Mamipih

Pengujian gerakan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan robot dalam melakukan gerak hadap kiri. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah kepada robot untuk melakukan gerakan seperti memipihkan benda. Gambar 5.33 menunjukkan pengujian gerakan mamipih. Hasil pengujian untuk gerakan mamipih ditunjukkan dalam Tabel 5.9.



Gambar 5. 33 Pengujian Gerakan Mamipih

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Gerakan Mamipih

Motor Servo	Besar sudut (dalam derajat)		Sudut yang dibentuk (dalam derajat)	
	Tangan Kanan	Tangan Kiri	Tangan Kanan	Tangan Kiri
Pundak	150	65	100	65
Lengan	140	45	165	45

Siku	111	135	50	135
Pergelangan	175	65	40	65
Telapak	50	97	110	96

---

### 5.5.5 Pengujian Gerakan Sembah Panutuik

Pengujian gerakan sembah panuuk bertujuan untuk mengetahui kemampuan robot dalam melakukan gerakan penutup. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah kepada robot untuk memberikan salam penutup sebagai penanda bahwa tarian telah berakhir. Gambar 5.34 menunjukkan pengujian gerakan sembah panutuik. Hasil pengujian untuk gerakan sembah panutuik ditunjukkan dalam Tabel 5.10.



Gambar 5. 34 Pengujian Gerakan Sembah Panutuik

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Gerakan Sembah Panutuik

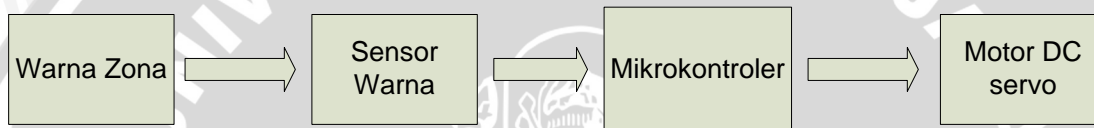
Motor Servo	Besar sudut (dalam derajat)		Sudut yang dibentuk (dalam derajat)	
	Tangan Kanan	Tangan Kiri	Tangan Kanan	Tangan Kiri
Pundak	120	40	130	65
Lengan	150	35	160	35
Siku	120	95	104	138
Pergelangan	101	120	160	104
Telapak	104	95	104	48

Dari hasil pengujian semua gerakan tarian diatas dapat diperoleh kesimpulan yaitu untuk mencapai sudut yang diinginkan agar terbentuk gerakan tarian yang sesuai diperlukan desain mekanik yang baik pada tiap tempat motor servo pada setiap tangan robot sehingga dapat berputar dengan sudut yang optimal dan didapatkan gerakan yang luwes serta indah.



## 5.6 Pengujian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan bertujuan untuk mengetahui keberhasilan robot dalam melakukan tarian sesuai warna zona. Untuk melakukan pengujian ini robot akan melakukan pendeteksian warna zona menggunakan sensor warna TCS 230, keluaran sensor ini yang berupa sinyal digital yang memiliki frekuensi sesuai warna yang dideteksi akan diolah secara langsung oleh mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega 32 yang didalamnya terdapat sistem pembacaan frekuensi hasil keluaran sensor yang kemudian akan memutuskan untuk melakukan gerakan dengan cara memberikan perintah kepada kesepuluh motor DC servo pada setiap tangan robot.



Gambar 5. 35 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan

### 5.6.1 Pengujian Pada Zona Awal

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui keberhasilan robot melakukan tarian sesuai warna zona robot itu berada. Pada zona ini robot akan diletakkan pada lapangan yang berwarna biru. Robot akan melakukan gerakan sembah pembuka setelah mendeteksi warna biru yang ditampilkan pada LCD. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali. Gambar 5.36 menunjukkan pengujian pada zona awal. Hasil pengujian pada zona awal ditunjukkan dalam Tabel 5.11.



Gambar 5. 36 Pengujian Zona Awal

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Zona Awal

Pengujian ke	Warna Zona	Keputusan Robot
1	Biru (zona awal)	Melakukan gerakan sembah pembuka
2	Biru (zona awal)	Melakukan gerakan sembah pembuka
3	Biru (zona awal)	Melakukan gerakan sembah pembuka

Berdasarkan hasil pengujian sistem tersebut dapat disimpulkan robot akan melakukan gerakan tarian sembah pembuka pada saat diletakkan pada zona awal yang berwarna biru.

