

CS8 HUMANOID ROBOT (LEG 1)


MOHAMAD SOFIUDDIN BIN KHIDIR

**THIS REPORT IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
REQUIREMENTS FOR THE
DEGREE OF BACHELOR IN ELECTRICAL ENGINEERING
(CONTROL, INSTRUMENTATION, AND AUTOMATION)**

**FAKULTI KEJURUTERAAN ELEKTRIK
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA, MELAKA**

MAY 2007

“Saya mengakui bahawa saya telah membaca karya ini pada pandangan saya karya ini adalah memadai dari skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Elektrik (Kawalan , Instrumentasi dan Automasi).”

Tandatangan : 

Nama Penyelia : PN. MAASPALIZA BT. AZRI

Tarikh : 7 Mei 2007


“I hereby declared that I have read through this report and found that it has comply the partial fulfillment for awarding the degree of Bachelor of Electrical Engineering (Control, Instruments And Automation).”

Signature :.....

Supervisor’s Name : PN. MAASPALIZA BT. AZRI

Date :.....


“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya.”

Tandatangan : 

Nama : MOHAMAD SOFIUDDIN B. KHAIDIR

Tarikh : 07 MEI 2007

"I hereby declared that this report is a result on my own work except for the excerpts that have been cited clearly in the references."

Signature : 

Name : MOHAMAD SOFIUDDIN B. KHAIDIR

Date : 07 MEI 2007

ISI KANDUNGAN

BAB	PERKARA	HALAMAN
	ISI KANDUNGAN	i
	SENARAI JADUAL	iv
	SENARAI GAMBARAJAH	v
	SENARAI LAMPIRAN	viii
	ABSTRAK	ix
	ABSTRACT	x
1	PENDAHULUAN	
	1.1 PENGENALAN	1
	1.2 GAMBARAN PROJEK	2
	1.3 SKOP PROJEK	2
	1.4 OBJEKTIF PROJEK	2
	1.5 PENYATAAN MASALAH	3
	1.6 SUSUNAN LAPORAN PROJEK	4
2	KAJIAN SELIDIK PROJEK	
	2.0 KAJIAN SELIDIK ROBOT TERDAHULU	5
	2.1 ROBOT ASIMO	5
	2.1.1 Kedudukan Sendi Kaki	6
	2.1.2 Had Pergerakan Sendi	6
	2.1.3 Dimensi Kaki, Berat Dan Lokasi Pusat Graviti	7

2.1.4	Kegunaan Tork Ke Atas Sendi Kaki Semasa Berjalan	7
2.1.5	Sensor Untuk Berjalan	7
2.1.6	Kesan Tork Semasa Berjalan	7
2.2	CHARROBOT	8
2.2.1	Spesifikasi	9
2.2.2	Bekalan kuasa	11
2.2.3	Papan litar proses (PCB)	11
2.2.4	Kawalan	12
2.3	KAJIAN SELIDIK KOMPONEN	12
2.3	MOTOR SERVO	12
2.4	PIC 16F877	15
2.5	PERISIAN SOLIDWORKS	19
2.6	PERISIAN MICRO C	19
2.7	PERISIAN PROTEUS	19
2.8	ALUMINIUM	20
2.9	PLASTIK AKRILIK (<i>ACRYLIC</i>)	20
2.10	PCB (<i>PRINTED CIRCUIT BOARD</i>)	20
2.10.1	Kelebihan PCB	21
2.10.2	Kelas-Kelas PCB	22
2.10.3	Pembinaan Asas PCB <i>Double-Sided</i>	23

3 METODOLOGI

3.0	PENGENALAN	24
3.1	PERJALANAN PROJEK	24
3.2	PEMBINAAN PROJEK	25
3.3	CS8 ROBOT	27
3.4	LAKARAN AWAL ROBOT	28
3.5	KEDUDUKAN MOTOR SERVO	29
3.6	PENGGUNAAN PIC	29
3.7	PROSES KAWALAN MOTOR SERVO	30

