

***MOTION CAPTURE SYSTEM* BERBASIS *WEBCAM* UNTUK
PENGENDALIAN LENGAN ROBOT**

**SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



OCTARUDIN MAHENDRA

NIM. 145060300111015

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN
MOTION CAPTURE SYSTEM BERBASIS WEBCAM UNTUK
PENGENDALIAN LENGAN ROBOT

SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



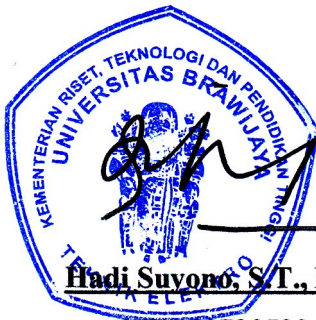
OCTARUDIN MAHENDRA
NIM. 145060300111015

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 27 Juli 2018

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing



Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM

NIP. 19730520 200801 1 013

Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.

NIP. 19700329 200012 1 001



JUDUL SKRIPSI :

MOTION CAPTURE SYSTEM BERBASIS WEBCAM UNTUK PENGENDALIAN LENGAN ROBOT

Nama Mahasiswa : Octarudin Mahendra

NIM : 145060300111015

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Elektronika

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.

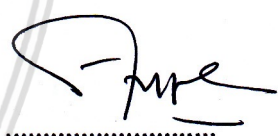
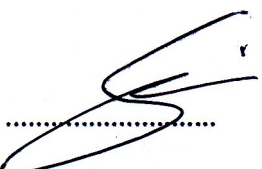

.....

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Waru Djuriatno, S.T., M.T

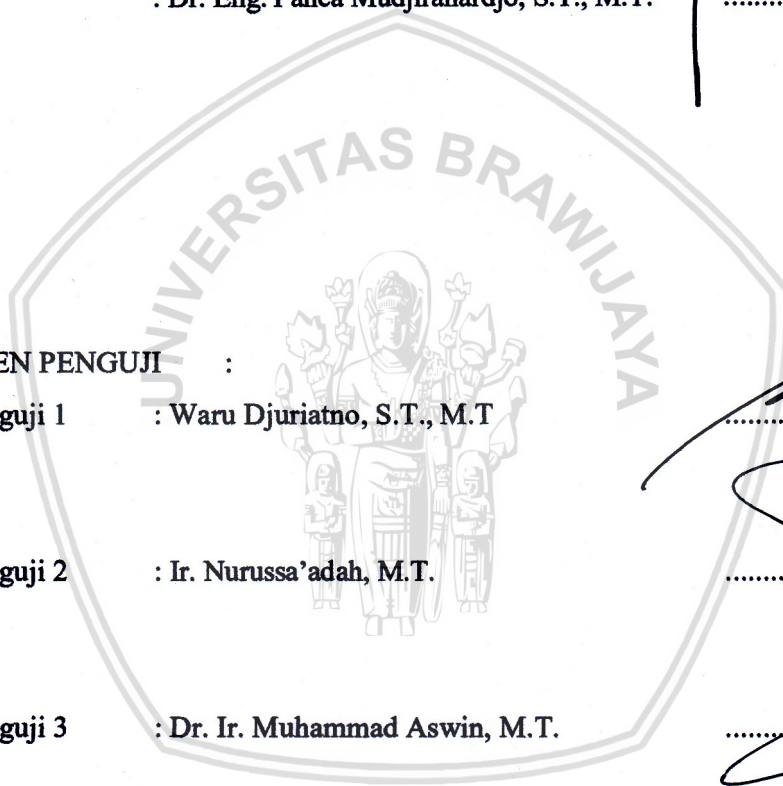
Dosen Penguji 2 : Ir. Nurussa'adah, M.T.

Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Muhammad Aswin, M.T.


.....

.....

.....

Tanggal Ujian : 20 Juli 2018

SK Penguji : 1497 Tahun 2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

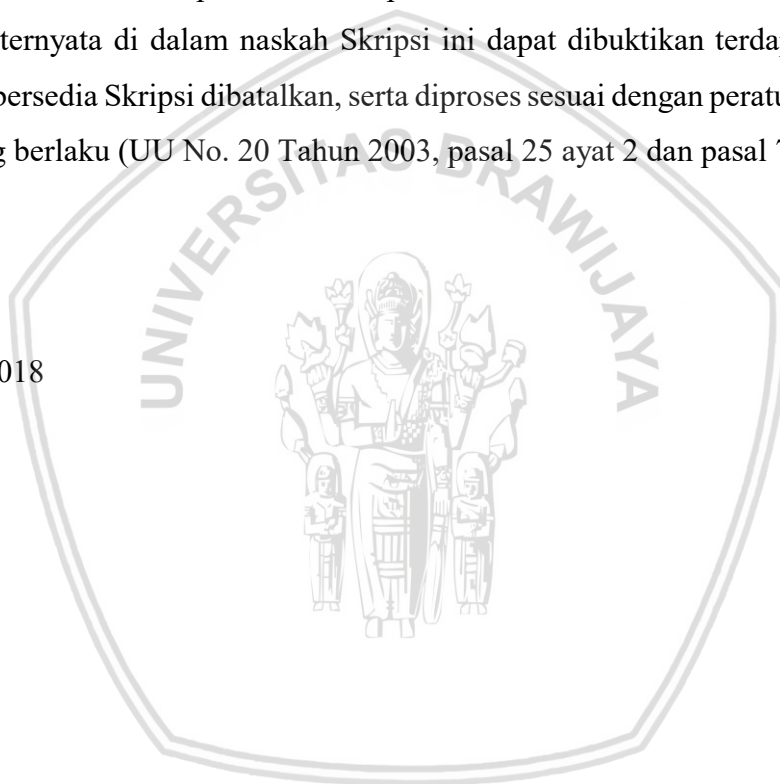
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juli 2018

Mahasiswa,

Octarudin Mahendra

NIM. 145060300111015





*Teriring ucapan terima kasih kepada:
Ayahanda dan Ibunda tercinta
Kakak dan Adikku tersayang*

RINGKASAN

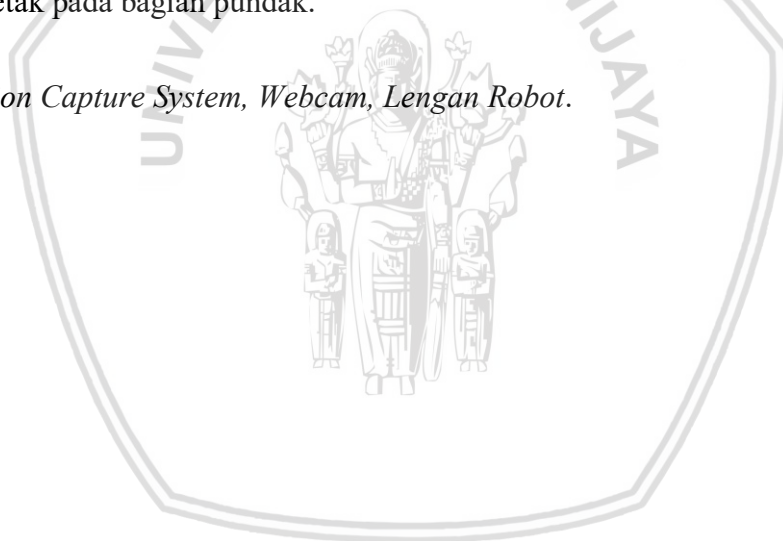
Octarudin Mahendra, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Motion Capture System Berbasis Webcam Untuk Pengendalian Lengan Robot*, Dosen Pembimbing: Panca Mudjirahardjo.

Teknologi kamera saat ini sudah banyak digunakan baik dalam dunia perfilman maupun dunia robotika. Pengembangan pada teknologi kamera terus dilakukan hingga saat ini.

Motion capture system merupakan sebuah sistem yang merekam gerakan seseorang atau obyek yang sedang bergerak. Proses *motion capture* pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sebuah kamera yang diletakkan secara statis.

Penelitian ini akan membahas tentang lengan robot yang dikontrol dengan *motion capture system*. *Motion capture system* dilakukan dengan menggunakan *webcam* kemudian hasil *motion capture* dikirim ke mikrokontroler melalui laptop. *Webcam* digunakan untuk menangkap pergerakan lengan pengguna dan laptop digunakan untuk mengonversi hasil pergerakan menjadi data sudut. Data sudut dikirim ke mikrokontroler melalui *USB to Serial*. Lengan robot yang akan dirancang hanya memiliki satu DOF (*Degree Of Freedom*) dimana DOF terletak pada bagian pundak.

Kata Kunci: *Motion Capture System, Webcam, Lengan Robot*.