### 5.6.2 Pengujian Pada Zona Mulai

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui keberhasilan robot melakukan tarian sesuai warna zona robot itu berada. Pada zona ini robot akan diletakkan pada lapangan yang berwarna hijau. Robot akan melakukan gerakan menyemai benih setelah mendeteksi warna hijau yang ditampilkan pada LCD. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali. Gambar 5.37 menunjukkan pengujian pada zona mulai. Hasil pengujian pada zona mulai ditunjukkan dalam Tabel 5.12.



Gambar 5. 37 Pengujian Zona Mulai  
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Gerakan Mamipih

Pengujian ke	Warna Zona	Keputusan Robot
1	Hijau (zona mulai)	Melakukan gerakan menyemai benih
2	Hijau (zona mulai)	Melakukan gerakan menyemai benih
3	Hijau (zona mulai)	Melakukan gerakan menyemai benih

Berdasarkan hasil pengujian sistem tersebut dapat disimpulkan robot akan melakukan gerakan tarian menyemai benih pada saat diletakkan pada zona awal yang berwarna hijau.

### 5.6.3 Pengujian Pada Zona Tengah

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui keberhasilan robot melakukan tarian sesuai warna zona robot itu berada. Pada zona ini robot akan diletakkan pada lapangan yang berwarna putih. Robot akan melakukan gerakan maalow beruang setelah mendeteksi warna putih yang ditampilkan pada LCD. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali. Gambar 5.38 menunjukkan pengujian pada zona tengah. Hasil pengujian pada zona tengah ditunjukkan dalam Tabel 5.13.



Gambar 5. 38 Pengujian Zona Tengah

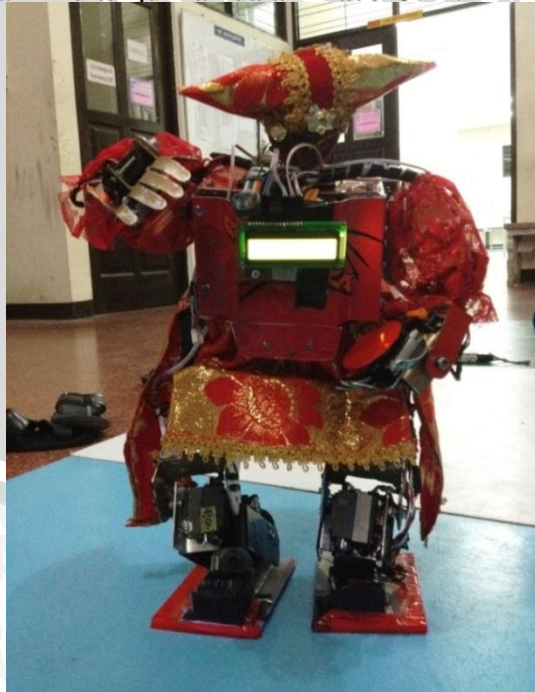
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Zona Tengah

Pengujian ke	Warna Zona	Keputusan Robot
1	Putih (zona tengah)	Melakukan gerakan maalow beruang
2	Putih (zona tengah)	Melakukan gerakan maalow beruang
3	Putih (zona tengah)	Melakukan gerakan maalow beruang

Berdasarkan hasil pengujian sistem tersebut dapat disimpulkan robot akan melakukan gerakan tarian maalow beruang pada saat diletakkan pada zona tengah yang berwarna putih.

#### 5.6.4 Pengujian Pada Zona Akhir

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui keberhasilan robot melakukan tarian sesuai warna zona robot itu berada. Pada zona ini robot akan diletakkan pada lapangan yang berwarna biru muda. Robot akan melakukan gerakan mamipih setelah mendeteksi warna biru muda yang ditampilkan pada LCD. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali. Gambar 5.39 menunjukkan pengujian pada zona akhir. Hasil pengujian pada zona akhir ditunjukkan dalam Tabel 5.14.



