



**PENGEMBANGAN ROBOT ARM UNTUK PEMROSESAN GESTURE
TANGAN SECARA *REAL-TIME* DI LABORATORIUM FTI
UNIVERSITAS DINAMIKA**



Oleh:
MUHAMMAD WILDAN ATHO'ILLAH
22410200020

FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS DINAMIKA
2025

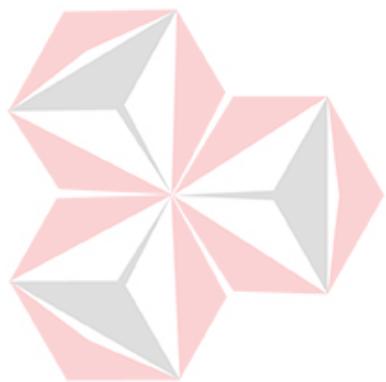
Pengembangan Robot Arm untuk Pemrosesan Gesture Tangan Secara *Real-Time* di Laboratorium FTI Universitas Dinamika

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata Satu (S1)



Disusun Oleh :
Universitas Dinamika
Nama : Muhammad Wildan Atho'illah
Nim : 22410200020
Program : S1 (Strata Satu)
Jurusan : Teknik Komputer

FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS DINAMIKA
2025



UNIVERSITAS
Dinamika

"Pantang Menyerah, terus Melangkah."

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN ROBOT ARM UNTUK PEMROSESAN GESTURE TANGAN SECARA REAL-TIME DI LABORATORIUM FTI UNIVERSITAS DINAMIKA

Laporan Kerja Praktik oleh
Muhammad Wildan Atho'illah
NIM: 22410200020

Telah diperiksa, diuji, dan disetujui



UNIVERSITAS
Dinamika
Surabaya, 12 Juni 2025

Disetujui:
Pembimbing

cn=Weny Indah Kusumawati,
o=Undika, ou=Prodi S1 TK - FTI,
email=weny@dinamika.ac.id,
c=ID
2025.07.11 15:48:25 +07'00'

Weny Indah Kusumawati, S.Kom., M.MT.

NIDN. 0721047201

Penyelia

Laboratorium



Teguh Sutanto, M.Kom.

NIDN. 0713027801

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Komputer

cn=Pauladie Susanto, o=Universitas
Dinamika, ou=PS S1 Teknik Komputer,
email=pauladie@dinamika.ac.id, c=ID
2025.07.11 16:18:34 +07'00'

Pauladie Susanto, S.Kom., M.T.

NIDN. 0729047501

PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI DAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Sebagai Mahasiswa **Universitas Dinamika**, Saya :

Nama : Muhammad Wildan Atho'illah
NIM : 22410200020
Program Studi : SI Teknik Komputer
Fakultas : Teknologi dan Informatika
Jenis Karya : Laporan Kerja Praktik
Judul Karya : **Pengembangan Robot Arm untuk Pemrosesan
Gesture Tangan Secara Real-Time di Laboratorium
FTI Universitas Dinamika**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Seni, Saya menyetujui memberikan kepada **Universitas Dinamika** Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (**Non-Exclusive Royalty Free Right**) atas seluruh isi/sebagian karya ilmiah Saya tersebut diatas untuk disimpan, dialihmediakan, dan dikelola dalam bentuk pangkalan data (**database**) untuk selanjutnya didistribusikan atau dipublikasikan demi kepentingan akademis dengan tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
2. Karya tersebut diatas adalah hasil karya asli Saya, bukan plagiat baik sebagian maupun keseluruhan. Kutipan, karya, atau pendapat orang lain yang ada dalam karya ilmiah ini semata-mata hanya sebagai rujukan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka Saya.
3. Apabila dikemudian hari ditemukan dan terbukti terdapat tindakan plagiasi pada karya ilmiah ini, maka Saya bersedia untuk menerima pencabutan terhadap gelar kesarjanaan yang telah diberikan kepada Saya.

Demikian surat pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 8 Juni 2025



Muhammad Wildan Atho'illah
NIM : 22410200020

ABSTRAK

Kerja Praktik ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem robot arm yang mampu merespons gesture tangan secara *real-time* sebagai bentuk penerapan interaksi manusia dan mesin berbasis *computer vision*. Proyek ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknologi dan Informatika (FTI) Universitas Dinamika, dengan fokus pada integrasi antara deteksi gesture berbasis kamera dan sistem akuator robotik (Robot Arm). Sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan dukungan library OpenCV (cv2) untuk pengolahan citra dan MediaPipe untuk deteksi sera pelacakan pose tangan, Gesture tangan yang ditangkap oleh kamera kemudian di proses secara real-time untuk menghasilkan sinyal kontrol yang diteruskan ke robot arm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali beberapa gesture dasar seperti grip (mencengkeram), open (melepas cengkeraman), reset, start, serta navigasi gerakan maju, mundur, atas, dan bawah. Sistem menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik dalam pengenalan gesture, dengan waktu respons yang rendah dan performa stabil dalam pengendalian robot arm secara real-time. Dengan pendekatan berbasis visi komputer ini, sistem dapat berfungsi tanpa memerlukan sensor tambahan, sehingga lebih fleksibel dan efisien dari segi biaya maupun implementasi. Dengan adanya pengembangan ini, diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan lanjutan di bidang human-computer interaction serta sistem robotik cerdas di lingkungan akademik dan industri.

Kata Kunci: Robot Arm, Hand Gesture, Real-Time, Computer Vision



UNIVERSITAS
Dinamika

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya, laporan Kerja Praktik ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk memenuhi kurikulum pada program studi yang penulis tempuh.

Kerja Praktik ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknologi dan Informatika (FTI) yang dilaksanakan di bulan Februari sampai bulan Maret, dengan tujuan untuk mengembangkan dan membuat Robot Arm untuk Pemrosesan Gesture tangan secara Real-Time.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam pelaksanaan Kerja Praktik dan penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan kesempatan yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Kerja Praktik ini dengan baik.
2. Ibu Weny Indah Kusumawati, S.Kom., M.MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses Kerja Praktik dan penyusunan laporan ini.
3. Bapak Teguh Sutanto, M.Kom., selaku penyelia. Terima kasih atas bimbingan yang diberikan baik itu materi secara tertulis maupun lisan, sehingga penulis dapat melaksanakan Kerja Praktik di Laboratorium Fakultas Teknologi dan Informatika Universitas Dinamika.
4. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.

Surabaya, 12 Juni 2025

Muhammad Wildan Atho'illah

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN	4
2.1 Sejarah Singkat Perusahaan	4
2.2 Visi, Misi dan Tujuan Perusahaan	5
2.2.1 Visi	5
2.2.2 Misi	5
2.2.3 Tujuan	5
2.3 Struktur Perusahaan	6
2.4 Informasi Kontak Perusahaan	6
BAB III LANDASAN TEORI	8
3.1 Robotic Arm	8
3.2 Jetson Orin Nano	9
3.3 PCA9685 Servo Driver	10
3.4 MG996R Servo	12
3.5 WebCam	14
3.6 Pycharm	16
3.7 MediaPipe	17
3.8 OpenCV	18
BAB IV DESKRIPSI PEKERJAAN	20
4.1 Deskripsi Kerja Praktik	20



UNIVERSITAS
Dinamika

4.2	Uraian Pekerjaan.....	21
4.2.1	Perancangan Struktur Lengan Robot.....	21
4.2.2	Perakitan Motor Servo MG996R.....	23
4.2.3	Kalibrasi Posisi Awal.....	25
4.2.4	Pengujian Sistem.....	25
	BAB V PENUTUP	28
5.1	Kesimpulan	28
5.2	Saran.....	28
	DAFTAR PUSTAKA.....	30
	LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Organisasi.....	6
Gambar 3. 1 Jetson Orin Nano (Sumber: https://www.waveshare.net)	9
Gambar 3. 2 PCA9685 (Sumber: https://github.com/)	11
Gambar 3. 3 MG996r Servo Motor.....	12
Gambar 3. 4 Web Camera.....	14
Gambar 4. 1 Skematik Rangkaian.....	21
Gambar 4. 2 Proses Perakitan Robot arm	22
Gambar 4. 3 Pemasangan Kabel Servo Ke PCA9685.....	24



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Letter of Acceptance (LoA).....**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 2. Acuan Kerja.....**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 3. Logbook Harian.....**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 4. Kehadiran Kerja Praktik**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 5. Kartu Bimbingan Kerja Praktik.....**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 6. Biodata Penulis**Error! Bookmark not defined.**



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang robotika dan kecerdasan buatan telah memberikan kontribusi besar dalam menciptakan sistem otomatis yang mampu berinteraksi secara langsung dengan manusia. Salah satu bentuk interaksi tersebut adalah melalui kendali berbasis gesture tangan, yang memungkinkan manusia untuk memberikan perintah ke sistem secara alami. Teknologi ini sangat relevan untuk diterapkan dalam pengembangan sistem kendali robotik yang efisien dan intuitif.

Robot arm merupakan salah satu jenis robot yang umum digunakan dalam berbagai bidang, seperti industri manufaktur, pendidikan, maupun penelitian. Pengendalian robot arm secara tradisional sering kali membutuhkan perangkat input fisik seperti joystick atau tombol. Namun, pendekatan tersebut cenderung kurang fleksibel dan tidak efisien untuk aplikasi yang memerlukan interaksi cepat dan responsif. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem alternatif yang lebih interaktif, seperti pengendalian menggunakan gesture tangan.