3.8	PENGATURCARAAN PEMPROGRAMAN DAN POSISI	31
3.8.1	Perjalanan Robot Ke Hadapan	33
3.9	PEMBINAAN PERISIAN	35
3.10	UJIAN SIMULASI LITAR PIC	39
3.11	<i>TARGET BOARD</i> (LITAR PIC)	41
3.12	UV PCB <i>DOUBLE LAYER</i>	42
3.13	PEMBINAAN LITAR PCB PIC (<i>TARGET BOARD</i>)	42
3.14	BEKALAN KUASA	45
4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	46
4.2	HASIL PROJEK	47
4.3	ANALISIS PROJEK	53
4.4	PERMASALAHAN PROJEK	57
4.5	KOS KESELURUHAN PROJEK	57
5	KESIMPULAN	
5.1	CADANGAN	58
5.2	KESIMPULAN	59
	RUJUKAN	60
	LAMPIRAN	61 – 67

SENARAI JADUAL

NO.	TAJUK	HALAMAN
2.1	Spesifikasi robot	9
2.2	Nilai sudut yang digunakan untuk pergerakan motor servo	15
2.3	Panduan rujukan ciri-ciri PIC 16F877	16
3.1	Nilai sudut setiap pergerakan motor servo	38
4.1	Kos Bahan Projek	57

SENARAI GAMBARAJAH

NO.	TAJUK	HALAMAN
BAB 1 PENDAHULUAN		
1.1	Robot Asimo	3
1.2	Robot beroda	3
BAB 2 KAJIAN SELIDIK PROJEK		
2.1	Kerangka manusia	6
2.2	Charrobot	8
2.3	Spesifikasi ketinggian Charrobot	10
2.4	FUTABA S3003	10
2.5	HITEC HS-5645 MG	10
2.6	Bateri cas semula	11
2.7	Litar PCB	11
2.8	Block diagram sistem kawalan	12
2.9	Motor servo	13
2.10	Tiga kabel motor servo	14
2.11	Hubungan di antara lebar denyutan dengan pusingan rotor	14
2.12	Graf masa denyutan lawan sudut putaran	14
2.13	PIC 16F877	16
2.14	Alamat-alamat PIC	17
2.15	<i>Block diagram</i> hubungan antara setiap port	18
2.16	Carta alir pembinaan asas PCB double layer	23

BAB 3 METODOLOGI

3.1	Carta alir perjalanan projek	25
3.2	Hubungan antara perkakas robot, PIC, dan motor servo	27
3.3	Pandangan atas kedudukan motor servo pada rangka peha robot	27
3.4	Lakaran awal robot	28
3.5	Kedudukan motor (bulatan kecil)	29
3.6	Penggunaan PIC	30
3.7	Kawalan PIC ke atas motor servo	31
3.8	Carta alir kawalan PIC bahagian	32
3.9	Kedudukan sendi pergerakan robot	34
3.10	Pergerakan kaki robot ketika bergerak ke hadapan. Biru : kaki kanan. Merah : kaki kiri	34
3.11	Turutan pergerakan motor pada setiap sendi	35
3.12	Perisian micro C yang digunakan untuk membuat aturcara	37
3.13	Perisian IC-Prog	37
3.14	Perisian memuat turun aturcara ke dalam peranti PIC	38
3.15	PIC burner	38
3.16	Litar PIC simulasi yang digunakan untuk melihat keluaran gelombang yang dihasilkan oleh <i>pulse</i>	39
3.17	Litar PIC simulasi yang digunakan untuk melihat putaran motor servo mengikut sudut yang ditetapkan	40
3.18	Keluaran gelombang yang terhasil pada Port C.F0	40
3.19	Target board (litar PIC) yang digunakan untuk projek ini	41
3.20	Pembinaan litar PIC daripada perisian Proteus	44
3.21	Litar penuh PCB dua lapisan	44
3.22	Lapisan atas litar PIC	45
3.23	Lapisan bawah litar PIC	45
3.24	Bekalan kuasa yang digunakan – adaptor dan bateri 9V	45

