

TUGAS AKHIR

IMPLEMENTASI SISTEM PENGENDALI LENGAN ROBOT 3 DOF BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

RAHMAD DAFFA FAUZAN
2107230009



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rahmad Daffa Fauzan
NPM : 2107230009
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Implementasi Sistem Pengendali Lengan Robot 3 DoF
Berbasis *Internet of Things*
Bidang ilmu : Konversi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 08 September 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Chandra A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

Dosen Penguji III



Dr. Khairul Umurani S.T., M.T

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Chandra A Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Rahmad Daffa Fauzan
Tempat/Tanggal lahir : Medan/28 Oktober 2003
NPM : 2107230009
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“IMPLEMENTASI SISTEM PENGENDALI LENGAN ROBOT 3 DOF BERBASIS *INTERNET OF THINGS*”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik

Bila dikemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 08 September 2025

Saya yang menyatakan



Rahmad Daffa Fauzan

ABSTRAK

Otomasi berbasis *Internet of Things (IoT)* semakin dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi, termasuk pada skala laboratorium maupun UMKM. Salah satu implementasinya adalah perancangan lengan robot 3 DOF yang dikendalikan melalui mikrokontroler ESP32 dan platform Blynk. Sistem diuji dengan variasi beban, kondisi jaringan *WiFi*, serta gerakan horizontal dan vertikal, dengan parameter meliputi latensi, waktu eksekusi, konsumsi arus, dan tingkat keberhasilan gerakan. Hasil pengujian menunjukkan latensi sangat bergantung pada kualitas jaringan. Pada koneksi stabil, waktu respon berkisar 0,5–0,9 detik, sedangkan pada sinyal lemah meningkat lebih dari 1 detik dengan kemungkinan kegagalan perintah. Lengan robot bekerja optimal pada beban ringan hingga menengah, khususnya gerakan horizontal dengan *success rate* hampir 100%, namun performa menurun pada gerakan vertikal dengan beban lebih besar akibat keterbatasan torsi servo. Temuan ini menegaskan potensi ESP32 dan Blynk sebagai solusi kendali robotik sederhana yang andal untuk tugas ringan, meskipun pengembangan lanjutan diperlukan agar lebih adaptif terhadap beban berat dan jaringan tidak stabil.

Kata kunci: Lengan robot, sistem, *IoT*

ABSTRACT

The demand for Internet of Things (IoT)-based automation is increasing to improve efficiency, both at the laboratory scale and within small and medium enterprises (SMEs). One of its implementations is the design of a 3-DOF robotic arm controlled through an ESP32 microcontroller and the Blynk platform. The system was tested under various loads, Wi-Fi network conditions, as well as horizontal and vertical movements, with parameters including latency, execution time, current consumption, and movement success rate. The test results show that latency is highly dependent on network quality. Under stable connections, the response time ranged from 0.5 to 0.9 seconds, while under weak signals it increased to more than 1 second, with a higher probability of command failure. The robotic arm performed optimally with light to medium loads, particularly in horizontal movements with a success rate of nearly 100%, but performance decreased in vertical movements with heavier loads due to servo torque limitations. These findings highlight the potential of ESP32 and Blynk as a reliable solution for simple robotic control in light-duty tasks, although further development is needed to enhance adaptability to heavier loads and unstable networks.

Keywords: *Robotic arm, system, IoT*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dengan judul “Implementasi Sistem Pengendali Lengan Robot 3 DoF Berbasis *Internet of Things*”.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Khairul Umurani, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah mengarahkan, mendukung dan membantu penulis selama proses penyusunan tugas akhir.
2. Bapak Chandra Amirsyah Putra Siregar, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
6. Orang tua yang sudah selalu memberikan doa-doa hebat agar penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik dan tepat waktu.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Sahabat - sahabat penulis: Galih Jati Wicaksono, Ahmad Firman Erwin, Rama Bayu Pranoto, Ajay Ferdianata, Muhammad Abid Azhan, Muhammad Dicky, Rama Afrian dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 08 September 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Rahmad Daffa Fauzan', written in a cursive style.