SUMMARY

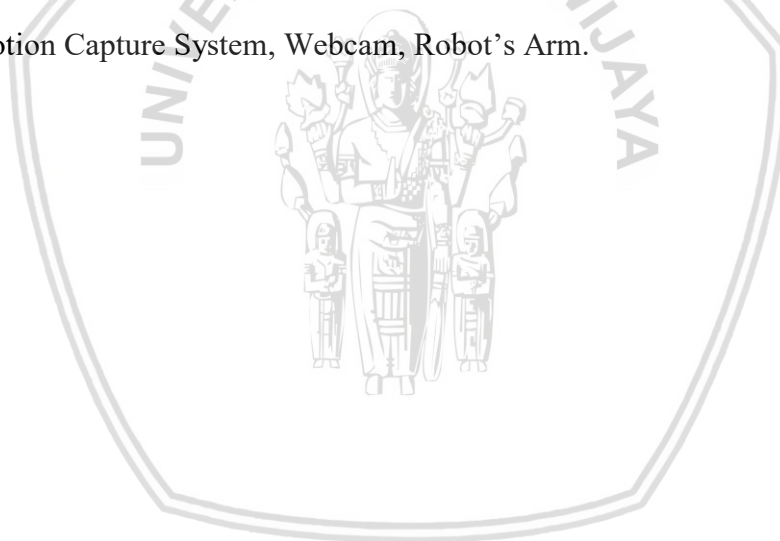
Octarudin Mahendra, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, July 2018, *Motion Capture System Based on Webcam for Controlling Robot's Arm*, Academic Supervisor: Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, ST., MT.

Camera technology is now used in the world of cinema or the world of robotics. Development on camera technology continues to be done today.

Motion capture system is a system that records the movement of a person or object that is moving. Motion capture process in this research is done by using a camera that is placed statically.

This research explain about robot's arm which controlled by motion capture system. Motion capture system is done by using webcam then the result of system is sent to microcontroller via laptop. Webcam is used to capture movement of user's arm and laptop is used to convert the movement to angle. The movement angle is transmitted to microcontroller by USB to Serial. Robot's arm only has one DOF (Degree of Freedom) which located on the shoulder.

Keywords: Motion Capture System, Webcam, Robot's Arm.



PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul "*Motion Capture System Berbasis Webcam Untuk Pengendalian Lengan Robot*". Shalawat beserta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, aamiin. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari masukan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Sehingga pada kesempatan ini penulis berterimakasih sebesar-besarnya kepada:

- Allah SWT atas rahmat serta hidayah yang diberikan.
- Keluarga tercinta, kedua orang tua Bapak Jamarudin dan Ibu Hendri yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan dan doa yang tiada akhir. Kakak dan Adikku tercinta, Aprian dan Anisa, yang selalu memberi inspirasi, dukungan, dan semangat.
- Bapak Ir. Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ibu Ir. Nurussa'adah, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang sangat berharga.
- Bapak Raden Arief Setyawan, ST., MT selaku KKDK Teknik Elektronika Universitas Brawijaya sekaligus Dosen Penasehat Akademik.
- Bapak Ir. Wahyu Adi Priyono, MT selaku Kepala Laboratorium Komputasi dan Jaringan yang telah memfasilitasi tempat dan alat untuk penelitian.
- Semua Dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bekal ilmu pada penulis dalam menyelesaikan studi.
- Semua Staff recording Jurusan Teknik Elektro.
- Bapak Nugroho Madiantoko, A.Md selaku Laboran Laboratorium Komputasi dan Jaringan sekaligus pendengar keluh kesah selama berada di Laboratorium Komputasi dan Jaringan.

- Keluarga Besar Laboratorium Komputasi dan Jaringan, Mas Achnafian, Mas Muslichin, Mba Gladys, Mba Ulya, Mba Ain, Septi, Frido, Indra, Rizar, Ditza, Novi, Nadia, Aidil, Hideo, Novia, Nisa, Abdul, Dandy, Bajra, Ika, Nabila, Arista, dan masih banyak lagi.
- Tim Robotika UB 2013, 2014, 2015, dan 2016 atas bantuannya dan kerjasamanya selama ini.
- Ketua Angkatan Danang Ardhy H serta tak lupa keluarga besar Dioda'14, yang memberikan doa, semangat, dan dukungan kepada penulis.
- Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan berlipat ganda kepada semuanya. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Demi perbaikan selanjutnya, saran dan kritik yang membangun akan penulis terima dengan senang hati. Akhirnya, hanya kepada Allah SWT penulis serahkan segalanya semoga tulisan kecil ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Malang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Lengan Robot	5
2.2. <i>Degree of Freedom</i> (DOFs)	5
2.3. <i>Motion Capture System</i>	6
2.4. <i>Thresholding</i>	8
2.5. <i>Hough Transform</i>	9
2.6. <i>OpenCV</i> 10	
2.7. <i>Webcam</i> 11	
2.8. Motor Servo.....	12
2.9. Mikrokontroler STM32F4.....	14
2.10. Coocox 16	
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1. Penentuan Spesifikasi Alat.....	17
3.2. Perancangan dan Pembuatan Alat	18
3.2.1. Perancangan Mekanik	18
3.2.2. Perancangan Perangkat Keras	18
3.2.3. Perancangan Perangkat Lunak	18
3.3. Pengujian Alat	20
3.3.1. Pengujian Sub Sistem.....	20
3.3.2. Pengujian Keseluruhan Sistem.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23

4.1. Pengujian Sistem.....	23
4.1.1. Pengujian <i>Motion Capture System</i>	23
4.1.1.1. Pengujian Warna <i>Grayscale</i>	23
4.1.1.2. Pengujian Metode <i>Background Subtraction</i>	23
4.1.1.3. Pengujian Warna Biner	24
4.1.1.4. Pengujian Metode <i>Houghline Transform</i>	25
4.1.2. Pengujian Motor Servo	25
4.1.3. Pengujian Keseluruhan Sistem Lengan Robot.....	27
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	29
5.1. Kesimpulan	29
5.2. Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN.....	31



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Data hasil pergeseran motor servo	26
Tabel 4.2	Data hasil pengujian lengan robot	27



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Derajat Kebebasan pada suatu Objek	6
Gambar 2.2	Derajat kebebasan setiap sendi bagian atas tubuh manusia	7
Gambar 2.3	Prinsip kerja <i>Hough Transform</i>	10
Gambar 2.4	<i>Webcam</i>	12
Gambar 2.5	Diagram Blok Sistem Kontrol Tertutup pada Motor Servo	13
Gambar 2.6	Diagram waktu PWM motor servo	14
Gambar 2.7	Diagram Blok Mikrokontroler	15
Gambar 3.1	Blok diagram keseluruhan sistem	17
Gambar 3.2	Diagram Alir Alat <i>Motion Capture system</i>	19
Gambar 3.3	Diagram Alir Robot tangan	20
Gambar 4.1	Hasil konversi warna RGB menjadi warna <i>grayscale</i>	23
Gambar 4.2	Hasil <i>background subtraction</i> pada warna <i>grayscale</i>	24
Gambar 4.3	Hasil <i>background subtraction</i> pada warna <i>black and white</i>	24
Gambar 4.4	Hasil penerapan <i>houghline transform</i>	25

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Foto Alat	32
Lampiran 2.	<i>Datasheet</i>	35
Lampiran 3.	<i>Listing Program</i>	38



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Menurut *The Robotics International Division of The Society of Manufacturing Engineers* (RI/SME) robot terbagi menjadi tiga struktur dasar yaitu perangkat multifungsi, *reprogrammable* dan sebagai manipulator. Jadi robot merupakan sebuah perangkat multifungsi yang dapat diprogram ulang yang digunakan sebagai manipulator untuk memudahkan pekerjaan manusia. Idealnya sebuah robot memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap lingkungan, memiliki fleksibilitas yang tinggi dan memiliki kecerdasan buatan untuk melaksanakan perintah.

Untuk menghasilkan gerakan yang halus dan menyerupai pergerakan lengan manusia maka digunakan metode penangkap gerakan (*Motion Capture System*). Penangkap gerakan dapat dilakukan untuk mentransformasi gerakan secara aktual dan *continue* kepada lengan robot sehingga robot dapat menirukan gerakan dari hasil penangkap gerakan tersebut berupa orientasi dan data posisi dari lengan pengguna.

Penggunaan *Flex Sensor* dan IMU telah digunakan pada penelitian sebelumnya untuk membuat robot penangkap gerakan. Akan tetapi, teknologi tersebut masih memiliki kekurangan, yaitu banyaknya aktuator yang harus digunakan dan penggunaan sensor melekat pada pengguna. Pada penelitian ini, robot penangkap gerakan menggunakan teknologi kamera *webcam* sebagai pemroses gerakan tubuh manusia sehingga penggunaan aktuator dapat berkurang dan tidak ada sensor yang melekat pada pengguna.