BAB 4 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pandangan isometrik peha robot	47
4.2	Bahagian peha kanan yang telah siap dibina	49
4.3	Pandangan hadapan kedua-dua peha	49
4.4	Pandangan sisi kedua-dua peha	49
4.5	Bahagian sebelah kaki yang siap dibina	49
4.6	Pandangan hadapan sebelah kaki	50
4.7	Pandangan hadapan kedua-dua belah kaki robot	50
4.8	Gabungan keseluruhan bahagian robot yang telah siap dibina	50
4.9	Pandangan belakang robot	50
4.10	Pandangan isometri robot	51
4.11	Pandangan sisi robot	51
4.12	Pandangan atas litar PCB	51
4.13	Pandangan bawah litar PCB	51
4.14	Litar <i>proto board</i> (<i>target board</i>) yang digunakan	52
4.15	Gabungan litar PIC dan litar <i>regulator</i> motor servo	52
4.16	Gelombang masa yang keluar pada osiloskop simulasi (1.5ms)	54
4.17	Pergerakan simulasi motor servo daripada -20° , 0° , dan $+20^\circ$	54
4.18	Kaki 1 PIC	54
4.19	Kaki 11 PIC	56
4.20	Kaki 32 PIC	56
4.21	Keluaran voltan litar regulator motor servo	56
4.22	Pengujian litar PIC menggunakan osiloskop makmal	57
4.23	Setup yang telah dilakukan pada osiloskop makmal	57
4.24	Keluaran gelombang yang terhasil pada skrin osiloskop	57

SENARAI LAMPIRAN

NO.	TAJUK	HALAMAN
A	ATURCARA BAGI MOTOR SERVO A1 (PEHA KANAN)	61
B	ATURCARA BAGI MOTOR SERVO B1 (PEHA KIRI)	62
C	ATURCARA BAGI MOTOR SERVO C1 (LUTUT KANAN)	63
D	ATURCARA BAGI MOTOR SERVO D1 (LUTUT KIRI)	64
E	ATURCARA BAGI MOTOR SERVO E1 (BUKU LALI KANAN)	65
F	ATURCARA BAGI MOTOR SERVO F1 (BUKU LALI KIRI)	66
G	PERANCANGAN KESELURUHAN PROJEK (GAANT CHART)	67

ABSTRAK

Robot telah lama digunakan sejak puluhan tahun yang lalu. Ia banyak digunakan di dalam industri terutama sekali dalam pembinaan kereta. Penggunaan robot boleh mengurangkan kos, masa, dan ruang kerja. Salah satu binaan robot yang mencabar pada masa kini ialah robot manusia. Ia mempunyai sifat-sifat asas manusia seperti kepala, badan, tangan, dan kaki. Pembinaan robot manusia adalah mencabar kerana interaksi antara perisian dan perkakasan menyebabkan kesukaran mengesahkan tugas. Pemrograman gerakan robot adalah lebih sukar daripada pembinaan perkakasan robot. Kaki yang boleh bergerak adalah sebahagian daripada robot manusia. Terbahagi kepada tiga bahagian iaitu peha, betis, dan kaki (buku lali). Setiap bahagian dipasang dengan motor servo yang menggerakkan bahagian kaki yang mengikut sudut yang telah ditetapkan di dalam program. Jenis perisian yang digunakan ialah '*microcontroller*' PIC. Setiap pergerakan kaki adalah seiring (*synchronous*) dengan pergerakan anggota yang lain. Kestabilan adalah perkara yang paling penting di dalam pembinaan robot. Kestabilan sangat berguna ketika robot sedang berjalan, menari, membongkok, dan berdiri sebelah kaki. '*Microcontroller*' digunakan untuk menyediakan dan menyimpan arahan bagi pergerakan robot.