Dalam Kerja Praktik ini, dilakukan pengembangan sistem robot arm yang dapat dikendalikan melalui gesture tangan secara real-time menggunakan pendekatan *computer vision*. Sistem ini dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman Python, serta pustaka OpenCV untuk pengolahan citra dan Mediapipe untuk deteksi dan pelacakan pose tangan. Platform yang digunakan adalah NVIDIA Jetson, yang memiliki kemampuan komputasi tinggi dan cocok untuk aplikasi vision berbasis kecerdasan buatan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang, maka dapat perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem pengenalan gesture tangan secara *real-time* menggunakan metode *computer vision*?
2. Bagaimana cara mengintegrasikan hasil deteksi gesture dengan kontrol gerakan robot arm?

3. Seberapa responsif sistem dalam mengenali gesture dan mengendalikan robot arm secara real-time?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada pelaksanaan Kerja Praktik ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem hanya mendekripsi gesture satu tangan menggunakan kamera menggunakan pendekatan *computer vision*. Deteksi dilakukan dengan mengandalkan kamera webcam dan pemrosesan citra real-time menggunakan mediapipe.
2. Jenis gesture yang dikenali terbatas, yaitu grip (mencengkeram), open (melepas cengkeraman), reset (kembali ke posisi awal), start (memulai pemrosesan gesture), maju, mundur, atas, dan bawah.
3. Sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python, dengan library openCV untuk pemrosesan citra dan mediapipe untuk pelacakan dan klasifikasi pose tangan. Tidak dilakukan pelatihan machine learning baru, sistem hanya menggunakan deteksi bawaan dari mediapipe.

1.4 Tujuan

Tujuan Kerja Praktik di Laboratorium Laboratorium IoT Universitas Dinamika Surabaya adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem deteksi gesture tangan secara real-time menggunakan metode *computer vision*.
2. Membangun sistem kontrol robot arm yang merespon perintah gesture secara langsung dan akurat.
3. Mengintegrasikan pengolahan citra dan kendali robot melalui platform NVIDIA Jetson, dimana perintah gesture dikonversi menjadi sinyal kontrol motor melalui modul driver PCA9685 untuk menggerakkan servo motor.

1.5 Manfaat

Pengembangan Robotic Arm berbasis gesture tangan secara real-time ini memiliki berbagai manfaat, baik bagi pengguna maupun lingkungan laboratorium itu sendiri, antara lain:

1. Memberikan alternatif pengendalian robot arm yang lebih interaktif dan fleksibel tanpa memerlukan perangkat input fisik tambahan.
2. Menghasilkan sistem yang dapat digunakan untuk keperluan edukasi dan penelitian dalam bidang robotika dan *computer vision*.
3. Menjadi referensi awal dalam pengembangan sistem gesture-based control untuk aplikasi lain di masa depan.



BAB II

GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

2.1 Sejarah Singkat Perusahaan

Pada 30 April 1983 terjadi pengembangan teknologi dan informasi menjadi hal penting dalam pembangunan dan pengembangan nasional. Kedua hal tersebut juga harus diiringi dengan di bidang ekonomi dan bisnis untuk bisa bersaing di era yang terus berkembang. Seni dan budaya harus tetap dipertahankan agar indentitas bangsa tidak musnah. Melalui empat (4) hal utama, yaitu kristis, kreatif,kolaborasi, dan komunikasi, para pendiri terdiri dari laksda. TNI (Purn) Mardiono, Ir.Andrian A.T, Ir.Handoko A.T, Dra. Rosy Merianti, Ak. Dalam bidang teknologi informasi dengan nama AKIS (Akademi Komputer dan Informatika Surabaya).

Pada 10 Maret 1984 ijin operasional penyelenggara program Diploma III Manajemen Informatika diberikan kepada AKIS melalui SK Kopertis Wilayah VII Jawa Timur.

Pada 19 Juni 1984 AKIS yang berlokasi di Ketintang Surabaya memperoleh status terdaftar dari DIKTI.

Pada 20 Maret 1986 terus meningkatnya kebutuhan pendidikan, Yayasan Putra Bhakti memutuskan untuk merubah Akademi menjadi Sekolah Tinggi. AKIS (Akademi Komputer dan Informatika Surabaya) berubah menjadi Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Teknik Komputer Surabaya, yang lebih dikenal dengan STIKOM Surabaya.

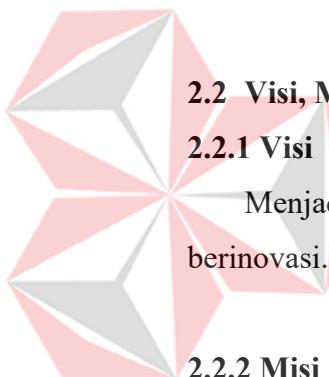
Pada 11 Desember 1987 STIKOM Surabaya membangun kampus pertama yang berlokasi dijalan Kutisari No.66 Surabaya, yang diresmikan oleh Letnan Jendral TNI Wahono selaku Gubernur Jawa Timur pada saat itu.

Pada 28 Oktober 1997 Awal pemasangan tiang pancang pertama STIKOM Surabaya di Jalan Raya Kedung Baruk No.98 Surabaya bersamaan dengan Hari Sumpah Pemuda.

Pada 04 September Seiring dengan perubahan zaman serta kebutuhan masyarakat, STIKOM Surabaya resmi berubah menjadi Institut dengan nama Institut Bisnis dan Informatika STIKOM Surabaya yang memiliki 2 fakultas dengan 9 program studi.

Pada 29 Juli 2019 Melalui Surat Keputusan Riset Dikti, Institut Bisnis dan Informatika STIKOM Surabaya resmi berubah menjadi Universitas Dinamika yang memiliki 2 fakultas dengan 9 program studi, yakni Fakultas Teknologi dan Informatika, Prodi S1 Teknik Komputer, Prodi S1 Desain Komunikasi Visual, Prodi S1 Desain Produk, Prodi D4 Produksi Film dan Televisi, dan Prodi D3 Sistem Informasi. Serta Fakultas Ekonomi dan Bisnis (FEB) dengan Prodi S1 Manajemen, Prodi S1 Akuntansi, dan Prodi S1 Administrasi Perkantoran.

Pada 31 Mei 2021 Melalui Surat Keputusan Rektor, Universitas Dinamika melakukan perubahan struktur organisasi dengan membentuk fakultas baru, yakni Fakultas Desain dan Industri Kreatif (FDIK) dengan 3 program studi, yaitu Prodi S1 Desain Produk, Prodi S1 Desain Komunikasi Visual, dan D4 Produksi Film dan Televisi yang sebelumnya berada dibawah naungan Fakultas Teknologi dan Informatika (FTI).



2.2 Visi, Misi dan Tujuan Perusahaan

2.2.1 Visi

Menjadi smart entrepreneurial university berskala global yang produktif dalam berinovasi.



2.2.2 Misi

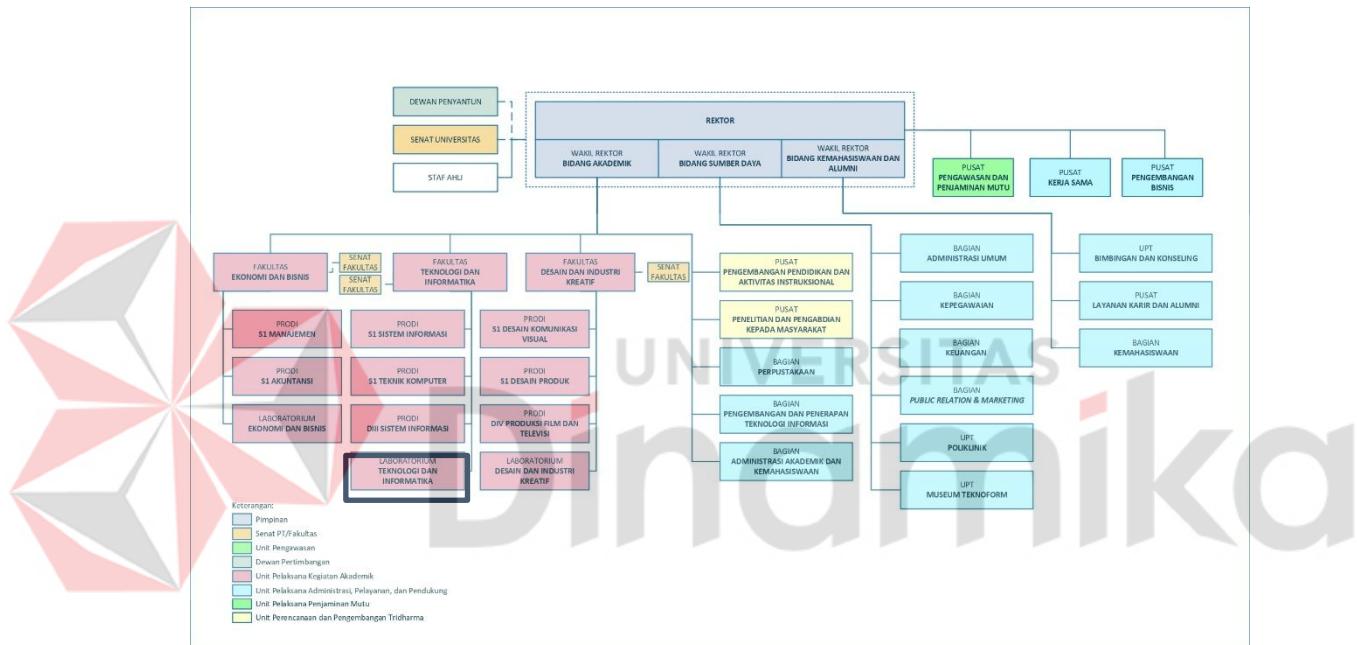
1. Menyelenggarakan dan mengembangkan pendidikan berbasis teknologi informasi yang bermutu dan berdaya saing global.
2. Melaksanakan penelitian yang berfokus pada pengembangan inovasi untuk mewujudkan entrepreneurial university.
3. Melakukan pengabdian untuk menyebarluaskan ipteks dan hasil inovasi bagi kesejahteraan masyarakat.
4. Melaksanakan kemitraan berskala global.
5. Mengembangkan bisnis dan kewirausahaan secara otonom yang akuntabel dan transparan.