Webcam merupakan kamera dengan konektor USB yang biasa digunakan untuk *video call*. *Webcam* tersebut merupakan sistem yang dapat menginterpretasikan gestur dari pengguna secara spesifik. Pengontrolan dapat dilakukan secara *hands-free* dengan menggunakan teknologi kamera, proyektor *infrared* dan *microchip* khusus yang dapat digunakan untuk melacak gerakan objek dalam bidang tiga dimensi.

Pada penelitian ini *webcam* digunakan untuk menangkap gerakan dari pengguna (subjek). Hasil penangkap gerakan akan diterjemahkan kedalam bentuk sudut persendian. Sudut persendian yang didapatkan akan dikirim secara serial ke lengan robot.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang alat *motion capture system* yang digunakan untuk menangkap *gesture* dari pengguna lengan robot.
2. Bagaimana menerjemahkan data sudut dari alat *motion capture system* menjadi data sudut pada lengan robot.
3. Berapa *error* sudut persendian lengan robot terhadap sudut persendian pengguna lengan robot.
4. Berapa waktu *delay* yang dihasilkan untuk menerjemahkan sudut persendian pengguna lengan robot menjadi sudut persendian pada lengan robot.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Resolusi maksimal kamera yang digunakan adalah 1024 x 768 piksel.
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah STM32F407VG.
3. Spesifikasi CPU yang dipakai untuk mengolah data kamera adalah Intel Core i5-7200U dengan frekuensi maksimal 3,16 GHz.
4. Bagian obyek yang direkam untuk *motion capture system* adalah pergerakan lengan manusia ke atas dan ke bawah.
5. Hasil *motion capture system* berupa pergerakan motor servo pada satu DOF yang terletak pada pundak.
6. Motor servo yang digunakan adalah motor servo HS-422.
7. *Webcam* yang digunakan adalah Logitech C170.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang sistem yang dapat merekam *gesture* dari manusia dengan menggunakan *webcam*.
2. Merancang sistem lengan robot yang dapat menginterpretasikan gerakan yang telah didapatkan dari alat *motion capture system* menjadi gerakan pada lengan robot.
3. Menganalisis kehandalan dari metode *motion capture system* pada lengan robot.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini secara umum diharapkan mampu merancang sebuah alat *motion capture system* yang dapat merekam pergerakan *gesture* dari manusia. Selain itu diharapkan mampu merancang lengan robot yang dapat menginterpretasikan *gesture* dari manusia.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pengetahuan dan pemahaman yang dibutuhkan peneliti yang mendukung perancangan dan realisasi alat meliputi pengetahuan tentang Lengan Robot, *Degree of Freedom* (DOFs), *Motion Capture System*, *Thresholding*, *Hough Transform*, *OpenCV*, *Webcam*, Motor Servo, Mikrokontroler STM32F4, dan Coocox IDE.

2.1. Lengan Robot

Secara keseluruhan, sebuah robot terdiri dari sistem mekanik, elektrik, dan program. Ditinjau dari segi kontrol, sebuah robot biasanya merupakan sistem loop tertutup, yang umumnya terdiri dari sensor, pengontrol, dan aktuator. Sensor pada robot jika diibaratkan manusia berfungsi sebagai sistem pengindra, dan kontroler sebagai otak yang mengatur segala fungsi dari robot, serta aktuator sebagai sistem otot dan persendian. Lengan robot memiliki beberapa persendian yang disebut sebagai *Degree of Freedom* (DOF) yang berupa aktuator, seperti motor, pneumatik, dan sebagainya (Park, 2012).

2.2. *Degree of Freedom* (DOFs)

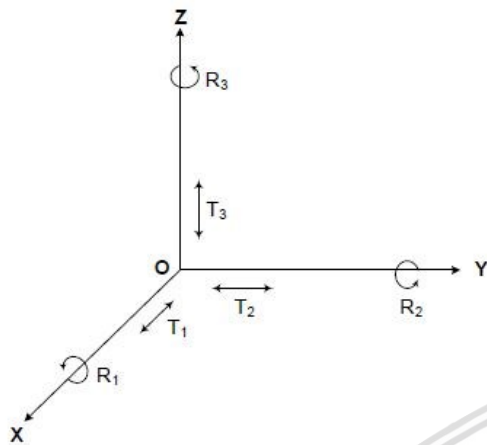
Derajat kebebasan (*Degree of Freedom*) adalah sambungan pada lengan, dapat dibengkokkan, diputar, maupun digeser. Derajat kebebasan digunakan untuk mengetahui cara robot bergerak, tingkat kerumitan algoritma kendali dan jumlah motor yang digunakan. Penentuan jumlah DOF dilakukan berdasarkan jumlah gerakan yang dapat dilakukan oleh lengan robot atau jumlah aktuator lengan robot.

Kaidah Denavit-Hartenberg merupakan aturan yang digunakan dalam perancangan robot yang diperkenalkan oleh Jaques Denavid dan Ricard S Hartenberg. Aturan tersebut menyatakan hanya terdapat dua gerakan yang mungkin terjadi yaitu bergeser dan berputar serta hanya terdapat 3 sumbu yang dapat terjadi yaitu sumbu x,y, dan z. Pada *end-effector* dapat ditambahkan empat derajat kebebasan berupa jari-jari tangan robot yang masing-masing jari dapat berputar 120° sesuai dengan fungsi dan aktuator yang diinginkan (Nugraha, 2011).

Derajat kebebasan (*Degree of Freedom*) suatu robot dapat diartikan sebagai jumlah gerakan independen yang dapat dibuat suatu objek terhadap sistem kordinat yang dapat menyebabkan perubahan posisi atau orientasi. Terdapat enam gerakan independen yang dapat dibuat suatu objek :

1. Tiga gerakan translasi T_1 , T_2 , T_3 sepanjang aksis OX , OY dan OZ .
2. Tiga gerakan rotasional R_1 , R_2 , R_3 pada aksis OX , OY , dan OZ .

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Derajat Kebebasan pada suatu Objek

Sumber : (Nugraha, 2011).

Dalam menentukan jumlah derajat kebebasan yang dimiliki oleh sebuah robot, tidak dapat dilakukan hanya dengan menghitung jumlah persendian (*joint*) yang dimiliki robot tersebut, karena tidak semua gerakan independen yang dibuat oleh persendian dapat dikategorikan sebagai derajat kebebasan (Nugraha, 2011).

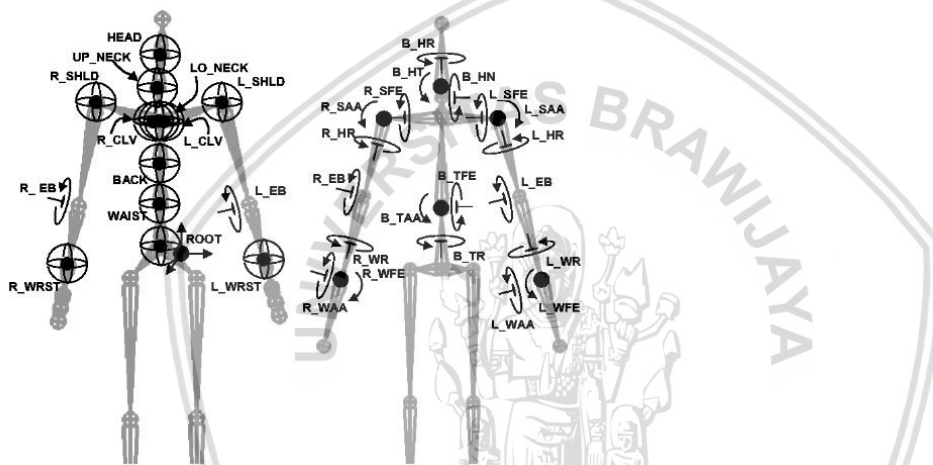
2.3. Motion Capture System

Motion capture adalah proses perekaman gerakan dari manusia atau objek lainnya. *Motion capture device* bertugas mentransformasi pergerakan secara aktual dari subjek menjadi data posisi, orientasi, atau sudut persendian yang bisa digunakan. Aplikasi medis termasuk dalam kawasan dari studi pergerakan, analisa gaya berjalan, dan estimasi gaya persendian. Industri *entertainment* telah menunjukkan minat yang tinggi terhadap seluruh *body motion capture*, terutama karena menyediakan cara cepat dan mudah untuk mendapatkan gerakan manusia yang realistis untuk animasi komputer (Kolosz, 1998).

Sensor sensor yang digunakan dalam *motion capture system* bermacam-macam, seperti optikal, magnetik, inersial, serta elektromekanikal. Masing-masing sensor menentukan tipe sistem yang digunakan dalam proses *motion capture*.