ABSTRACT

Robots have been used in many years ago. Robots are mostly used in industry field especially in cars production. Cost, time, and workspace can be reduced by using robot. In this time, the challenging erection robot is humanoid robot. It's like human beings parts like head, body, arm, and leg. The challenging in erection robot is connection between software and hardware make some difficult to determine the task. To program the robot movement is more difficult than the hardware construction. The moving legs are a part of robot. It's separated into three parts which are hips, calves, and foot (ankle). Every part is built with servo motor which is moved the leg parts followed the angle is set in program. The programming is used the PIC software. Every leg movement must be synchronous with the other parts. Balancing is very important in robot. It's very used to make the robot walking, dancing, hunching, and standing with side feet. Microcontroller is used to prepare and saved the program of movement robot.

BAB I

PENDAHULUAN

Bab I menerangkan tentang perkara-perkara asas robot. Apa yang boleh digambarkan dalam projek juga diterangkan secara teliti. Punca-punca masalah yang dihadapi semasa pembinaan robot ini dapat diketahui.

1.1 PENGENALAN

Robot manusia adalah salah satu automasi yang boleh digunakan sebagai alat bantuan manusia yang boleh bergerak seperti manusia. Pada masa kini pembinaan robot manusia belum lagi digunakan untuk membantu manusia secara keseluruhannya. Ianya dibina sekadar dijadikan kajian untuk digunakan pada masa hadapan. Di dalam UTeM sendiri, belum ada lagi pembinaan robot yang seperti ini. Jika projek ini berjaya, ia mungkin boleh mengatasi kekurangan yang mungkin ada pada UTeM pada masa ini.

1.2 GAMBARAN PROJEK

Robot manusia yang akan dibina ini diberi nama *CS8 Humanoid Robot*. *CS8* adalah daripada singkatan nama *Controlling Structure* dan 8 adalah bahagian-bahagian yang akan dikawal pada bahagian robot yang terdapat lapan bahagian utama iaitu kepala, bahu, badan, tangan kanan, kiri, kaki kanan, kiri, dan pinggang. Ia mencukupi bahagian-bahagian yang terdapat pada seseorang manusia. Projek ini difokuskan pada bahagian kaki yang tertumpu pada bahagian peha. Kaki robot yang dibina terbahagi kepada tiga bahagian iaitu peha, lutut, dan buku lali. Setiap bahagian kaki digerakkan dengan menggunakan motor servo yang disambungkan kepada PIC sebagai kawalan. Dari segi pergerakannya pula, ia hanya berfungsi untuk berjalan ke hadapan dan ke belakang mengikut nilai sudut yang telah ditetapkan. Berat robot yang dibina dalam lingkungan 5kg. Mempunyai ketinggian satu meter dan kelebaran 0.5 meter. Kemampuan robot mempunyai pengepit (*gripper*) yang boleh memegang objek kecil.

1.3 SKOP PROJEK

Membina *CS8 Humanoid Robot* yang bertindak seperti manusia dan mengawal pergerakan kaki yang berfokuskan kepada bahagian peha sahaja.

1.4 OBJEKTIF PROJEK

Objektif utama pembinaan robot manusia ini ialah untuk mengatasi masalah yang ada pada robot-robot yang telah dibina di dalam UTeM. Fokus projek ini tertumpu kepada pembinaan robot manusia yang mempunyai struktur fizikal dan saiz seperti manusia. Kawalan robot tertumpu kepada pergerakan robot ke hadapan dan ke belakang asasnya. Antara contoh robot yang telah ada pada masa kini ialah Robot Asimo yang ditunjukkan di dalam Rajah 1.1.



Rajah 1.1 : Robot Asimo.

1.5 PENYATAAN MASALAH

Penyataan masalah yang dinyatakan di bawah hanya melibatkan masalah yang berlaku ke atas pembinaan robot yang ada di dalam UTeM. Fokus projek ini tertumpu kepada penambahbaikan robot di UTeM. Antara masalah yang tredapat pada robot bantuan manusia di dalam UTeM adalah robot tersebut menggunakan sistem roda yang tidak bersifat seperti manusia seperti yang di dalam Rajah 1.2. Masalah lain yang dihadapi ialah pembinaan projek robot di UTeM ini juga tidak boleh bergerak seperti manusia kerana ia menggunakan sistem roda. Selain daripada itu juga projek robot yang dijalankan di UTeM sebelum ini bersaiz lebih kecil dan tidak seperti saiz manusia.