2.2.3 Tujuan

1. Menyelenggarakan pendidikan yang berkualitas, inovatif, dan futuristik.

2. Menciptakan SDM berdaya saing global dan berjiwa entrepreneur.
3. Menghasilkan penelitian berkualitas dan berskala global.
4. Menghasilkan inovasi yang bernilai jual dan bermanfaat bagi masyarakat.
5. Melaksanakan diseminasi ipteks dan/atau hasil inovasi untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat.
6. Mewujudkan kemitraan berskala global.
7. Menjamin keberlanjutan Perguruan Tinggi.

2.3 Struktur Perusahaan



Gambar 2. 1 Struktur Organisasi

Pada bagian yang ditandai dengan kotak yang berwarna hitam di situlah tempat saya melakukan Kerja Praktik tersebut.

2.4 Informasi Kontak Perusahaan

Tempat : Jl. Raya Kedung Baruk 98 Surabaya

Email : official@dinamika.ac.id

Website : dinamika.ac.id

No Telfon : +62(31)8721731

Sosial Media :

Facebook : Universitas Dinamika

YouTube : Universitas Dinamika
Instagram : @universitasdinamika



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Robotic Arm

Robotic Arm merupakan salah satu komponen utama dalam sistem robotika yang berfungsi sebagai alat manipulatif untuk berinteraksi dengan lingkungan. Secara umum, lengan robot dirancang menyerupai struktur dan fungsi lengan manusia, yang terdiri dari beberapa sambungan (*joints*) dan penggerak (*actuators*) yang memungkinkan gerakan dengan beberapa derajat kebebasan (*degrees of freedom/DOF*) seperti rotasi, translasi, dan kombinasi keduanya (Craig, 2005). Struktur dasar lengan robot biasanya terdiri dari basis, shoulder, elbow, dan wrist, serta *end-effector* yang berperan sebagai "tangan" robot yang bisa berupa gripper, suction cup, atau alat khusus lainnya tergantung kebutuhan aplikatif.

Dalam pengaplikasiannya, lengan robotik banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk proses perakitan, pengelasan, pengecatan, dan pemindahan material. Penggunaan lengan robotik dalam industri ini telah terbukti meningkatkan efisiensi, akurasi, dan keselamatan kerja karena kemampuannya dalam menjalankan tugas berulang dengan presisi tinggi dan tanpa kelelahan (Groover, 2014). Selain di bidang industri, lengan robot juga telah merambah ke bidang medis, seperti dalam operasi bedah presisi (robot-assisted surgery), serta dalam bidang pertanian dan eksplorasi luar angkasa.

Lengan robot dikendalikan melalui sistem pengendali seperti mikrokontroler atau komputer industri yang menerima input perintah, baik secara langsung maupun berdasarkan data dari sensor atau hasil proses pengolahan citra (*image processing*) dan pengenalan gerakan (*gesture recognition*). Salah satu pendekatan umum adalah penggunaan *inverse kinematics*, di mana posisi dan orientasi dari *end-effector* ditentukan terlebih dahulu, kemudian dihitung sudut-sudut sambungan yang dibutuhkan untuk mencapainya (Siciliano et al., 2010). Dalam praktiknya, metode ini sangat penting dalam menjamin presisi dan fleksibilitas gerakan lengan robot.

Selain *inverse kinematics*, sistem kendali juga mengintegrasikan pengendalian kecepatan, torsi, dan umpan balik sensorik untuk menjamin keamanan dan responsivitas. Beberapa sistem juga telah mengimplementasikan

kontrol berbasis kecerdasan buatan, seperti jaringan saraf tiruan (neural network) atau kontrol fuzzy untuk meningkatkan adaptivitas terhadap lingkungan yang dinamis (Niku, 2011).

Kemajuan teknologi juga memungkinkan integrasi lengan robot dengan teknologi visual dan sistem penglihatan komputer seperti kamera dan sensor kedalaman. Hal ini memungkinkan lengan robotik untuk mendeteksi dan merespons lingkungan secara visual, termasuk mengidentifikasi objek dan menentukan posisi serta orientasi objek tersebut dalam ruang tiga dimensi. Teknologi ini memperluas aplikasi lengan robot dalam bidang layanan pelanggan, robot sosial, dan interaksi manusia-robot yang lebih alami (Khatib, 1999).

Dengan adanya integrasi antara lengan robotik dan sistem pengolahan citra serta pengenalan gesture, seperti penggunaan pustaka seperti OpenCV dan MediaPipe, memungkinkan pengembangan sistem kendali berbasis visual dan interaksi tanpa sentuhan (touchless interaction), yang sangat relevan dalam masa pasca-pandemi atau lingkungan sensitif seperti laboratorium dan rumah sakit.

3.2 Jetson Orin Nano

Jetson Orin Nano adalah salah satu perangkat komputasi berbasis AI (Artificial Intelligence) yang dikembangkan oleh NVIDIA. Perangkat ini termasuk dalam keluarga NVIDIA Jetson, yang dirancang khusus untuk aplikasi edge AI dengan kebutuhan komputasi tinggi namun konsumsi daya rendah. Jetson Orin Nano memiliki performa hingga 40 TOPS (Tera Operations Per Second), menjadikannya sangat cocok untuk pengolahan citra real-time, inferensi model AI, serta aplikasi robotika dan automasi.



Gambar 3. 1 Jetson Orin Nano
(Sumber: <https://www.waveshare.net>)

Perangkat ini menggunakan CPU ARM Cortex-A78AE dan GPU berbasis arsitektur Ampere dengan CUDA core, memungkinkan developer untuk menjalankan *deep learning* models, *computer vision*, dan inferensi machine learning secara efisien. Jetson Orin Nano juga kompatibel dengan NVIDIA JetPack SDK yang mendukung berbagai pustaka seperti CUDA, cuDNN, TensorRT, dan OpenCV, menjadikannya ekosistem yang lengkap untuk pengembangan aplikasi AI (NVIDIA, 2023).

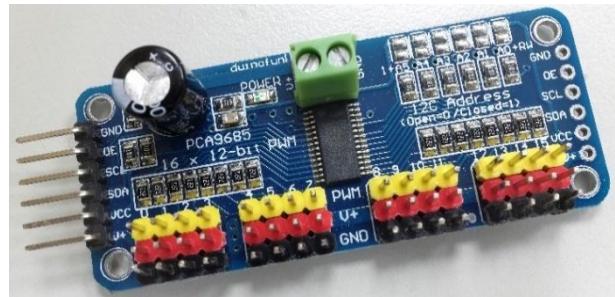
Salah satu keunggulan Jetson Orin Nano adalah kemampuannya untuk menjalankan pemrosesan edge secara independen, tanpa bergantung pada server cloud. Hal ini memungkinkan sistem berjalan secara real-time dengan latensi rendah, serta dapat diimplementasikan pada perangkat mobile, robotika, smart camera, dan lain sebagainya. Dalam konteks proyek robot arm berbasis gesture, Jetson Orin Nano menjadi pilihan ideal untuk memproses citra tangan dari kamera dan menerjemahkannya menjadi gerakan robot secara langsung.

3.3 PCA9685 Servo Driver

PCA9685 adalah sebuah modul pengendali sinyal PWM (Pulse Width Modulation) yang dirancang untuk mengontrol banyak perangkat secara bersamaan, seperti motor servo, LED, atau aktuator lain yang membutuhkan sinyal PWM presisi. Modul ini dikembangkan oleh NXP Semiconductors dan sangat populer dalam berbagai aplikasi robotika, otomasi, dan proyek embedded system berbasis mikrokontroler atau single-board computer seperti Arduino dan Jetson Nano (NXP Semiconductors, 2021). Salah satu fitur utamanya adalah kemampuannya mengendalikan hingga 16 saluran output PWM secara independen melalui komunikasi I2C, yang membuatnya sangat efisien dan praktis untuk sistem multi-servo seperti robot berkaki, robotic arm, dan sistem mekanik lainnya.

PCA9685 bekerja pada frekuensi PWM yang dapat diatur dari sekitar 24 Hz hingga 1526 Hz, dengan resolusi 12-bit untuk setiap sinyal PWM, yang berarti tiap sinyal dapat memiliki hingga 4096 tingkat duty cycle. Hal ini memberikan akurasi tinggi dalam mengatur posisi motor servo atau intensitas cahaya LED (Adafruit, 2020). Modul ini berkomunikasi dengan mikrokontroler menggunakan protokol I2C, yang hanya memerlukan dua kabel data utama, yaitu SDA (data) dan SCL

(clock), sehingga menghemat banyak pin digital pada papan pengendali utama. Lebih lanjut, PCA9685 mendukung hingga 62 alamat I2C unik pada satu jalur bus, memungkinkan lebih dari 900 saluran PWM dikendalikan hanya dengan dua pin mikrokontroler (NXP Semiconductors, 2021).