Metode yang paling sederhana dalam *motion capture* adalah menggunakan elektromekanis potensiometer yaitu dengan mengukur perpindahan orientasi dari organ tubuh pengguna. Pendekatan ini efektif dalam beberapa kasus karena tidak dipengaruhi oleh

keadaan sekitar pengguna. Pengukuran terhadap sendi pengguna dapat langsung digunakan dan dapat secara portabel. Akan tetapi selain kemudahan tersebut, kelemahan utama pada metode ini yaitu gerakan yang dapat dilakukan oleh pengguna terbatas dan kekakuan dari alat *motion capture* ini berpengaruh terhadap kenyamanan pengguna. Kerangka pada alat *motion capture* dapat membebani pengguna dan membatasi gerak karena sendi pada manusia lebih fleksibel daripada mekanik alat *motion capture* tersebut. Selain itu mekanisme *motion capture* ini tidak dapat mendeteksi pengguna yang sedang melompat atau sedang memutar. Metode ini memiliki tingkat kekuatan dan ketepatan dalam meniru gerakan setiap sendi-sendi pengguna. Derajat kebebasan untuk sendi-sendi manusia dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Derajat kebebasan setiap sendi bagian atas tubuh manusia

Sumber : (Pollard, 1999).

Pelacakan gerakan pada dasarnya merupakan salah satu komponen penting dalam perkembangan *intelligent autonomous robots*. Dalam pelacakan gerakan, sebuah robot harus mampu melihat gerakan manusia untuk berinteraksi, bekerja sama, dan meniru secara cerdas. Dalam beberapa tahun terakhir teknologi pelacakan gerakan semakin banyak dikembangkan dan semakin majunya komputasi pada saat ini sangat membantu dalam proses pengolahan data dari hasil pelacakan gerakan. Pada dasarnya gerakan direkam dengan melacak posisi dan orientasi yang tepat dari gerakan manusia dengan frekuensi perekaman yang tinggi. Setiap pelacakan menggunakan prinsip-prinsip fisika fundamental yang berbeda-beda untuk mengukur posisi dan orientasi dari gerakan manusia (Field dkk, 2009).

Ekstraksi pergerakan obyek sangat penting dan ekstraksi pergerakan objek menjadi tahap pertama untuk pendeteksian dan pengenalan gerakan (*motion capture*). Langkah

pertama dari proses ekstraksi pergerakan obyek adalah deteksi gerakan. Ada banyak metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi gerakan dalam sekumpulan gambar yang berurutan. Salah satu metode yang sederhana adalah subtraksi gambar (*frame subtraction*). Metode subtraksi gambar membutuhkan dua gambar yang berurutan dan menghasilkan label tepi pada bagian yang bergerak. (Mudjirahardjo dkk, 2017).

2.4. Thresholding

Thresholding merupakan posisi pusat pada aplikasi segmentasi *image* karena karakteristik yang intuitif dan kesederhanaan implementasi. Terdapat dua tipe *thresholding*, yaitu : *single threshold* dan *multiple threshold*. Pada *single threshold*, *pixel object* dan *background* mempunyai *gray level* yang dikelompokkan menjadi dua mode yang dominan. Satu cara untuk memisahkan obyek dari *background* adalah dengan memilih *background* batas T maka titik (x, y) dimana $f(x, y) > T$ disebut *object point*; selain itu berarti titik tersebut merupakan *background point*. Di lain pihak, pada *multiple threshold*, *pixel object* dan *background* mempunyai *gray level* yang dikelompokkan menjadi tiga mode yang dominan, menggolongkan satu titik (x, y) sebagai *object class* jika $T_1 < (x, y) < T_2$ lalu ke *object class* yang lain jika $f(x, y) > T_2$ dan merupakan *background* jika $f(x, y) < T_1$. Fungsi T pada *thresholding*: $T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)]$ dimana $f(x, y)$ adalah *gray level* titik (x, y) dan $p(x, y)$ menunjukkan beberapa *local property* pada titik ini. Batasan *image* $g(x, y)$:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{jika } f(x, y) > T \\ 0 & \text{jika } f(x, y) \leq T \end{cases} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana *Pixel* yang diberi label 1 mengacu pada obyek sedangkan yang berlabel 0 merupakan *background*.

Terdapat tiga tipe *threshold*, yaitu :

- *Global*, jika T tergantung hanya pada $f(x, y)$.
- *Local*, jika T tergantung pada $f(x, y)$ maupun $p(x, y)$.
- *Dynamic* atau *adaptive*, jika T tergantung pada koordinat spasial x dan y .

2.5. Hough Transform

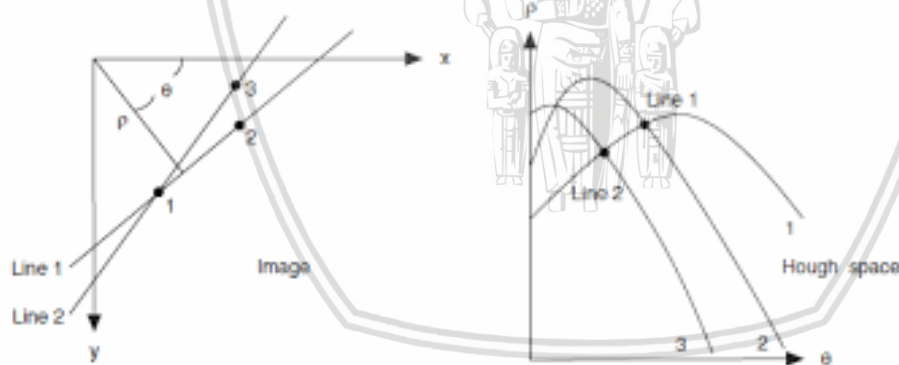
Hough Transform adalah jenis transformasi yang mengubah setiap titik piksel dari gambar ke kurva hiperbolik dalam *Hough Space*. Ini disebut pemetaan satu-ke-satu. *Hough Transform* standar adalah contoh dari *Hough Transform* Non-Probabilistik yang dibuat oleh P.V.C. *Hough Transform* diterbitkan dalam bentuk paten pada tahun 1962. *Hough*

Transform adalah elemen dasar dari *computer vision* dan banyak algoritma ekstraksi bentuk yang digunakan saat ini didasarkan *Hough Transform*.

Setiap piksel dalam gambar diwakili oleh sepasang nilai yang mewakili lokasi piksel pada gambar. Jika kita membatasi θ pada interval $[0, \pi]$, maka parameter normal untuk garis adalah unik dan setiap garis dalam bidang x - y sesuai dengan titik unik dalam bidang θ - ρ . Bidang ini biasa disebut *array accumulator*. Misalkan kita memiliki gambar H yang mengandung n poin angka $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$. *Hough Transform* mengubah setiap nilai dalam H ke dalam kurva sinusoidal pada *Hough Space* menggunakan persamaan

$$x \cos(\theta) + y \sin(\theta) = \rho \dots \dots \dots (2-2)$$

Transformasi ditunjukkan pada Gambar 2.3. Inti dari *Hough Transform* adalah bahwa jika salah satu titik di H adalah kolinear satu sama lain, maka kurva mereka di *Hough Space* harus berpotongan. Titik perpotongan kurva mewakili orientasi dan panjang garis di mana titik-titik tersebut menjadi kolinear. Kita juga dapat mengubah garis yang terdeteksi di *Hough Space* kembali ke *Cartesian Space*. Misalkan kita memiliki sekumpulan titik $\{(\theta_1, \rho_1), \dots, (\theta_n, \rho_n)\}$ di *Hough Space*, semua berbaring pada kurva Persamaan (2-2). Untuk mengubah titik kembali ke *Cartesian Space*, cukup mencari nilai x_0 dan y_0 dengan memilih dua titik dari sekumpulan titik.



Gambar 2.3. Prinsip kerja *Hough Transform*

Sumber : (Lin, 2015).

Berdasarkan inti metode *Hough Transform* dapat disimpulkan bahwa ciri dari *Hough Transform* meliputi :

- Sebuah titik pada bidang kartesian sama dengan sebuah kurva sinusoidal dalam *Hough Space*.
- Sebuah titik dalam bidang hough atau *Hough Space* sama dengan sebuah garis lurus dalam bidang kartesian.

- Titik yang terdeteksi pada garis lurus yang sama di bidang kartesian sama dengan titik yang terdeteksi pada kurva yang sama dalam bidang hough.
- Titik pada kurva yang sama sesuai dengan garis yang melewati titik yang sama.

Hough Transform dapat disebut juga sebagai pengubahan sebuah piksel dalam gambar menjadi kurva dalam bidang hough. Dalam bidang hough, ditemukan titik potong atau titik dari kurva yang dihasilkan dari piksel dalam gambar. Jika dua kurva memotong satu titik maka titik tersebut kolinear satu sama lain. Dengan demikian, kedua titik tersebut membentuk sebuah garis. Titik potong menunjukkan panjang dan orientasi garis tersebut (Lin, 2015).