Rajah 1.2 : Robot beroda.

1.6 SUSUNAN LAPORAN PROJEK

Laporan ini menerangkan segala perkara yang berkaitan dengan projek CS8 Humanoid Robot (Leg 1) daripada perancangan sehingga kepada hasil projek.

Bab I telah menerangkan tentang perkara pertama yang perlu diambil kira sebelum memulakan projek. Di dalam bab ini juga menerangkan gambaran, skop, tujuan, dan permasalahan yang menyebabkan projek ini dijalankan.

Di dalam Bab II menerangkan tentang kajian yang dilakukan sebelum membuat projek, ini bertujuan untuk sebagai rujukan serta teori yang berkaitan dengan projek. Ia juga berkaitan perkara dan benda yang akan dilakukan dan yang perlu ada di dalam projek ini.

Bagi Bab III pula telah menerangkan tentang metodolgi projek yang akan dilakukan. Ia menerangkan tentang bahan, perisian, dan perjalanan projek yang akan dilakukan. Ini menjurus kepada pembinaan dan proses-proses yang berlaku di dalam projek ini. Ia juga menerangkan carta alir keseluruhan projek iaitu carta alir ketika robot bergerak serta kawalan PIC setiap bahagian yang terlibat.

Di dalam Bab IV, ia lebih ke arah hasil projek yang telah tercapai mengikut objektif yang telah dibincangkan. Ia juga mengandungi gambarajah projek yang telah siap dan juga menunjukkan ujian projek yang telah siap dan kos keseluruhan projek. Terdapat juga hasil analisis projek yang telah dijalankan.

Dalam Bab V merupakan bab yang terakhir mengandungi kesimpulan dan cadangan untuk penambahbaikan projek pada masa akan datang.

BAB II

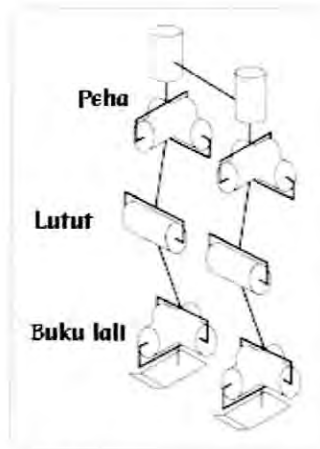
KAJIAN SELIDIK PROJEK

Bab II menerangkan tentang kajian-kajian yang telah dibuat untuk projek ini. Kajian telah dibuat ke atas robot-robot yang telah dibina sebelum ini. Selain itu terdapat kajian tentang komponen yang digunakan di dalam projek ini. Dengan membuat beberapa kajian ke atas robot sebelum ini, terdapat perbezaan pada setiap projek robot manusia yang telah dibuat. Perbezaan yang paling ketara adalah pada sistem dan prosedur yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu robot itu. Walaupun terdapat perbezaan pada jenis sistem yang digunakan, namun bagi sistem penggerak kebanyakannya masih lagi menggunakan sistem yang sama iaitu motor servo. Pengambilan projek-projek robot sebelum ini adalah sebagai rujukan di dalam pembinaan projek robot manusia CS8 Humanoid Robot.

2.0 KAJIAN SELIDIK ROBOT TERDAHULU

2.1 ROBOT ASIMO (4)

Kajian ke atas perjalanan manusia yang dibangunkan di dalam robot Asimo merangkumi skop kedudukan sendi kaki, had pergerakan sendi, dimensi kaki, berat, dan lokasi pusat graviti, kegunaan tork ke atas sendi kaki semasa berjalan, sensor untuk berjalan, dan kesan tork semasa berjalan. Kerangka manusia telah digunakan sebagai rujukan serta kedudukan sendi pada kerangka seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.1.