Gambar 3. 2 PCA9685
(Sumber: <https://github.com/>)

Dalam konteks kendali robotik, seperti lengan robot (robotic arm), PCA9685 sangat ideal karena mampu mengatur posisi beberapa motor servo dengan stabil tanpa membebani unit pemrosesan utama. Jika hanya menggunakan PWM dari mikrokontroler seperti Arduino, jumlah motor servo yang dapat dikendalikan secara akurat akan sangat terbatas karena keterbatasan jumlah pin dan timer internal. Dengan memanfaatkan PCA9685, pengontrol utama hanya perlu mengirimkan perintah posisi melalui I2C, sementara frekuensi dan siklus kerja PWM dikelola sepenuhnya oleh modul ini. Hal ini tidak hanya meringankan beban kerja prosesor utama, tetapi juga memungkinkan pengendalian lebih stabil karena modul ini dilengkapi osilator internal independen (Pereira et al., 2018).

Selain itu, PCA9685 memiliki fitur output enable yang dapat dimanfaatkan untuk menonaktifkan semua saluran PWM secara serempak, sangat berguna dalam situasi darurat atau untuk keperluan kalibrasi sistem. Modul ini juga dirancang untuk mendukung tegangan logika 3.3V maupun 5V, sehingga kompatibel dengan berbagai platform seperti Raspberry Pi, Jetson Nano, ESP32, dan Arduino (Adafruit, 2020).

Dalam implementasi praktis, pustaka perangkat lunak untuk PCA9685 tersedia secara luas dalam berbagai bahasa pemrograman, termasuk Python dan C++, yang mendukung pengembangan aplikasi real-time seperti sistem kendali

robot yang menerima input dari sistem pengenalan gesture berbasis kamera. Dalam skenario tersebut, PCA9685 menjadi jembatan antara logika kontrol yang berbasis penglihatan (vision-based control) dengan aktuasi fisik yang dijalankan oleh motor servo. Maka dari itu, PCA9685 menjadi komponen penting dalam sistem mekatronika modern yang mengintegrasikan pemrosesan visual, kecerdasan buatan, dan kendali gerakan secara simultan dan responsif.

3.4 MG996R Servo

MG996R adalah salah satu jenis motor servo digital yang banyak digunakan dalam proyek-proyek robotika, mekanika presisi, dan sistem kendali gerak. Motor ini merupakan versi penyempurnaan dari MG995 yang populer, dengan peningkatan pada akurasi pengendalian sudut dan ketahanan terhadap panas dan getaran. Diproduksi oleh Tower Pro, MG996R dirancang sebagai motor servo torsi tinggi (high torque) yang ideal untuk aplikasi seperti robotic arm, mobil robot, pan-tilt camera system, dan berbagai perangkat yang memerlukan kontrol posisi sudut secara presisi dan kuat (Tower Pro, 2019).

Secara teknis, MG996R memiliki sudut rotasi sekitar 120 hingga 180 derajat, tergantung pada sinyal PWM yang diberikan. Servo ini menerima sinyal kontrol dalam bentuk pulsa dengan lebar 1-2 ms, di mana lebar pulsa menentukan posisi poros motor. MG996R mampu memberikan torsi hingga sekitar 9.4 kg·cm pada tegangan 6V, menjadikannya sangat cocok untuk sistem robotik yang harus mengangkat atau memindahkan beban dalam jumlah moderat (Kaur & Sharma, 2021). Servo ini bekerja pada tegangan antara 4.8V hingga 7.2V dan memiliki kecepatan rotasi sekitar 0.17 detik/60° pada 6V, menunjukkan kinerjanya yang cukup cepat untuk aplikasi kendali dinamis.



Gambar 3. 3 MG996r Servo Motor
(Sumber: <https://moviltronics.com>)

Motor ini menggunakan sistem penggerak berbasis gear metal yang tahan lama dan tahan beban berat, berbeda dari banyak servo low-cost lainnya yang menggunakan gear plastik. Desain gear logam ini memberikan kekuatan mekanik yang lebih tinggi dan umur pemakaian yang lebih lama, namun memerlukan sistem pengendalian yang lebih akurat dan stabil agar tidak mengalami osilasi atau overheating (Sharma & Kaur, 2022). Untuk pengendalian yang presisi dan stabil, MG996R sering dipasangkan dengan modul pengontrol PWM seperti PCA9685, sehingga pengiriman sinyal PWM dapat dilakukan secara konsisten dan efisien, tanpa membebani mikrokontroler utama seperti Arduino atau Jetson Nano.

Dalam konteks robotic arm, MG996R digunakan sebagai aktuator utama untuk menggerakkan sendi-sendi lengan robot. Karena memiliki torsi yang tinggi dan konstruksi yang kuat, servo ini sangat ideal untuk segmen lengan yang memerlukan daya lebih besar, seperti bagian dasar atau sendi bahu yang menanggung beban terbesar. Namun, karena ukurannya yang cukup besar dan konsumsi arus yang tinggi (hingga lebih dari 2A saat beban maksimum), penggunaan MG996R memerlukan manajemen daya yang baik. Oleh karena itu, pada sistem berskala besar atau yang menggunakan banyak servo, diperlukan sumber daya eksternal dan kapasitor filter untuk menghindari fluktuasi tegangan.

Keunggulan lain dari MG996R adalah ketersediaan luas dan harga yang relatif terjangkau, menjadikannya pilihan populer di kalangan penggemar DIY electronics dan akademisi. Meski tidak sepresisi motor servo industri yang mahal, MG996R menawarkan kompromi ideal antara performa dan biaya. Dalam pengembangan sistem kendali gerakan berbasis pengolahan citra atau gesture recognition, MG996R memainkan peran penting dalam mengubah input visual menjadi respons mekanik yang nyata, misalnya ketika sistem pengenalan gesture tangan digunakan untuk mengendalikan posisi lengan robot.

Dengan mempertimbangkan karakteristik tersebut, MG996R merupakan komponen esensial dalam banyak sistem mekatronika, terutama yang membutuhkan solusi aktuasi kuat, ekonomis, dan relatif mudah dikendalikan menggunakan perangkat lunak dan perangkat keras open-source.

3.5 WebCam

Webcam atau web camera merupakan perangkat input visual berbasis digital yang digunakan untuk merekam gambar atau video secara real-time. Perangkat ini mengubah cahaya yang ditangkap lensa menjadi sinyal digital yang dapat diproses oleh komputer atau sistem embedded. Dalam konteks rekayasa dan sistem cerdas, webcam memegang peranan penting sebagai sensor visual dalam berbagai aplikasi seperti pengenalan wajah, pengolahan citra, pengawasan, serta interaksi manusia-komputer berbasis gesture (Gonzalez & Woods, 2018).

Secara umum, webcam terdiri atas beberapa komponen utama: lensa, sensor pencitraan (biasanya CMOS atau CCD), dan rangkaian konversi sinyal. Sensor CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) lebih umum digunakan karena konsumsi dayanya rendah dan harganya lebih murah dibandingkan CCD (Charge Coupled Device), meskipun dengan kualitas gambar yang sedikit lebih rendah. Sensor ini menangkap intensitas cahaya dari lingkungan dan mengubahnya menjadi data digital berupa array pixel (Nixon et al., 2019).



Gambar 3. 4 Web Camera
(Sumber: <https://www.ozon.ru>)

Kualitas webcam ditentukan oleh beberapa parameter seperti resolusi (misalnya 720p, 1080p, atau lebih tinggi), frame rate (jumlah gambar per detik, misalnya 30 FPS atau 60 FPS), dan kemampuan adaptasi terhadap pencahayaan rendah. Untuk aplikasi vision-based control seperti pengenalan gesture, webcam dengan resolusi tinggi dan frame rate tinggi sangat diperlukan agar pergerakan tangan dapat dideteksi secara akurat dan real-time (Zhou et al., 2020).

Dalam sistem yang mengintegrasikan webcam dengan perangkat lunak seperti OpenCV atau MediaPipe, webcam berfungsi sebagai sumber utama citra yang akan diolah. Citra atau video stream yang ditangkap webcam akan menjadi input untuk algoritma pengolahan citra seperti deteksi tepi, segmentasi objek, atau pelacakan gerakan. Webcam juga sering digunakan dalam closed-loop system, di mana citra dari webcam digunakan untuk memberikan feedback visual bagi sistem aktuator seperti lengan robot, sehingga tercipta sistem kendali visual otomatis (vision-based robotic control) (Szeliski, 2022).

Webcam memiliki keunggulan dari sisi ketersediaan dan kemudahan penggunaan, terutama karena sebagian besar komputer modern dan single-board computer seperti Jetson Orin Nano atau Raspberry Pi sudah mendukung koneksi webcam via USB. Dengan bantuan pustaka perangkat lunak seperti OpenCV, kamera ini dapat dengan mudah digunakan untuk menangkap citra, melakukan preprocessing, dan mengintegrasikan hasil pengolahan ke dalam aplikasi nyata seperti gesture recognition, face tracking, atau object detection (Bradski, 2000).