Gambar 5. 39 Pengujian Zona Akhir

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Gerakan Mamipih

Pengujian ke	Warna Zona	Keputusan Robot
1	Biru muda(zona akhir)	Melakukan gerakan mamipih
2	Biru muda(zona akhir)	Melakukan gerakan mamipih
3	Biru muda(zona akhir)	Melakukan gerakan mamipih

Berdasarkan hasil pengujian sistem tersebut dapat disimpulkan robot akan melakukan gerakan tarian mamipih pada saat diletakkan pada zona tengah yang berwarna biru muda.

### 5.6.5 Pengujian Pada Zona Tutup

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui keberhasilan robot melakukan tarian sesuai warna zona robot itu berada. Pada zona ini robot akan diletakkan pada lapangan yang berwarna biru yang kedua. Robot akan melakukan gerakan sembah panuik setelah mendeteksi warna biru yang kedua yang ditampilkan pada LCD. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali. Gambar 5.40 menunjukkan pengujian pada zona tutup. Hasil pengujian pada zona tutup ditunjukkan dalam Tabel 5.15.

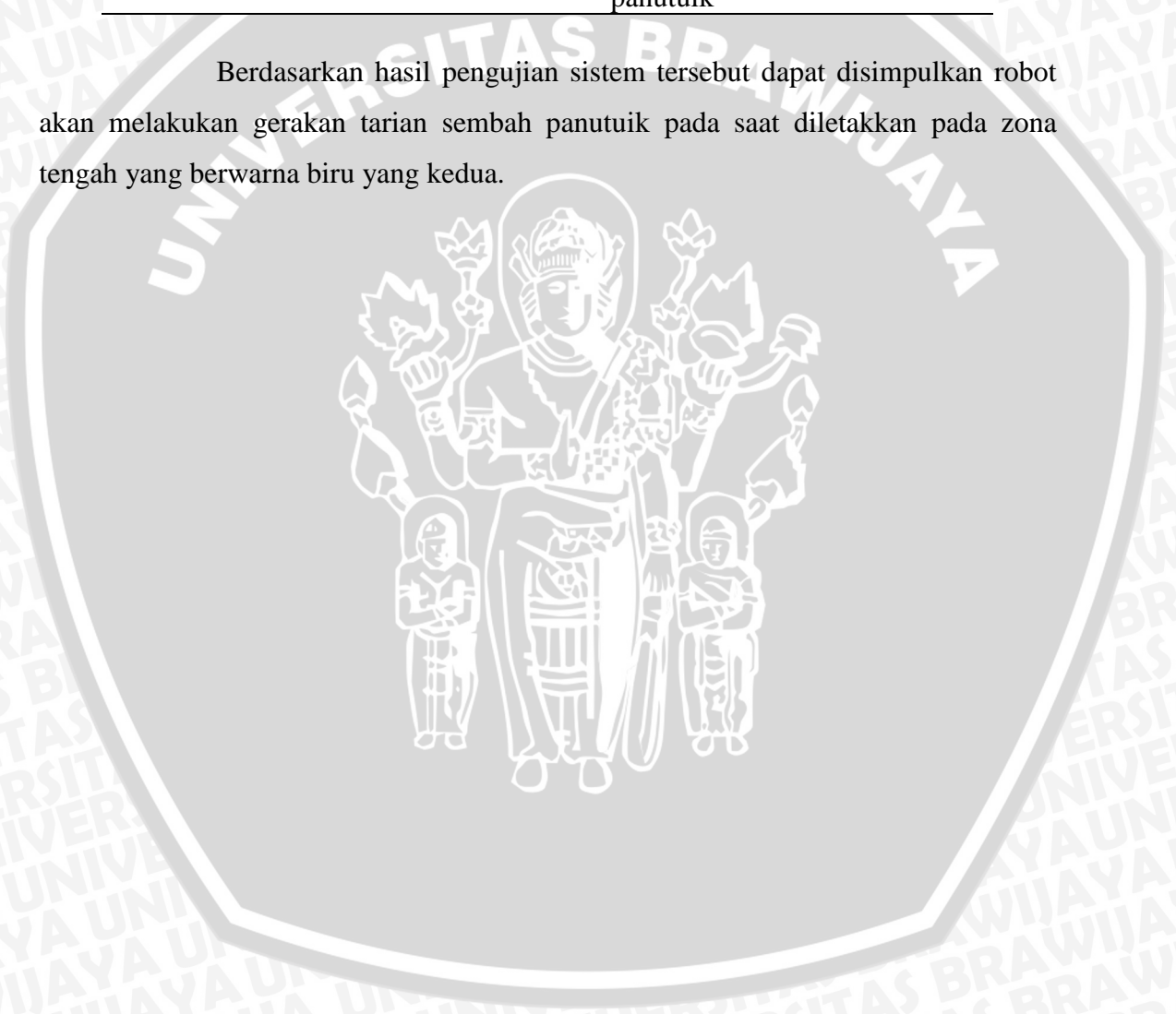


Gambar 5. 40 Pengujian Zona Tuup

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Gerakan Sembah Panutuik

Pengujian ke	Warna Zona	Keputusan Robot
1	Biru (zona akhir)	Melakukan gerakan sembah panutuik
2	Biru (zona akhir)	Melakukan gerakan sembah panutuik
3	Biru (zona akhir)	Melakukan gerakan sembah panutuik

Berdasarkan hasil pengujian sistem tersebut dapat disimpulkan robot akan melakukan gerakan tarian sembah panutuik pada saat diletakkan pada zona tengah yang berwarna biru yang kedua.



## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

- 1). Sistem mekanik *robot humanoid* dengan menggunakan lima buah motor servo pada masing-masing tangan memiliki kemampuan melakukan gerakan sembah pembuka, menyemai benih, maallow beruang, mamipih dan sembah panutuik.