Rajah 2.1 : Kerangka manusia. (4)

2.1.1 Kedudukan Sendi Kaki (4)

Rangka manusia telah digunakan sebagai rujukan ketika meletakkan sendi-sendi kaki. Mengenai pengaruh jari kaki terhadap fungsi jalan, ia menjadi jelas tempat di mana jari kaki dilekatkan dan di mana sambungan tumit ditempatkan adalah penting untuk menentukan bagaimana berat robot disokong. Kekuatan sambungan permukaan datang dari sendi-sendi kaki. Kerana sendi-sendi kaki berpusing dari depan ke belakang, dan dari kiri ke kanan. Terdapat kestabilan dalam arah membujur semasa jalan normal, dan merasai dengan perubahan permukaan dalam arah sisian adalah bertambah apabila menyusuri satu cerun pada sesuatu sudut. Sendi lutut dan sendi pinggul diperlukan untuk mendaki dan menuruni anak tangga, serta kedudukan mengangkang. Sistem robot mempunyai banyak fungsi sambungan seperti sambungan peha, lutut, dan kaki.

2.1.2 Had Pergerakan Sendi (4)

Mengenai had pergerakan sendi semasa berjalan, penyelidikan telah dijalankan ke atas manusia terhadap permukaan muka bumi dan anak tangga. Pergerakan sendi telah diukur, dan ini telah menjelaskan julat pergerakan untuk setiap sendi.

2.1.3 Dimensi Kaki, Berat Dan Lokasi Pusat Graviti (4)

Untuk menentukan lokasi pusat graviti setiap kaki, pusat graviti badan manusia telah digunakan untuk rujukan.

2.1.4 Kegunaan Tork Ke Atas Sendi Kaki Semasa Berjalan (4)

Untuk menentukan tork yang ideal digunakan ke atas sendi-sendi semasa berjalan, vektor sendi-sendi semasa manusia berjalan dan sekali-sekala semasa tindak balas lantai diukur.

2.1.5 Sensor Untuk Berjalan (4)

Manusia biasa mempunyai tiga deriaimbangan imbangan kelajuan yang dikesan melalui otolit telinga dalam. Imbangan kelajuan bersudut yang dikesan melalui saluran separa-bulatan. Deria dalaman daripada otot dan kulit, yang mengesan sudut operasi sendi, kelajuan bersudut, kuasa otot, tekanan tapak kaki, dan deria kulit. Untuk memahami pergerakan kaki semasa berjalan, sistem robot telah dipasang dengan sensor sudut sendi, sensor kuasa 6-paksi, dan sensor kelajuan dan roda penimbal (*gyroscope*) untuk menentukan kedudukan.

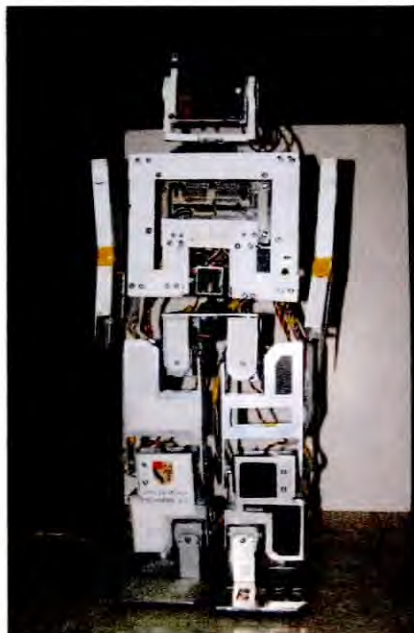
2.1.6 Kesan Tork Semasa Berjalan (4)