Namun demikian, webcam juga memiliki keterbatasan, seperti sensitivitas terhadap kondisi pencahayaan dan keterbatasan pada bidang pandang. Oleh karena itu, pada aplikasi yang membutuhkan ketelitian tinggi dalam berbagai kondisi pencahayaan, kadang digunakan kamera khusus seperti kamera inframerah atau depth camera. Namun untuk sebagian besar aplikasi pembelajaran mesin dan sistem robotika tingkat menengah, webcam masih merupakan pilihan ideal karena murah, fleksibel, dan cukup akurat (Gonzalez & Woods, 2018).

Dengan peran krusial sebagai sensor visual, webcam menjadi jembatan antara dunia fisik dan dunia digital, memungkinkan komputer untuk "melihat" dan merespons lingkungan. Dalam sistem kendali berbasis gesture, webcam bertindak sebagai mata sistem, mengamati pergerakan manusia dan mengirimkan data visual ke sistem pengolahan untuk diinterpretasikan menjadi perintah yang dapat dijalankan oleh perangkat robotik atau sistem digital lainnya.

3.6 Pycharm

PyCharm adalah Integrated Development Environment (IDE) yang dikembangkan oleh JetBrains khusus untuk bahasa pemrograman Python. Sebagai salah satu IDE paling populer di kalangan pengembang Python, PyCharm menyediakan berbagai fitur unggulan yang mendukung produktivitas dan kualitas kode, seperti *code completion* yang cerdas, *syntax highlighting*, refactoring otomatis, serta *debugger* interaktif yang memungkinkan developer melacak dan memperbaiki kesalahan secara efisien (JetBrains, 2022).

Salah satu keunggulan PyCharm adalah kemampuannya dalam mengelola *virtual environment*. *Virtual environment* memungkinkan setiap proyek memiliki lingkungan pengembangan terisolasi dengan dependensi dan library yang spesifik, sehingga meminimalisasi konflik antar proyek yang berbeda (Sharma & Singh, 2021). PyCharm memudahkan pengaturan ini melalui antarmuka yang user-friendly dan integrasi langsung dengan tool manajemen paket seperti pip dan conda.

Selain itu, PyCharm mendukung berbagai library dan *framework* penting di bidang pemrosesan citra dan pembelajaran mesin, seperti OpenCV untuk pengolahan gambar, MediaPipe untuk pelacakan pose dan gesture, NumPy untuk komputasi numerik, serta TensorFlow dan PyTorch untuk *deep learning*. Fitur auto-import, navigasi kode, dan analisis statis kode yang dimiliki PyCharm mempercepat proses pengembangan sekaligus mengurangi kesalahan sintaks dan logika (JetBrains, 2022).

Dalam konteks proyek berbasis pemrosesan citra dan robotika, PyCharm berperan penting dalam mengembangkan skrip pengenalan gesture, mengatur komunikasi serial dengan mikrokontroler (seperti Arduino atau Jetson Orin Nano), serta mengelola pipeline data secara terstruktur dan modular. Kemampuan *debugging* visual yang komprehensif membantu developer memantau proses real-time, seperti pembacaan kamera, deteksi landmark tangan, serta pengendalian servo motor berdasarkan input gesture, sehingga mempermudah identifikasi dan penyelesaian masalah selama pengembangan dan pengujian (Germain et al., 2020).

Lebih jauh, PyCharm juga mendukung integrasi dengan sistem version control seperti Git, memungkinkan kolaborasi tim dan manajemen revisi kode yang terorganisir dengan baik. Dengan berbagai *plugin* dan fitur yang terus diperbarui,

PyCharm tetap menjadi IDE andalan bagi pengembang Python, terutama dalam pengembangan aplikasi canggih berbasis AI, *computer vision*, dan robotika (JetBrains, 2022).

3.7 MediaPipe

MediaPipe adalah *framework* open-source yang dikembangkan oleh Google untuk pemrosesan dan analisis media berbasis data visual secara real-time. *Framework* ini didesain dengan arsitektur pipeline berbasis graph yang modular dan efisien, memungkinkan pengguna untuk membangun, menguji, dan menjalankan aplikasi pemrosesan media seperti pelacakan pose, deteksi wajah, dan pengenalan gesture secara cepat dan handal (Lugaresi et al., 2019).

Salah satu fitur unggulan MediaPipe adalah modul Hand Tracking, yang mampu mendeteksi dan melacak posisi tangan serta menghitung koordinat 21 titik landmark tangan dengan presisi tinggi. Titik-titik landmark tersebut meliputi ujung jari, persendian, dan bagian-bagian penting lain dari tangan, sehingga memungkinkan analisis posisi dan gerakan jari secara detail (Lugaresi et al., 2019). Dengan data landmark ini, MediaPipe dapat mengenali berbagai gesture tangan seperti "open hand", "fist", atau "pointing", yang sangat berguna dalam aplikasi human-computer interaction, augmented reality, dan robotika.

MediaPipe juga dapat diintegrasikan dengan OpenCV untuk menangkap dan memproses citra dari webcam atau kamera lain secara real-time. Selain itu, *framework* ini kompatibel dengan TensorFlow dan model machine learning lainnya untuk memperluas fungsi deteksi dan klasifikasi gesture yang lebih kompleks (Lugaresi et al., 2019; Vasiljevic, 2022). Keunggulan utama MediaPipe adalah kemampuannya untuk berjalan secara efisien di perangkat edge dengan sumber daya terbatas, seperti Jetson Orin Nano, sehingga memungkinkan aplikasi real-time yang responsif dan hemat energi.

Implementasi MediaPipe dalam pengenalan gesture membuka peluang besar untuk pengembangan sistem kendali robot, interaksi berbasis gesture, serta aplikasi dalam bidang kesehatan dan pendidikan yang membutuhkan interaksi alami tanpa sentuhan (Lugaresi et al., 2019; Zhou et al., 2020). Kombinasi antara pipeline modular MediaPipe dan dukungan hardware modern menjadikan *framework* ini

sangat ideal untuk berbagai aplikasi pengolahan citra dan visi komputer yang menuntut akurasi dan kecepatan tinggi.

3.8 OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) adalah pustaka perangkat lunak open-source yang sangat populer dan banyak digunakan dalam bidang *computer vision* dan pengolahan citra digital. Dikembangkan pertama kali oleh Intel pada tahun 1999 dan terus dikembangkan oleh komunitas global, OpenCV ditulis dengan bahasa pemrograman C++ yang efisien dan menyediakan binding untuk bahasa lain seperti Python, Java, dan MATLAB, sehingga dapat digunakan secara luas oleh berbagai kalangan pengembang (Bradski, 2000).

OpenCV menyediakan berbagai fungsi penting yang mendukung proses akuisisi gambar, manipulasi dan analisis citra, hingga ekstraksi fitur dan pengenalan pola. Fungsi-fungsi dasar seperti `cv2.VideoCapture()` digunakan untuk mengambil aliran video secara *real-time* dari berbagai sumber seperti webcam atau kamera IP. Proses preprocessing seperti konversi warna dengan `cv2.cvtColor()`, penghalusan citra, serta deteksi tepi menggunakan algoritma seperti Canny edge detection, dapat dilakukan dengan mudah dan cepat menggunakan OpenCV. Selain itu, fungsi `cv2.findContours()` digunakan untuk menemukan dan menganalisis kontur objek dalam gambar yang sangat berguna dalam segmentasi objek dan pengenalan bentuk (Bradski, 2000; Sonka, Hlavac, & Boyle, 2014).

Dalam konteks pengembangan robotic arm berbasis *gesture recognition*, OpenCV memainkan peranan kunci dalam mengelola pipeline pengolahan citra. OpenCV bertugas mengakuisisi citra dari webcam, melakukan preprocessing seperti filtering dan thresholding, serta menyiapkan data visual yang diperlukan oleh algoritma *gesture recognition* seperti MediaPipe. Setelah gesture dikenali, OpenCV juga dapat digunakan untuk menampilkan feedback visual berupa garis, kotak, atau teks pada tampilan video secara *real-time*, memberikan indikasi yang jelas mengenai hasil pengenalan gesture kepada pengguna (Bradski, 2000; Gonzalez & Woods, 2018).

Keunggulan OpenCV selain fleksibilitas dan kemudahan penggunaannya, adalah performa yang sangat cepat dan efisien sehingga mampu berjalan dengan

baik pada perangkat edge yang memiliki sumber daya terbatas, seperti Jetson Orin Nano. Hal ini memungkinkan pengembangan aplikasi vision-based robotik dengan respon cepat dan latensi rendah, yang penting untuk interaksi *real-time* antara manusia dan mesin (NVIDIA, 2023; Bradski, 2000).

OpenCV juga menyediakan modul-modul tambahan seperti dnn untuk *deep learning*, tracking untuk pelacakan objek, dan calib3d untuk kalibrasi kamera, yang sangat berguna untuk memperluas fungsi aplikasi vision computer yang kompleks dan canggih. Dukungan komunitas yang besar serta dokumentasi lengkap menjadikan OpenCV sebagai alat utama dalam riset maupun pengembangan aplikasi *computer vision* modern (Bradski, 2000; Sonka et al., 2014).