2.6. OpenCV

OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) merupakan *library* pemrograman pada komputer yang bersifat *open source* dan didalamnya terdapat ratusan algoritma untuk melakukan pemrograman *computer vision*. *Library* ini memiliki antarmuka C, C++, python, dan java serta dapat digunakan oleh windows, linux, maupun android. OpenCV didesain untuk meningkatkan efisiensi pada komputasi dan memiliki, fokus pada aplikasi *real-time* (Itseez, 2014).

Beberapa fitur yang dimiliki OpenCV antara lain seperti :

- Manipulasi data citra (alokasi, *copying*, *setting*, konversi).
- Citra dan video I/O (*file* dan *camera based input*, *image/video file output*).
- Manipulasi matriks dan vektor beserta rutin-rutin aljabar linear (*products*, *solvers*, *eigenvalues*, SVD).
- Data struktur dinamis (*lists*, *queues*, *sets*, *trees*, *graphs*).
- Pemroses citra fundamental (*filtering*, *edge detection*, *corner detection*, *sampling and interpolation*, *color conversion*, *morphological operations*, *histograms*, *image pyramids*).
- Analisis struktur (*connected components*, *contour processing*, *distance transform*, *various moments*, *template matching*, *hough transform*, *polygonal approximation*, *line fitting*, *ellipse fitting*).
- Kalibrasi kamera (*calibration patterns*, estimasi *fundamental matrix*, estimasi, *homography*, *stereo correspondence*).
- Analisis gerakan (*optical flow*, *segmentation tracking*).

- Pengenalan obyek (*eigen-methods*, HMM).
- *Graphical User Interface* (*display image/video*, penanganan keyboard dan mouse, *handling*, *scroll-bars*).
- Pelabelan citra (*line*, *conic*, *polygon*, *text drawing*).

2.7. Webcam

Webcam merupakan gabungan dari kata *web* dan *camera*. *Webcam* sendiri sebutan bagi kamera *real-time* (bermakna keadaan pada saat ini juga) yang gambarnya bisa diakses atau dilihat melalui internet, aplikasi *instant messaging* seperti *Yahoo Messenger*, *AOL Instant Messenger* (AIM), *Windows Live Messenger*, dan *Skype*, dan lainnya. Istilah “*webcam*” sendiri mengarah pada jenis kamera yang digunakan untuk kebutuhan layanan berbasis *web*. *Webcam* sendiri biasanya digunakan untuk keperluan konferensi jarak jauh atau juga sebagai kamera pemantau.

Webcam adalah sebuah periferal berupa kamera sebagai pengambil citra/gambar dan mikropon sebagai pengambil suara/audio yang dikendalikan oleh sebuah komputer atau oleh jaringan komputer. Gambar yang diambil oleh *Webcam* ditampilkan ke layar monitor karena dikendalikan oleh komputer maka ada *interface* atau port yang digunakan untuk menghubungkan *Webcam* dengan komputer atau jaringan. Ada beberapa orang mengartikan *Webcam* sebagai *Web pages* dan *Camera* karena dengan menggunakan *Webcam* untuk mengambil gambar video secara aktual bisa langsung di-*upload* bila komputer yang mengendalikan terkoneksi internet.



Gambar 2.4. Webcam

Sumber : (www.logitech.com)

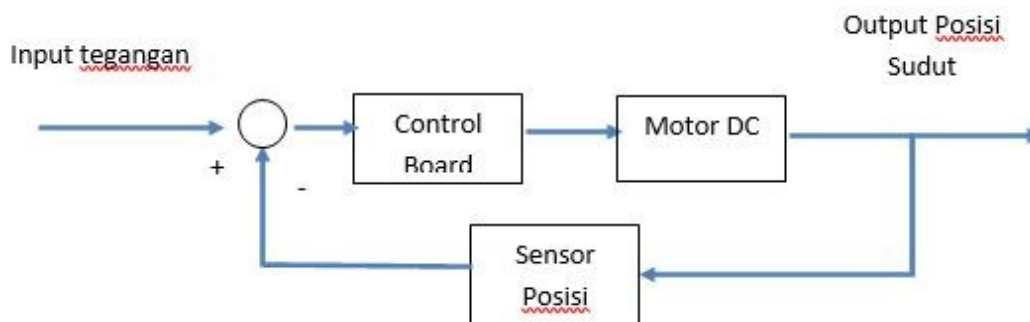
2.8. Motor Servo

Berbeda dengan motor DC, motor servo tidak bergerak *continue*, melainkan menuju sudut tertentu saja dan berhenti di sudut tersebut. Motor ini digunakan untuk aplikasi gerakan-gerakan sudut dari robot, contohnya gerakan lengan robot, gripper menjepit benda, atau gerakan kaki melangkah. Motor servo ini terdiri atas beberapa bagian, yaitu:

1. Jangkar, untuk menghubungkan motor servo dengan objek-objek yang akan digerakkan.
2. Lubang jangkar, bagian ini untuk menepatkan sekrup yang mengaitkan jangkar ke objek-objek yang akan digerakkan. Lubang jangkar dihubungkan ke objek dengan sekrup untuk gerakan memutar.
3. Lubang sekrup, berfungsi untuk mengkaitkan motor servo dengan tubuh robot.
4. *Housing* servo, didalam bagian ini terdapat motor DC, *gearbox*, dan rangkain pengatur sudut servo.
5. Kabel, yang menghubungkan rangkaian servo dengan pengendali servo.
6. Konektor, terdapat tiga pin yang terdiri atas input tegangan positif (+), input tegangan negatif (GND), dan input pulsa (sinyal).

Tidak seperti motor DC, pengendalian motor servo harus dilakukan dengan terlebih dahulu melalui rangkaian pengatur sudut dimana rangkaian ini membutuhkan masukan berupa pulsa. Pulsa-pulsa ini biasanya dibangkitkan oleh komponen cerdas seperti mikrokontroller atau modul elektronik dekat servo kontroller. Modul delta servo kontroller berfungsi membangkitkan pulsa-pulsa untuk mengendalikan motor servo dari PC (*personal computer*) (Nalwan, 2012).

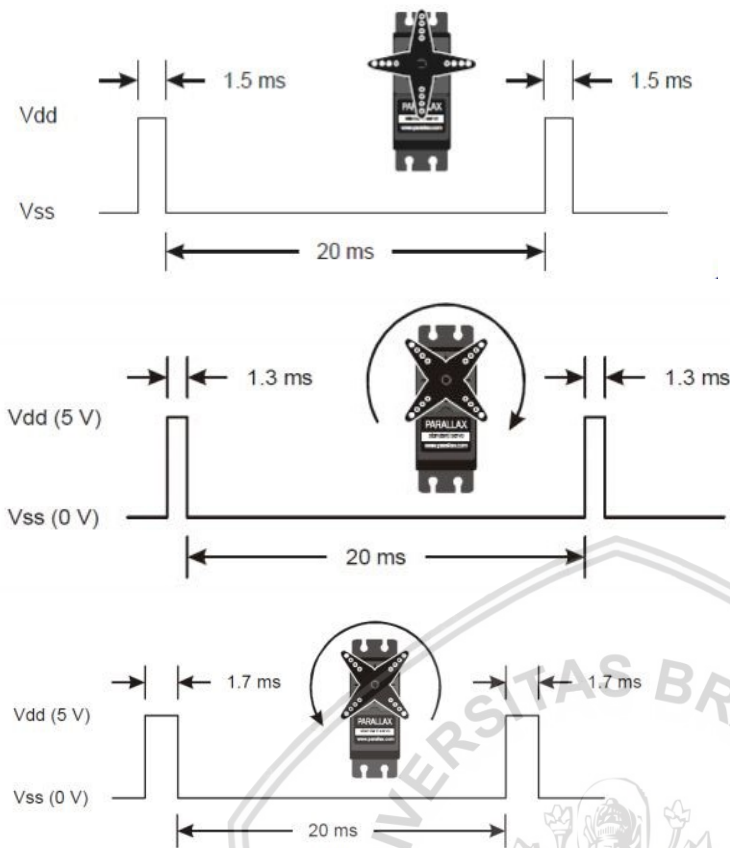
Motor servo menggunakan umpan balik tertutup di mana posisi sudut dari motor akan dinformasikan kembali ke rangkaian kontroller yang ada di dalam motor servo tersebut. Poros motor dihubungkan dengan rangkaian kendali, sehingga jika putaran poros belum sampai pada posisi yang diperintahkan maka rangkaian kendali akan terus mengoreksi posisi hingga mencapai posisi yang diperintahkan, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram Blok Sistem Kontrol Tertutup pada Motor Servo

Motor dipasangkan dengan beberapa jenis *encoder* untuk memberikan posisi dan kecepatan umpan balik. Dalam kasus yang paling sederhana, hanya posisi yang diukur. Posisi diukur dari output dibandingkan dengan posisi perintah, *input eksternal* ke *controller*. Jika posisi keluaran berbeda dari yang diperlukan, sinyal *error* yang dihasilkan yang kemudian menyebabkan motor berputar pada kedua arah, yang diperlukan untuk membawa poros output ke posisi yang sesuai. Sebagai pendekatan posisi, sinyal *error* tereduksi menjadi nol dan motor berhenti.