Manusia biasa mempunyai struktur unsur-unsur seperti berkulit lembut bertumit, serta struktur-struktur lentik termasuklah sendi-sendi jari kaki. Gabungan bahagian yang boleh bergerak yang menyerap kesan pembengkokan kepada sendi apabila menyentuh tanah, melembutkan daya hentaman. Eksperimen dan analisis ke atas manusia berjalan telah menunjukkan apabila pecutan berjalan bertambah, reaksi lantai bertambah walaupun terdapat kesan-kesan pengurangan fungsi-fungsi. Pada kelajuan jalan 2-4km/j, kesannya ialah 1.2-1.4 kali berat badan. Dengan robot, kesan bahan penyerap hentakan pada tapak kaki dan kawalan pematuhan digunakan

untuk mengurangkan kesan geseran. Rajah 2.1 menunjukkan kerangka manusia yang digunakan pada bahagian kaki sebagai rujukan untuk meletakkan hubungan antara setiap sendi.

2.2 CHARROBOT

Projek robot ini cuba mengambil konsep pergerakan serangga kerana kebolehan penyesuaian keadaan dan bentuk mukabumi. Dari situ ia cuba diaplikasikan ke atas pergerakan manusia biasa. Dari situ juga kita boleh lihat cabaran yang sebenar di dalam pembinaan robot manusia untuk membuat pergerakan yang sulit tetapi tepat. Konsep projek robot ini diambil untuk membantu manusia yang tidak berupaya berjalan lagi. Walaupun rekaan kaki palsu untuk orang kurang upaya belum direka, tetapi daripada projek ini boleh membuktikan rekaan dan prototaip yang dihasilkan. Kebanyakan industri masa kini menggunakan sistem automasi, teknologi, dan sistem kawalan yang canggih untuk menggantikan manusia bekerja. Dari situ banyak idea diambil untuk pembinaan projek ini. Rekaan, penghasilan, dan pengujian adalah penting di dalam proses membina robot manusia yang fleksibel. Charrobot yang telah siap dibina boleh dilihat pada Rajah 2.2.



Rajah 2.2 : Charrobot

2.2.1 Spesifikasi (9)

Bahan asas yang digunakan untuk pembinaan robot ini ialah aluminium kerana sifatnya yang ringan, murah, dan mudah dibentuk. Penggunaan bahan ini adalah seminima yang boleh supaya pergerakan robot tidak terganggu. Ketinggian robot ini ialah 0.52m yang bermula dari bawah hingga ke hujung kepala. Pusat beban robot mempunyai jarak dari lantai sebanyak 0.27m. Panjang kaki robot ini ialah 0.235m dan ketinggian kepala robot ialah 0.075m. Setiap ketinggian yang dinyatakan boleh dirujuk berdasarkan Rajah 2.3. Berat robot ini ialah 2.1kg dan direka begini supaya tork motor servo boleh menggerakkan sendi dengan cekap.

Bilangan *degrees of freedom* (DOF) robot ini ialah 16 mengikut jumlah motor servo yang digunakan yang bertindak sebagai *actuator* (penggerak). Motor servo yang digunakan mempunyai dua perbezaan tork. Pertama jenis FUTABA S3003 seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.4 dengan tork 3kg/cm dan yang kedua HITEC HS-5645MG seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.5 dengan tork 12kg/cm. Kedua-dua motor mempunyai pecutan sudut $60^\circ/0.19\text{sec}$. Motor servo jenis HITEC digunakan pada bahagian bawah dan jenis FUTABA digunakan pada bahagian atas. Jadual di bawah menerangkan bilangan DOF yang terdapat pada setiap sendi bahagian dan jenis motor yang digunakan. Ulasan di atas dapat diringkaskan dalam Jadual 2.1.

Jadual 2.1 : Spesifikasi robot.

Bahagian robot	Bilangan motor	Bilangan DOF	Jenis motor
Kepala	2	2	FUTABA S3003
Tangan	2	2	FUTABA S3003
Pinggang	2	2	FUTABA S3003
Pangkal peha	4	4	HITEC HS-5645 MG
Lutut	2	2	HITEC HS-5645 MG
Buku lali	4	4	HITEC HS-5645 MG