BAB IV

DESKRIPSI PEKERJAAN

4.1 Deskripsi Kerja Praktik

Dalam pelaksanaan Kerja Praktik ini, penulis mendapatkan tanggung jawab di bagian mekanik, yang berperan penting sebagai pondasi fisik dari keseluruhan sistem robotic arm berbasis *gesture recognition*. Fokus utama dari pekerjaan ini adalah melakukan perakitan struktur lengan robot dari komponen yang telah tersedia secara komersial (pre-made), menyusun dan mengintegrasikan bagian-bagian fisik menjadi satu sistem utuh yang siap dikendalikan secara digital.

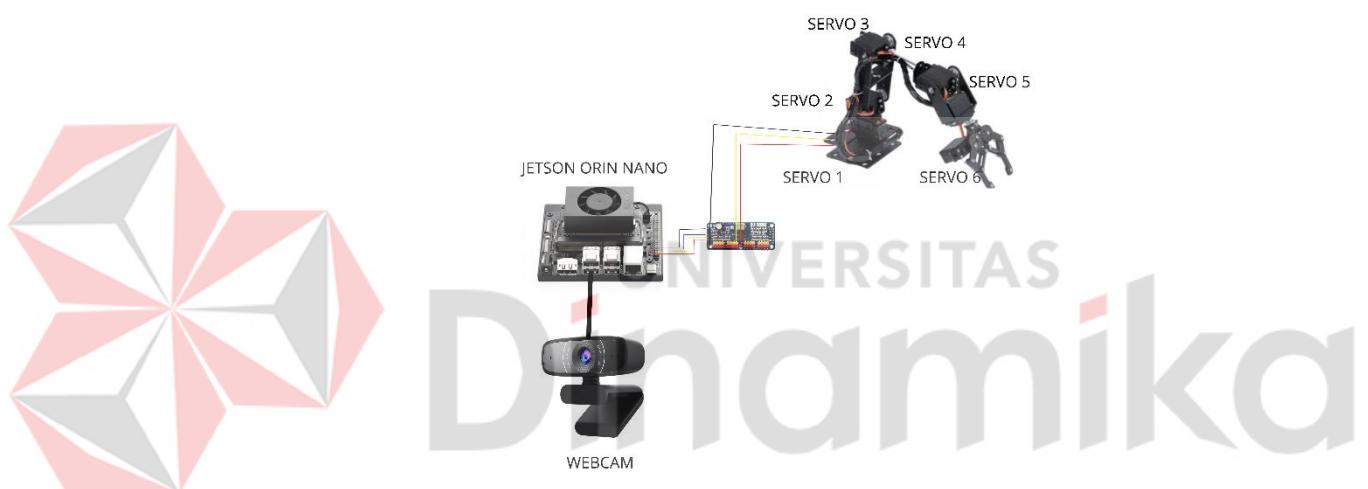
Struktur lengan robot yang digunakan merupakan kit robotic arm yang terdiri dari beberapa bagian seperti base (alas), shoulder (bahu), elbow (siku), wrist (pergelangan), dan gripper atau ujung penjepit. Komponen-komponen ini sudah tersedia dalam bentuk potongan jadi dan dilengkapi dengan lubang pemasangan. Tugas mekanik penulis meliputi merangkai bagian-bagian tersebut menggunakan baut, mur, dan bracket sesuai dengan petunjuk teknis atau referensi desain yang telah ditentukan. Dalam proses ini, penulis juga memastikan bahwa motor servo MG996R terpasang pada posisi yang sesuai dan orientasinya tepat terhadap bagian yang akan digerakkan.

Selain itu, pekerjaan mekanik juga mencakup pengaturan posisi dan dudukan komponen elektronik seperti driver servo PCA9685, modul Jetson Orin Nano, dan webcam. Meskipun komponen tersebut bukan bagian utama dari struktur mekanik, pemasangan fisiknya tetap menjadi tanggung jawab bagian mekanik, karena harus memastikan bahwa posisi komponen tidak mengganggu ruang gerak lengan robot, mudah diakses untuk keperluan pemrograman dan *debugging*, serta terpasang dengan stabil agar tidak mudah bergeser selama sistem bekerja.

Selanjutnya, dilakukan proses pengujian gerakan fisik, yaitu dengan menjalankan masing-masing servo motor menggunakan sinyal PWM untuk memastikan bahwa tidak ada bagian yang macet, tersangkut, atau mengalami gesekan yang tidak perlu. Uji coba ini juga bertujuan untuk menilai sejauh mana struktur mampu menahan beban dari motor saat lengan bergerak, terutama pada bagian base dan shoulder yang sering kali menanggung torsi terbesar.

4.2 Uraian Pekerjaan

Setelah menyelesaikan tahap perencanaan umum pada bagian sebelumnya, penulis melanjutkan kegiatan Kerja Praktik dengan melaksanakan berbagai tahapan teknis di bidang mekanik secara bertahap dan terstruktur. Seluruh proses difokuskan pada pencapaian hasil struktur robotic arm yang kuat, presisi, serta siap diintegrasikan dengan sistem pengenalan gesture secara *real-time*. Rangkaian pekerjaan mekanik dimulai dari tahap perancangan awal hingga pengujian sistem secara menyeluruh, dengan perhatian khusus terhadap aspek kekuatan sambungan, kestabilan gerak, serta kesesuaian antara bentuk fisik robot dengan perintah yang dihasilkan oleh sistem kendali berbasis citra.



Gambar 4. 1 Skematik Rangkaian

Secara keseluruhan, pekerjaan yang dilakukan pada bagian mekanik mencakup seluruh aspek penting dalam penyusunan fisik robotic arm, mulai dari perakitan hingga pengujian. Dengan pelaksanaan yang sistematis dan teliti, penulis berhasil memastikan bahwa struktur robotic arm tidak hanya berfungsi secara mekanik, tetapi juga siap untuk diintegrasikan dengan sistem *gesture recognition* yang akan mengendalikan seluruh gerakan robot secara visual.

4.2.1 Perancangan Struktur Lengan Robot

Meskipun struktur lengan robot yang digunakan dalam proyek ini berasal dari kit yang telah diproduksi secara komersial dan tidak dibuat dari nol, proses

perancangan dalam konteks Kerja Praktik tetap diperlukan untuk memahami susunan komponen, cara kerja mekanik antar bagian, dan bagaimana struktur ini akan diintegrasikan dengan komponen elektronik serta sistem kendali gesture. Dalam hal ini, "perancangan" lebih dimaknai sebagai proses perencanaan teknis dan strategis untuk menyusun lengan robot berdasarkan dokumentasi produk dan kebutuhan sistem yang dikembangkan.

Kit robotic arm yang digunakan umumnya terdiri dari beberapa bagian utama yang menyerupai struktur lengan manusia, yaitu *base* (bagian alas), *shoulder* (bahu), *elbow* (siku), dan *wrist* (pergelangan). Beberapa varian juga menyertakan *gripper* sebagai *end-effector*, yang berfungsi untuk menjepit atau memegang objek.



Gambar 4. 2 Proses Perakitan Robot arm

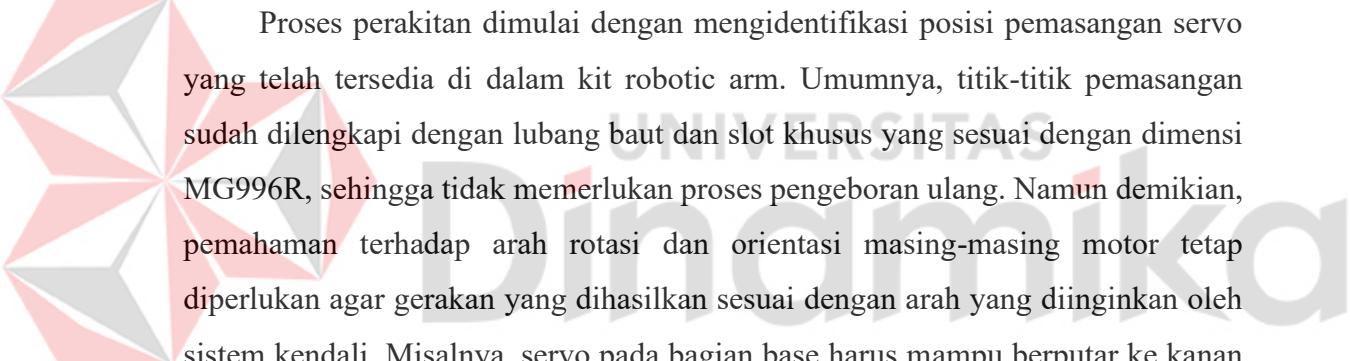
Dalam tahap ini, penulis juga melakukan pencocokan dimensi antar bagian. Walaupun komponen berasal dari satu kit, adakalanya diperlukan penyesuaian kecil, seperti mengencangkan sambungan, menambahkan *ring* atau *spacer*, serta memastikan bahwa sudut siku lengan dan panjang masing-masing segmen sesuai dengan ruang kerja yang dibutuhkan.

Dengan pendekatan ini, perancangan struktur lengan robot menjadi langkah awal yang sangat penting dalam menjamin keberhasilan sistem secara keseluruhan. Perakitan yang hanya mengikuti manual tanpa pemahaman mekanik mendalam akan menghasilkan sistem yang rapuh dan sulit diintegrasikan dengan perangkat

lunak pengendali. tahap ini tetap memerlukan kejelian teknis dan perencanaan logis agar hasil akhir sistem mekanik memenuhi standar fungsional dan stabil untuk digunakan dalam *gesture-controlled robotic arm*.