Motor Servo akan bekerja secara baik jika pada bagian pin kontrolnya diberikan sinyal PWM dengan frekuensi 50 Hz, yang berarti sinyal PWM memiliki periode 20 ms. Pada saat sinyal dengan frekuensi 50 Hz tersebut dicapai pada kondisi *ton duty cycle* 1.5 ms, maka rotor dari motor akan berhenti tepat di tengah-tengah (sudut 0° atau netral). Ketika diberikan sinyal PWM pada kontrol yang berada didalam motor servo maka kontrol akan merepon dengan syarat jika lebar pulsa 0,7ms-1ms maka akan memutar motor searah jarum jam. Sedangkan lebar pulsa 1,7ms-2ms akan memutar motor berlawanan arah jarum jam, sudut pada servo ketika diberikan pulsa PWM dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6.

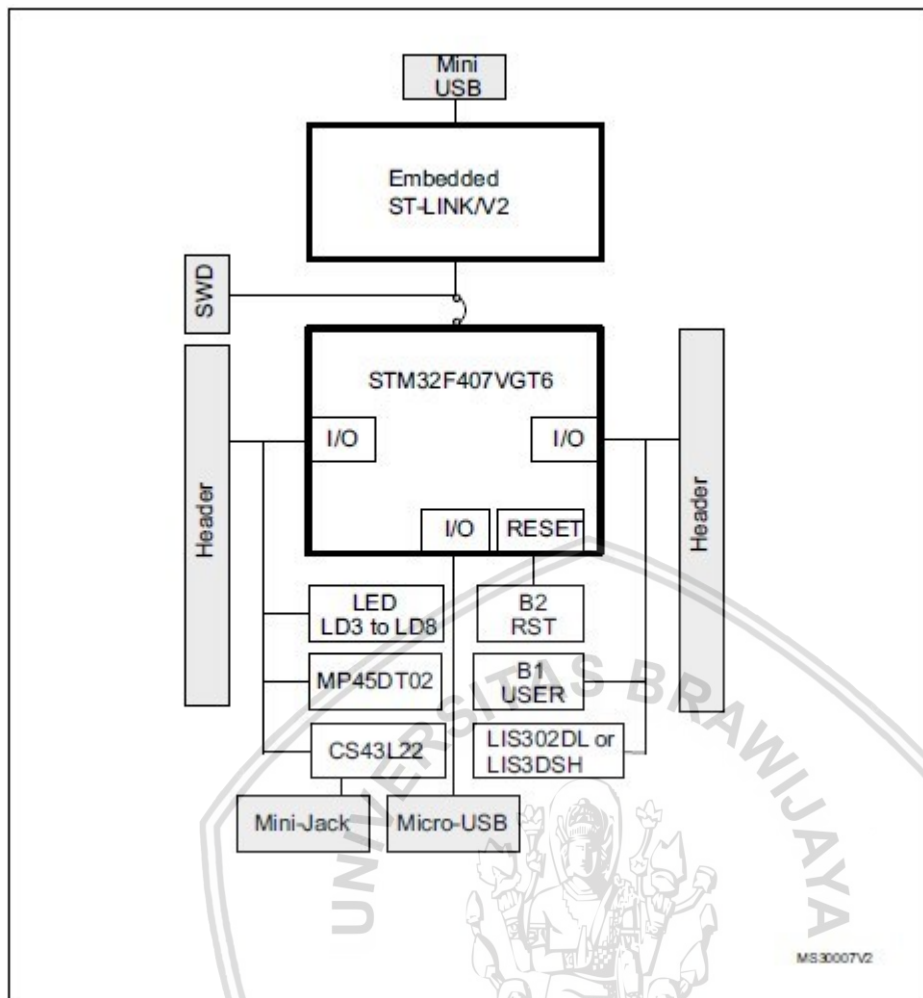


Gambar 2.6. Diagram waktu PWM motor servo

Sumber : (Parallax:5-6).

2.9. Mikrokontroler STM32F4

Mikrokontroler tersebut merupakan sistem minimum yang didalamnya terdapat memori, mikroprosesor, *debugger Onboard*, dan perangkat lain yang terdapat dalam satu *chip*. Mikrokontroler tersebut merupakan buatan dari STMicroelectronic keluarga dari ARM Cortex-M4 yang merupakan *mikrokontroller CMOS* 32 bit dengan arsitektur RISC dan memiliki *clock* sampai dengan 168 MHz sehingga mampu mengeksekusi perintah sampai dengan 210 MIPS (*Milion Instruction per Second*). Mikrokontroler ini memiliki 100 pin, 5 port *input* atau *output* yang masing-masing dapat di program, memiliki 1 MB (*Mega Bytes*) *Flash Programable and Eraseble Read Only Memory (Flash PEROM)*, memiliki 12 *timer/counter* 16 bit dan 2 buah *timer/counter* 32 bit, memiliki 192 KB (*Kilo Bytes*) SRAM, memiliki 24 channel ADC (*Analog to Digital Converter*), dan memiliki antarmuka kamera secara parallel 8-14 bit dengan kecepatan 54 MB (*Mega Byte*). Diagram blok mikrokontroller dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram Blok Mikrokontroler

Sumber : (STMicroelectronic :40).

Didalam STM32F4 terdapat dua DMA (*Direct Memory Acces*) yang masing-masing dapat menangani delapan perpindahan data dari suatu memori ke memori yang lain. DMA merupakan proses perpindahan data dari saatu alamat ke alamat lainnya yang tidak mengganggu kerja dari mikrokontroller. DMA dapat dintegrasikan dengan peripheral lain yaitu:

- 1) USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*)
- 2) I2C (*Inter Integrated Circuit*)
- 3) SPI (*Serial Peripheral Interface*)
- 4) SDIO (*Secure Digital Input/Output*)
- 5) ADC (*Analog to Digital Converter*)
- 6) *Timer/counter*
- 7) DAC (*Digital to Analog Converter*)

8) PWM (*Pulse Width Modulation*)

Peripheral yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah SDIO, USART, I2C, ADC, *Timer/Counter*, dan PWM (STMicroelectronic :1).

2.10. Coocox

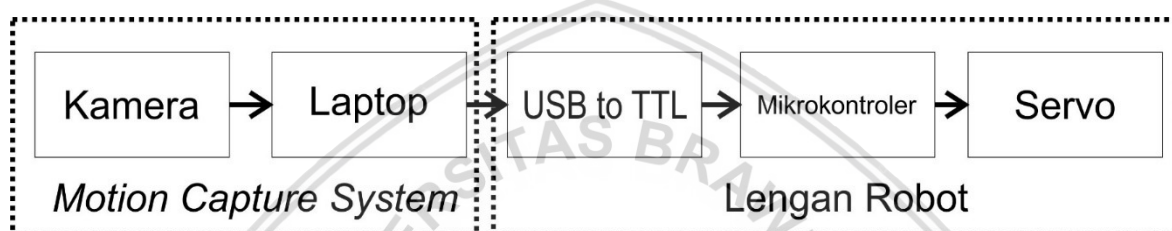
Coocox adalah *software open source* atau gratis untuk memrogram mikrokontroler berbasis ARM. Adapun program-program pendukung dari Coocox yang kita gunakan dalam praktikum kali ini adalah CoIDE dan CoSmart. CoIDE adalah program yang digunakan untuk mengatur *code, compiling, debugging, linking*, manajemen proyek, dsb. Sedangkan, CoSmart adalah program untuk membuat *library* dan konfigurasi pin pada mikrokontroler ARM.



BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan tentang metode penelitian yang akan digunakan dalam proses perancangan dari pengendalian lengan robot dengan *metode motion capture system* berbasis webcam. Hasil keluaran yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu dapat merancang pengendalian lengan robot yang digunakan untuk menginterpretasikan perekaman gerakan dari alat *motion capture* dan dapat merealisasikan metode *motion capture system* menggunakan webcam yang digunakan untuk merekam *gesture* dari pengguna.