- 2). Sistem pembaca warna untuk menentukan warna objek menggunakan sensor warna TCS230. Sensor warna tersebut digunakan untuk mendeteksi warna *red*, *green*, dan *blue* pada objek. Dan keluaran sensor warna berupa frekuensi RGB. Setiap warna memiliki frekuensi yang berbeda. Semakin terang warna objek maka semakin besar frekuensi keluaran sensor. Penentuan warna objek menggunakan kombinasi frekuensi RGB. Jika ingin melakukan pembacaan untuk warna yang lain maka terlebih dahulu dilakukan pengambilan data frekuensi RGB sensor
- 3). Sistem elektronika *robot humanoid* terdiri dari rangkaian mikrokontroler kontrol servo, rangkaian catu daya, rangkaian LCD, dan rangkaian modul sensor warna TCS 230 berfungsi untuk menunjang penggunaan 10 buah motor DC servo, LCD.
- 4). Mikrokontroler ATmega32 dapat digunakan untuk mengontrol sepuluh buah motor DC servo dengan menggunakan dua buah OCR yakni OCRA dan OCRB, error sinyal servo yang dihasilkan sebesar 0,1625%.

### 6.2 Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan *robot humanoid* lebih lanjut adalah:

- 1). Disarankan untuk membuat desain mekanik robot yang lebih presisi agar kerja motor DC servo lebih optimal dan sesuai yang diinginkan.
- 2). Pemilihan penggunaan kamera untuk proses pengenalan objek warna untuk mendapatkan pendeteksian dan pengenalan objek yang lebih menyeluruh.



## DAFTAR PUSTAKA

- Appin Knowledge Solutions. 2007. *Robotics*. New Delhi: Infinity Science Press LLC.
- Atmel. 2007. *8-bit AVR with 32K Bytes In-System Programmable Flash ATmega32, ATmega32L*. San Jose: Atmel.
- Borenstein, J. 1996. *Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning*. University of Michigan Press.
- DIKTI. 2012. *Panduan Kontes Robot Seni Indonesia 2012*. Jakarta: DIKTI.
- Sandin, Paul E. 2003. *Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated*. USA: McGraw-Hill eBook.
- Sigit, Riyanto. 2007. *Robotika, Sensor dan Aktuator*. Graha Ilmu. Surabaya.
- Spong, Mark W. 2005. *Robot Modelling and Control First Edition*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- STMicroelectronics. 2000. *L7800 Series Positive Voltage Regulators*. Italy.
- TAOS. 2003. *IC TCS230 Programmable Color Light To Frequency Converter*. [www.taosinc.com](http://www.taosinc.com), diakses tanggal 15 Maret 2012.



LISTING PROGRAM AT MEGA32