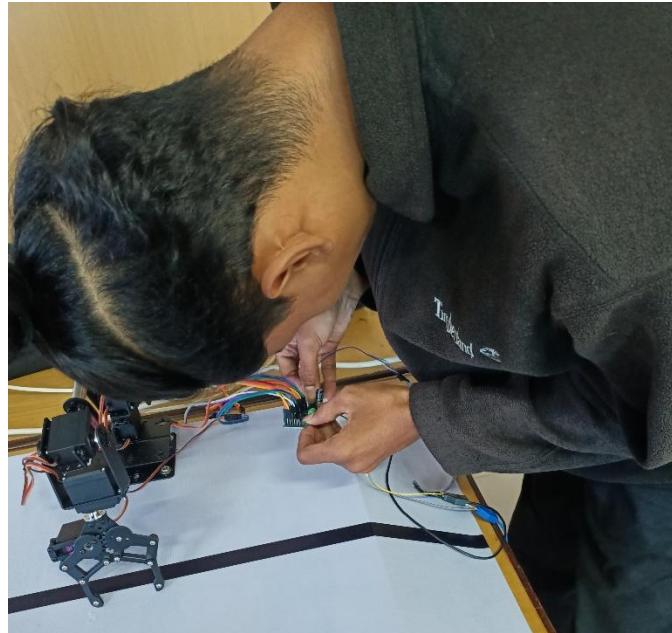
4.2.2 Perakitan Motor Servo MG996R

Setelah struktur lengan robot dalam kit disusun dan dirancang posisinya, tahap berikutnya adalah melakukan perakitan dan pemasangan aktuator utama yaitu motor servo MG996R. Motor ini menjadi komponen krusial dalam sistem robotic arm karena berfungsi untuk memberikan gerakan pada masing-masing sambungan (joint) sesuai perintah dari sistem kendali berbasis gesture. Peran penulis dalam tahap ini sangat penting untuk memastikan bahwa servo-servo tersebut tidak hanya terpasang secara fisik, tetapi juga terintegrasi secara mekanis dengan baik, aman, dan presisi.



Proses perakitan dimulai dengan mengidentifikasi posisi pemasangan servo yang telah tersedia di dalam kit robotic arm. Umumnya, titik-titik pemasangan sudah dilengkapi dengan lubang baut dan slot khusus yang sesuai dengan dimensi MG996R, sehingga tidak memerlukan proses pengeboran ulang. Namun demikian, pemahaman terhadap arah rotasi dan orientasi masing-masing motor tetap diperlukan agar gerakan yang dihasilkan sesuai dengan arah yang diinginkan oleh sistem kendali. Misalnya, servo pada bagian base harus mampu berputar ke kanan dan kiri, sedangkan servo pada elbow dan shoulder harus menghasilkan gerakan naik-turun yang menyerupai gerak lengan manusia.

Selanjutnya, motor servo dipasang ke struktur menggunakan baut dan mur kecil, serta braket tambahan jika diperlukan. Untuk sambungan utama seperti shoulder dan base yang menanggung beban lebih besar, digunakan baut logam yang lebih kuat dan dikencangkan menggunakan obeng atau tang untuk memastikan kestabilan. Selain itu, ditambahkan spacer atau ring penahan di beberapa titik sambungan untuk mencegah gesekan langsung antar bagian yang dapat menyebabkan keausan atau hambatan dalam gerakan. Penggunaan washer juga membantu menstabilkan baut agar tidak mudah longgar saat servo bekerja terus-menerus.



Gambar 4. 3 Pemasangan Kabel Servo Ke PCA9685

Selama proses pemasangan, penulis juga memperhatikan rute kabel power dan sinyal dari masing-masing servo, agar tidak terjepit atau tertarik ketika struktur lengan bergerak. Kabel disusun mengikuti rangka dan ditahan menggunakan zip tie agar tidak menghalangi rotasi atau tertarik secara tidak sengaja. Hal ini penting untuk menjaga keawetan kabel dan mencegah terjadinya hubungan pendek (short circuit) akibat gesekan atau tarikan kabel saat servo aktif.

Selain pemasangan fisik, dilakukan pula pengujian awal tiap servo setelah terpasang, menggunakan sinyal PWM statis untuk mengecek apakah motor berfungsi dengan benar, tidak bergetar secara berlebihan, dan mampu memutar sambungan sesuai rentang sudut yang diharapkan. Jika ditemukan bahwa sambungan terlalu longgar atau sebaliknya terlalu kaku, maka dilakukan penyetelan ulang posisi baut atau penambahan bantalan tambahan agar gerakan menjadi lebih halus.

Secara keseluruhan, tahap perakitan motor servo MG996R merupakan tahap yang memerlukan ketelitian tinggi. Kesalahan sekecil apa pun dalam orientasi, pengencangan sambungan, atau rute kabel dapat berdampak langsung pada kinerja lengan robot secara keseluruhan. Dengan pemasangan yang tepat, struktur robotic arm menjadi responsif terhadap sinyal kendali dan mampu bergerak secara akurat dalam merespons gesture tangan pengguna yang dikenali oleh sistem vision

berbasis MediaPipe dan OpenCV.

4.2.3 Kalibrasi Posisi Awal

Setelah proses perakitan seluruh komponen mekanik dan motor servo selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah melakukan kalibrasi posisi awal pada semua motor servo yang terpasang. Kalibrasi ini bertujuan untuk menyamakan titik awal gerakan masing-masing servo agar sesuai dengan rancangan sistem kontrol. Tanpa adanya kalibrasi, kemungkinan besar lengan robot akan bergerak secara tidak terkontrol ketika sistem pertama kali dinyalakan, yang tidak hanya dapat menimbulkan kerusakan pada komponen mekanik, tetapi juga mengganggu stabilitas gerak dan akurasi kontrol sistem secara keseluruhan.

```

servo_channels = [2, 4, 6, 8, 10, 15]

def angle_to_pwm(angle):
    pulse_us = int((angle / 180.0) * 2000)
    + 500
    return int(pulse_us * 4096 / 20000)

# Gerakkan ke 90 derajat
for ch in servo_channels:
    pca.channels[ch].duty_cycle =
angle_to_pwm(90)

```

Program diatas adalah perintah untuk mengkalibrasi seluruh servo ke posisi awal yaitu 90 derajat, Fungsi *angle_to_pwm* digunakan untuk mengonversi sudut dalam derajat (0–180°) menjadi nilai duty cycle dalam format 12-bit (0–4095), yang dibutuhkan oleh modul PCA9685 agar dapat mengendalikan posisi servo dengan tepat.

4.2.4 Pengujian Sistem

Pada tahap pengujian, dilakukan integrasi antara sistem pemrosesan citra tangan menggunakan MediaPipe dengan kendali gerakan enam motor servo pada robotic arm melalui modul PCA9685. Program yang digunakan berfungsi untuk membaca posisi tangan pengguna secara real-time melalui webcam, mendeteksi gesture tertentu (seperti "Open", "Grip", "Start", dan "Reset"), serta menerjemahkannya menjadi perintah gerakan servo. Pengujian dilakukan dengan menyalakan program dan memastikan bahwa saat gesture "Start" terdeteksi, sistem

mulai merespons secara aktif terhadap pergerakan tangan pengguna. Gesture "Grip" akan menyebabkan gripper menutup, sementara "Open" membuka gripper, dan "Reset" mengembalikan seluruh servo ke posisi awal yang telah dikalibrasi.

Dalam potongan program diatas berfungsi untuk memetakan fungsi deteksi gesture tangan, posisi tangan dihitung berdasarkan koordinat landmark pergelangan tangan (wrist) dan jari-jari yang dikenali oleh MediaPipe. Nilai posisi tersebut

```

# Gesture: Open Hand
if (index_tip.y < index_mcp.y and middle_tip.y < middle_mcp.y
and
    ring_tip.y < ring_mcp.y and pinky_tip.y < pinky_mcp.y):
    return "Open"

# Gesture: Grip (Fist)
if (index_tip.y > index_mcp.y and middle_tip.y > middle_mcp.y
and
    ring_tip.y > ring_mcp.y and pinky_tip.y > pinky_mcp.y):
    return "Grip"

# Gesture: OK
if (thumb_index_dist < 0.05 and
    middle_tip.y < middle_mcp.y and
    ring_tip.y < ring_mcp.y and
    pinky_tip.y < pinky_mcp.y and mulai == 0):
    return "Start"

# Reset (metal sign)
if (index_tip.y < index_mcp.y and
    pinky_tip.y < pinky_mcp.y and
    middle_tip.y > middle_mcp.y and
    ring_tip.y > ring_mcp.y):
    return "Reset"

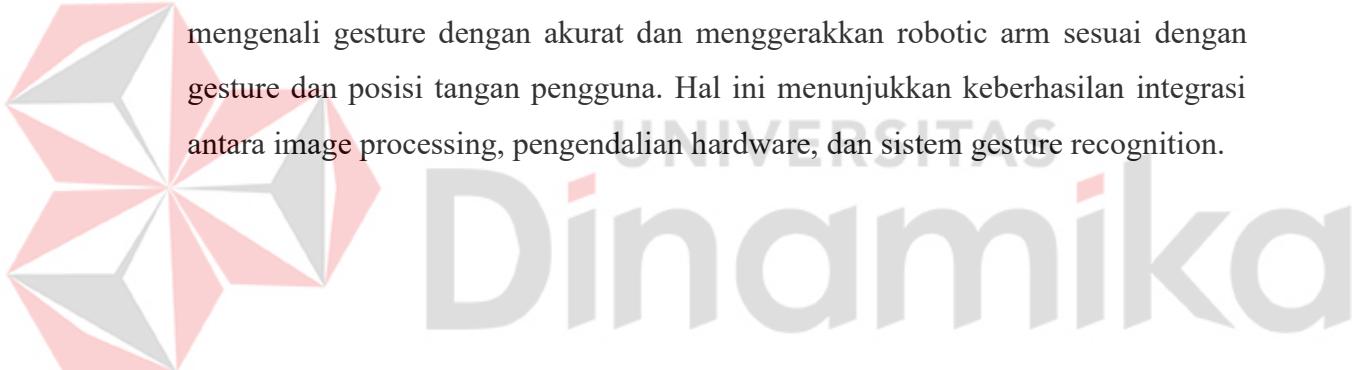
return "Unknown"