Gambar 3.1. Blok diagram keseluruhan sistem

3.1. Penentuan Spesifikasi Alat

Penetapan spesifikasi alat secara umum dilakukan sebagai acuan dalam perancangan berikutnya. Spesifikasi alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- 1) Lengan robot berbahan dasar alumunium pada bahu lengan robot dan berbahan dasar mika *acrylic* pada lengan-lengan robot.
- 2) Lengan robot yang akan dirancang memiliki tiga DOF (*Degree of Freedom*) dengan rincian dua DOFs pada lengan dan satu DOFs pada *end-efector*.
- 3) *Actuator* yang digunakan pada robot yaitu motor DC Servo.
- 4) Menggunakan sistem minimum (mikrokontroler) sebagai pengendali pergerakan robot dan pengolah data sensor.
- 5) Untuk merekam gerakan dari manusia digunakan webcam *Logitech* dengan seri C170.
- 6) *Personal Computer* (PC).
- 7) Sumber tegangan yang digunakan pada lengan robot yaitu baterai *Lithium Polymer* 3 Cell 11,1 volt 2200mAh.
- 8) Regulator DC-DC *step-down* yang digunakan yaitu LM2596.

3.2. Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan realisasi alat dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu mekanik, hardware, dan *software*.

3.2.1. Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik pada penelitian ini diperlukan untuk membuat desain alat lengan robot. Bentuk mekanik secara umum dirancang menggunakan perangkat lunak *Corel Draw*.

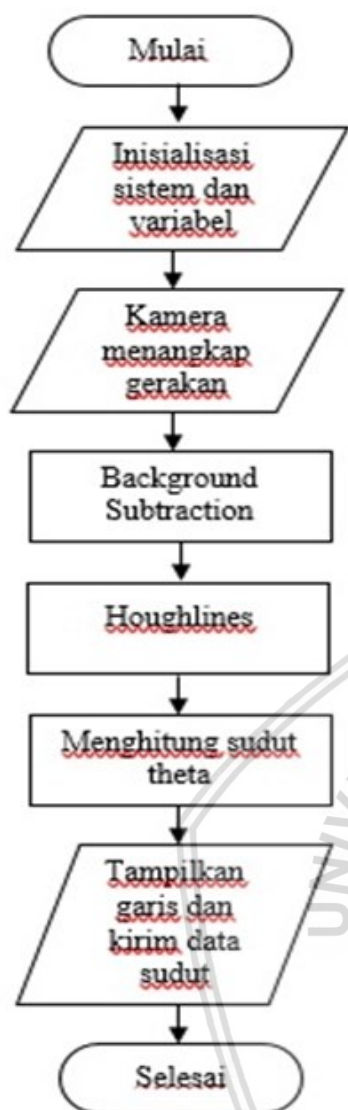
3.2.2. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras yaitu perancangan *main board* mikrokontroler lengan robot, antarmuka antara *main board* dengan aktuator motor DC servo, *Main board* dengan personal komputer, dan personal komputer dengan webcam. Papan rangkaian tercetak (PCB) dirancang dengan menggunakan perangkat lunak EAGLE (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*).

3.2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dibuat menggunakan CooCox CoIDE yang merupakan salah satu IDE yang *open source* untuk membuat *project*, melakukan *editing*, *debugging*, dan *compiling* untuk ARM Cortex M series. Perangkat lunak yang akan dibuat berfungsi untuk memberikan perintah ke *actuator* motor DC servo dengan data masukan dari alat *motion capture*.

Perangkat lunak dirancang melalui diagram alir (*flowchart*) sistem secara keseluruhan. Kemudian dilakukan penulisan program menggunakan bahasa pemrograman C pada *software* CooCox CoIDE.



Gambar 3.2. Diagram Alir Alat Motion Capture system.



Gambar 3.3. Diagram Alir Robot Tangan.

3.3. Pengujian Alat

Untuk menguji alat apakah sudah sesuai dengan yang telah direncanakan atau tidak maka diperlukan pengujian sistem. Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menghubungkan blok-blok perangkat keras (*hardware*) dan mengaplikasikan kode program yang telah dibuat sebelumnya menjadi satu sistem keseluruhan. Setelah sistem secara keseluruhan telah berjalan maka dilakukan analisis pada sistem tersebut untuk mengetahui error yang terjadi pada sistem tersebut.

3.3.1. Pengujian Sub Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk masing-masing blok pada alat. Pengujian-pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian Rangkaian Motor Servo

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian gerak motor servo. Tiap-tiap servo dilakukan pengujian yang sama untuk mengetahui kecepatan, akurasi sudut, dan torsi.

2. Pengujian Rangkaian *Motion Capture System*

Pengujian rangkaian *Motion Capture System* bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan hasil perekaman gestur dengan gerakan yang dibuat oleh manusia (pengguna).

3.3.2. Pengujian Keseluruhan Sistem Lengan Robot

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menghubungkan blok-blok sistem yang sesuai dengan diagram blok sistem dan memasukkan program kedalam mikrokontroler untuk mengontrol *hardware* dari keseluruhan sistem yang telah dibuat. Setelah keseluruhan sistem telah berjalan maka akan dilakukan analisis untuk membandingkan kesesuaian sudut gerakan antara yang dilakukan oleh manusia dengan sudut yang dihasilkan oleh robot.





BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Sistem

4.1.1. Pengujian *Motion Capture System*

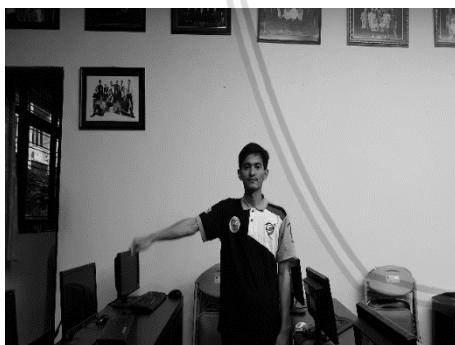
Pengujian *Motion Capture System* bertujuan untuk mengetahui bahwa setiap blok telah bekerja sesuai dengan diagram alir yang ada. Proses *Motion Capture System* meliputi 4 tahap, yaitu tahap pengubahan warna *grayscale*, subtraksi gambar (*Background Subtraction*), pengubahan warna biner, dan tahap deteksi garis lurus (*Houghline Transform*).

4.1.1.1. Pengujian Warna *Grayscale*

Penerapan *background subtraction* akan lebih baik apabila diterapkan pada warna *grayscale* karena warna *grayscale* hanya memiliki 1 *channel* warna. Proses pengubahan warna RGB (*Red, Green, Blue*) menjadi warna *grayscale* sesuai dengan Persamaan (4-1).

$$gray = (0,299 \text{ Red}) + (0,587 \text{ Green}) + (0,114 \text{ Blue}) \dots\dots\dots(4-1)$$

dimana *Red, Green*, dan *Blue* adalah *channel* warna pada RGB dan *gray* adalah hasil konversi dari warna RGB menjadi warna *grayscale*. Berikut gambar hasil konversi warna RGB menjadi warna *grayscale*.



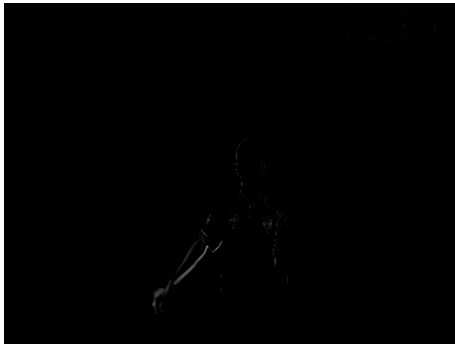
Gambar 4.1 Hasil konversi warna RGB menjadi warna *grayscale*

4.1.1.2. Pengujian Metode *Background Subtraction*

Metode ini digunakan untuk mendeteksi gerakan pada obyek di depan kamera dimana kamera diletakkan secara statis. Prinsip kerja metode ini yaitu membaca *frame* saat ini kemudian mengurangi *frame* saat ini dengan satu *frame* sebelumnya. Jika $\Delta(x,y)$ adalah sebuah hasil pengurangan piksel pada koordinat (x,y) maka

$$\Delta(x,y) = I_t(x,y) - I_{t-1}(x,y) \dots\dots\dots(4-2)$$

dimana $I_t(x, y)$ adalah piksel dengan koordinat (x, y) pada *frame* saat ini dan $I_{t-1}(x, y)$ adalah piksel dengan koordinat (x, y) pada satu *frame* sebelumnya. Hasil penerapan *background subtraction* ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil *background subtraction* pada warna grayscale

4.1.1.3. Pengujian Warna Biner

Setelah pengurangan piksel pada *frame grayscale*, langkah selanjutnya yaitu mengubah warna *grayscale* menjadi warna biner (*black and white*) sesuai dengan *threshold* yang telah ditentukan. Berikut gambar hitam dan putih setelah diberikan *threshold*.



Gambar 4.3 Hasil *background subtraction* pada warna *black and white*

Perbedaan warna piksel terlihat jelas setelah menerapkan *background subtraction* pada warna biner disetiap koordinat dan ditandai dengan Persamaan (4-3).

$$p(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{apabila } \Delta(x, y) > \text{threshold} \\ 0 & \Delta(x, y) \text{ yang lain} \end{cases} \dots\dots\dots (4-3)$$

dimana *threshold* adalah nilai yang digunakan untuk memisahkan obyek dengan *background*. *Pixel* yang diberi nilai 1 mengacu pada obyek sedangkan yang diberi nilai 0 merupakan *background*.

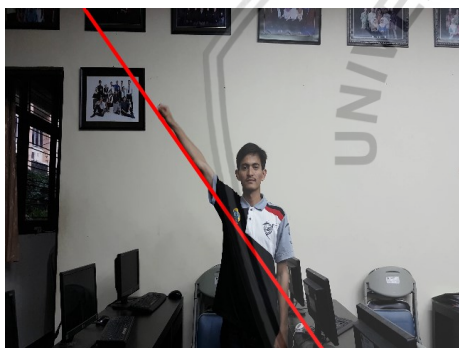
4.1.1.4. Pengujian Metode *Hough Transform*

Pengujian ini dilakukan setelah mendapatkan titik yang dibutuhkan berdasarkan proses pengujian warna biner. Titik-titik putih pada gambar disajikan dalam bidang

kartesian. Sesuai dengan konsep *Hough Transform*, setiap titik akan diubah ke dalam *Hough Space* berdasarkan Persamaan (2-2).

$$x \cos(\theta) + y \sin(\theta) = b \quad (2-2)$$

Persamaan (2-2) akan menghasilkan nilai b dan θ dimana b direpresentasikan sebagai panjang garis dan θ direpresentasikan sebagai kemiringan garis pada bidang kartesian. Dalam bidang Hough atau *Hough Space*, parameter θ dan b disajikan kurva sinusoidal. Setiap titik pada bidang kartesian akan membentuk kurva sinusoidal pada bidang hough. Kurva-kurva yang terbentuk pada bidang hough akan terlihat titik potong kemudian titik potong akan dihitung. Berdasarkan teori *thresholding*, apabila jumlah titik potong melebihi nilai T maka kurva-kurva yang melewati titik potong tersebut merupakan garis lurus pada bidang kartesian. Sebaliknya, apabila jumlah nilai T tidak mencapai nilai T maka kurva-kurva yang melewati titik potong tersebut akan diabaikan sehingga titik pada bidang kartesian tidak dianggap sebagai garis lurus. Garis lurus yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil penerapan *hough transform*

4.1.2. Pengujian Motor Servo

Setelah penerapan dan pengujian *motion capture system* langkah selanjutnya yaitu pengujian pergeseran motor servo. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa waktu tunda (*delay time*) yang dibutuhkan untuk bergerak sesuai dengan sudut *motion capture*. Sudut *motion capture* yang diterima mikrokontroler akan dikonversi menjadi pulsa PWM untuk servo berdasarkan Persamaan (4-4).

$$y = mx \quad (4-4)$$

$$m = \frac{180}{b-a} \quad (4-5)$$

$$x = y \frac{(b-a)}{180} \quad (4-6)$$

dimana a adalah sudut servo ketika -90° , b adalah sudut servo ketika $+90^\circ$, m adalah koefisien pulsa servo, y adalah sudut servo, dan x adalah pulsa PWM servo. Berikut hasil yang diperoleh saat pengujian motor servo berlangsung.

Tabel 4.1
Data hasil pergeseran motor servo

Sudut <i>Motion Capture</i> ($^\circ$)	<i>Autoreload</i> (pulse)	<i>Delay Time</i> (ms)
0	1200	0,60
10	1416	0,72
20	1633	0,82
30	1850	0,92
40	2066	1,04
50	2283	1,14
60	2500	1,24
70	2716	1,36
80	2933	1,48
90	3150	1,58
100	3366	1,68
110	3583	1,80
120	3800	1,90
130	4016	2,00
140	4233	2,12
150	4450	2,22
160	4666	2,32
170	4883	2,44
180	5100	2,56

Keterangan :

Sudut *Motion Capture* = data sudut yang diterima mikrokontroler berdasarkan pembacaan sudut kamera dalam satuan derajat

Autoreload = nilai pulsa yang diperlukan untuk menggerakkan motor servo berdasarkan sudut yang diterima

Time Delay = waktu tunda yang diperlukan untuk menggerakkan motor servo berdasarkan sudut yang diterima dalam satuan milisekon.

4.1.3. Pengujian Keseluruhan Sistem Lengan Robot

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah lengan robot bekerja sesuai dengan sudut yang dikirimkan oleh laptop atau tidak. Berikut hasil yang diperoleh saat pengujian lengan robot berlangsung.

Tabel 4.2
Data hasil pengujian lengan robot

Sudut <i>Motion Capture</i> (°)	Sudut Servo (°)	<i>Error</i> (°)
0	0	0
10	9	1
20	18	2
30	29	1
40	39	1
50	50	0
60	60	0
70	71	1
80	81	1
90	91	1
100	101	1
110	111	1
120	121	1
130	131	1
140	141	1
150	151	1
160	161	1
170	170	0
180	180	0

Keterangan :

Sudut servo = sudut yang terbentuk pada lengan robot

Sudut *motion capture* = data sudut yang diterima mikrokontroler berdasarkan pembacaan sudut kamera dalam satuan derajat

Setelah melakukan pengujian pada lengan robot, lengan robot terdapat *error* dimana perhitungan *error* didapat berdasarkan persamaan berikut.

$$error = ||sudut servo - sudut motion capture|| \dots\dots\dots(4-7)$$

Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan sistem lengan robot, *error* yang dihasilkan sistem terlihat sangat kecil, yaitu *error* terkecil 1° dan *error* terbesar 2°.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan berbagai macam pengujian dan analisis data yang telah didapat selama pengujian berlangsung maka dapat kita tarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar sudut yang ditempuh oleh servo maka semakin besar pula waktu yang diperlukan untuk menggerakkan motor servo.
2. Penggunaan metode *Background Subtraction* dan *Hough Transform* dalam *motion capture system* berhasil mendeteksi pergerakan lengan manusia pada keadaan tertentu dengan nilai *threshold* tertentu.

5.2. Saran

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Menambahkan algoritma untuk mendeteksi pergerakan bagian kepala, badan, dan kaki.
2. Merubah algoritma untuk membuat nilai *threshold* menjadi dinamis.
3. Menambahkan algoritma untuk pendeteksian dua pergerakan atau lebih dalam satu kamera.

DAFTAR PUSTAKA

- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV*. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.
- Buku Petunjuk Praktikum Aplikasi Mikrokontroler*. (2016). Malang.
- Field, M., Stirling, D., Naghdy, F., & Pan, Z. (2009). Motion Capture in Robotics Review. *IEEE International Conference on Control and Automation*. Christchurch: IEEE.
- Hadi, S., Mudjirahardjo, P., & Sulistyanto, N. (2016). *Motion Capture System Berbasis Flex Sensor dan Inertial Measurement Unit untuk Gerakan Pergelangan Tangan Robot*. Malang.
- Kolozs, J. (1998). *Design of an exoskeletal human motion capture system (SenSuit™)*. Salt Lake.
- Lin, D. (2015). *A Novel Method of Detecting Lines on a Noisy Image*. Oregon: Oregon State University.
- Mudjirahardjo, P., Suyono, H., & Setyawan, R. (2017). Real Time Moving Object Extraction Based on Area Filling. *5th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*. Malang: IEEE.
- Nalwan, A. (2012). *Teknik Rancang Bangun Robot*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Nugraha, D. W. (2011). Pengendalian Robot yang Memiliki Lima Derajat Kebebasan. *Jurnal Ilmiah Foristek Vol.1, No. 1*.
- OpenCV: OpenCV Tutorials*. (2018, Agustus 5). Retrieved from https://docs.opencv.org/3.4.2/d9/df8/tutorial_root.html
- Park, S., Bae, J., Park, J., & Baeg, M. (2012). Development of an Anthropomorphic Robot Hand Aimed at Practical Use for Wide Service Robot Application. *8th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*. Seoul: IEEE.
- Pitowarno, E. (2007). *Robotika: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Pollard, N., Hodgins, J., Riley, M., & Atkeson, C. (2002). Adapting Human Motion for the Control of a Humanoid Robot. *Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Washington DC: IEEE.
- Santoso, O. R., Mudjirahardjo, P., & Zainuri, A. (2017). *Implementasi Computer Vision Untuk Mendeteksi Base Baby Cradle Pada Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI)*. Malang.
- Shaleh. (2017, December 17). Retrieved from <http://rumahshaleh.com/pengertian-webcam-dan-jenisnya/>
- Wakhidah, N. (2011). Implementasi Metode Hough Transform pada Image Segmentation. *TRANSFORMATIKA*, 46-54.
- Welcome to opencv documentation*. (2018, Juli 29). Retrieved from <https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/tutorials/tutorials.html>