```

kemudian dikonversi menjadi sudut servo dengan logika tertentu, seperti rotasi telapak tangan untuk mengontrol servo pergelangan putar, serta tinggi posisi tangan untuk menggerakkan sumbu Y dan Z.

```
if gesture == "Grip" and mulai == 1:
    set_servo_angle(15, 100)
elif gesture == "Open" and mulai == 1:
    set_servo_angle(15, 30)
elif gesture == "Reset":
    set_servo_angle(2, 90)    # Servo 5 Pergelangan Putar
    set_servo_angle(4, 180)   # Servo 4 Pergelangan Naik Turun
    set_servo_angle(6, 45)    # Servo 2 Z Jauh Dekat
    set_servo_angle(8, 30)    # Servo 3 Y Naik Turun
    set_servo_angle(10, 90)   # Servo 1 X Kanan Kiri
    mulai = 0
elif gesture == "Start":
    mulai = 1
```

Program diatas berfungsi untuk proses kontrol gerakan robot berdasarkan deteksi gesture tangan dan posisi tangan pengguna. Selain itu, smoothing melalui filter low-pass juga diterapkan untuk menghasilkan gerakan yang lebih stabil dan tidak terlalu responsif terhadap fluktuasi kecil. Dari hasil pengujian, sistem dapat mengenali gesture dengan akurat dan menggerakkan robotic arm sesuai dengan gesture dan posisi tangan pengguna. Hal ini menunjukkan keberhasilan integrasi antara image processing, pengendalian hardware, dan sistem gesture recognition.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan kegiatan Kerja Praktik yang telah dilaksanakan pada bagian mekanik, dapat disimpulkan bahwa proses perakitan struktur robotic arm dengan komponen kit siap pakai berhasil dilakukan dengan baik dan memenuhi spesifikasi teknis yang dibutuhkan dalam sistem kendali berbasis gesture. Seluruh tahapan pekerjaan mulai dari perencanaan struktur, pemasangan motor servo MG996R, penataan modul elektronik, hingga pengujian gerakan dan beban telah dilaksanakan secara sistematis, presisi, dan penuh kehati-hatian.

Struktur lengan robot berhasil dirakit dengan stabil, kuat, dan fungsional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua sambungan dapat bergerak dengan lancar sesuai dengan rentang sudut yang dirancang, serta mampu menahan beban dalam batas wajar tanpa mengalami deformasi atau ketidakstabilan. Sistem juga telah menunjukkan respons yang baik terhadap kendali servo secara individu maupun simultan, dengan sinkronisasi gerakan yang solid dan minim gangguan mekanik.

Dari sisi penataan, modul elektronik seperti Jetson Orin Nano, PCA9685, dan webcam berhasil dipasang pada posisi yang strategis dan tidak mengganggu pergerakan mekanis. Manajemen kabel yang baik turut mendukung keamanan dan estetika sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, bagian mekanik telah memberikan fondasi struktural yang siap untuk mendukung integrasi penuh dengan sistem pengenalan gesture yang dikembangkan secara visual melalui MediaPipe dan OpenCV.

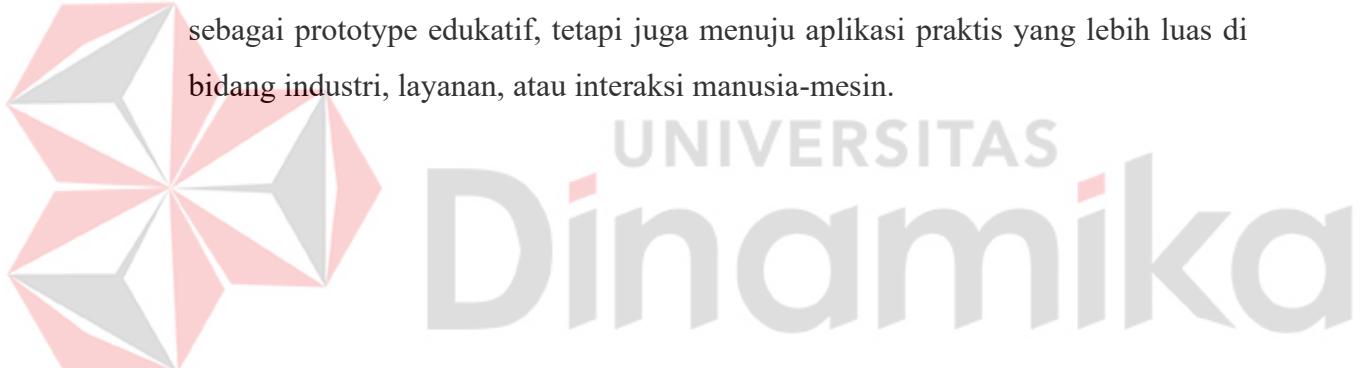
5.2 Saran

Sebagai bentuk evaluasi dan perbaikan berkelanjutan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan pada pengembangan sistem selanjutnya:

1. **Penguatan Struktur:** Untuk meningkatkan daya tahan terhadap beban lebih besar, disarankan agar rangka atau sambungan utama (terutama pada bagian shoulder dan base) diperkuat dengan braket tambahan atau menggunakan

- bahan logam yang lebih kokoh.
2. Pendinginan Aktif: Mengingat motor servo MG996R menghasilkan panas saat beroperasi dalam waktu lama, akan lebih baik jika sistem dilengkapi dengan kipas pendingin atau heatsink tambahan pada bagian servo atau modul utama seperti Jetson Orin Nano.
 3. Dudukan Modular: Penggunaan dudukan modul elektronik berbasis rel atau sistem geser dapat mempermudah penggantian komponen dan pengembangan sistem di masa mendatang tanpa membongkar keseluruhan struktur.
 4. Integrasi Kamera yang Fleksibel: Disarankan penggunaan kamera dengan lengan fleksibel atau mekanisme pengatur sudut agar sistem pengenalan gesture dapat lebih adaptif terhadap posisi pengguna yang berbeda-beda.

Dengan memperhatikan saran-saran tersebut, diharapkan sistem robotic arm berbasis *gesture recognition* ini dapat dikembangkan lebih lanjut tidak hanya sebagai prototype edukatif, tetapi juga menuju aplikasi praktis yang lebih luas di bidang industri, layanan, atau interaksi manusia-mesin.



DAFTAR PUSTAKA

- Bradski, G. (2000). The OpenCV Library. Dr. Dobb's Journal of Software Tools.
- Craig, J. J. (2005). Introduction to Robotics: Mechanics and Control (3rd ed.). Pearson.
- Germain, P., Martin, J., & Lopez, D. (2020). Debugging real-time computer vision applications: A case study with PyCharm. *Journal of Software Engineering Research and Development*, 8(1), 12-23. <https://doi.org/10.1186/s40411-020-00112-5>
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). Digital Image Processing (4th ed.). Pearson.
- JetBrains. (2022). PyCharm Documentation. JetBrains. Retrieved from <https://www.jetbrains.com/pycharm/documentation/>
- Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., et al. (2019). MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. arXiv preprint arXiv:1906.08172. <https://arxiv.org/abs/1906.08172>
- Nixon, M. S., Aguado, A. S., & Aguado, A. S. (2019). Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision (4th ed.). Academic Press.
- NXP Semiconductors. (2021). PCA9685 - 16-channel, 12-bit PWM Fm+ I2C-bus LED controller. Retrieved from <https://www.nxp.com/docs/en/datasheet/PCA9685.pdf>
- NVIDIA. (2023). Jetson Orin Nano Developer Kit Datasheet. NVIDIA Corporation. Retrieved from <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-orin-nano>
- Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., & Oriolo, G. (2010). Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer.
- Sharma, V., & Singh, R. (2021). Virtual environments for Python development: Best practices and tools. *International Journal of Computer Applications*, 174(7), 45-52. <https://doi.org/10.5120/ijca2021921283>
- Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2014). Image Processing, Analysis, and Machine Vision (4th ed.). Cengage Learning.
- Tower Pro. (2019). MG996R High Torque Metal Gear Digital Servo Specification. Retrieved from <http://www.towerpro.com.tw/product/mg996r/>

Vasiljevic, I. (2022). MediaPipe Hands: Real-time Hand Tracking and Gesture Recognition. Google AI Blog. Retrieved from <https://google.github.io/mediapipe/solutions/hands.html>

Zhou, X., Zhang, W., Wei, X., & Xu, Y. (2020). Hand gesture recognition using depth information for smart human–machine interface. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 67, 102742. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2019.102742>