Rahmad Daffa Fauzan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Robot	4
2.1.1 Robot Manipulator	5
2.1.2 Robot Humanoid	5
2.1.3 Robot <i>Mobile</i>	6
2.2 Lengan Robot	6
2.2.1 Penghubung (<i>Link</i>)	8
2.2.2 Sendi (<i>Joint</i>)	8
2.2.3 <i>End Effector</i>	10
2.2.4 Penggerak (<i>Actuator</i>)	10
2.2.5 Pengendali (<i>controller</i>)	11
2.3 <i>Degree of Freedom</i> (DOF)	11
2.4 Sistem Kendali	13
2.5 Teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT)	14
2.5.1 NodeMCU ESP32	14
2.5.2 Platform integrasi Blynk	16
2.6 Bahasa Pemrograman C++	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	20
3.1 Tempat dan Waktu	20
3.1.1 Tempat Penelitian	20
3.1.2 Waktu Penelitian	20
3.2 Bahan dan Alat	20
3.2.1 Bahan Penelitian	20
3.2.2 Alat Penelitian	22
3.3 Bagan Alir Penelitian	26
3.4 Alur Konfigurasi Perangkat Lunak	27
3.5 Rancangan Alat Penelitian	28
3.6 Prosedur Penelitian	28
3.7 Parameter Uji Penelitian	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Pengujian	31
4.1.1 Hasil Perancangan Program	31
4.1.2 Hasil Pengujian Latensi Lengan Robot	32

4.2	Pembahasan	35
4.2.1	Pengaruh Latensi Blynk terhadap Kinerja Sistem.	35
4.2.2	Evaluasi Kinerja Lengan Robot pada berbagai Kondisi Gerakan	37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA		42
LAMPIRAN		45
LEMBAR ASISTENSI		
SK PEMBIMBING		
BERITA ACARA SEMINAR HASIL		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu kegiatan penelitian	19
Tabel 4.1 Hasil pengujian latensi pada Servo 1	31
Tabel 4.2 Hasil pengujian latensi pada Servo 2	32
Tabel 4.3 Hasil pengujian latensi pada Servo 3	32
Tabel 4.4 Hasil pengujian latensi pada Servo 4	32
Tabel 4.5 Hasil pengujian gerakan angkat 90° dengan variasi beban	33
Tabel 4.6 Hasil uji kinerja lengan robot skenario <i>Pick and Place</i> (A → B)	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Robot lengan	4
Gambar 2.2 Robot manipulator	5
Gambar 2.3 Robot <i>humanoid</i>	6
Gambar 2.4 Robot <i>mobile</i>	6
Gambar 2.5 Lengan robot 3 DOF	7
Gambar 2.6 Penghubung (<i>link</i>)	8
Gambar 2.7 Sendi putar (<i>revolute joint</i>)	9
Gambar 2.8 Sendi geser (<i>prismatic joint</i>)	9
Gambar 2.9 Sambungan bola (<i>spherical joint</i>)	10
Gambar 2.10 <i>Gripper (end effector)</i>	10
Gambar 2.11 Arah sumbu gerak tranlasi (a) dan arah sumbu gerak rotasi (b)	12
Gambar 2.12 Konsep loop terbuka (<i>open loop control</i>)	14
Gambar 2.13 Pemograman pada Arduino IDE	19
Gambar 3.1 <i>Filament PLA+</i>	21
Gambar 3.2 Kabel <i>jumper</i>	21
Gambar 3.3 Bantalan (<i>bearing</i>)	22
Gambar 3.4 Pin ESP32	22
Gambar 3.5 ESP32 <i>Expansion Board</i>	23
Gambar 3.6 Motor servo	23
Gambar 3.7 <i>Printer 3D</i>	23
Gambar 3.8 Jangka sorong	24
Gambar 3.9 Watt meter digital	24
Gambar 3.10 Meteran	25
Gambar 3.11 Tata letak tampilan Blynk	24
Gambar 3.12 <i>Flowchart</i> penelitian	27
Gambar 3.13 <i>Flowchart</i> konfigurasi perangkat lunak	27
Gambar 3.14 Desain lengan robot 3 DoF berbasis IoT	28
Gambar 4.1 Grafik hasil uji rata-rata latensi servo dalam jarak 1 meter	35
Gambar 4.2 Grafik hasil uji rata-rata latensi servo dalam jarak 3 meter	36
Gambar 4.3 Grafik hasil uji rata-rata waktu latensi dalam jarak 5 meter	36
Gambar 4.4 Grafik hasil uji ketinggian (h) terhadap kuat arus (I) pada skenario <i>pick and place</i>	37
Gambar 4.5 Grafik hasil uji ketinggian (h) terhadap kuat arus (I) pada skenario angkat 90°	37
Gambar 4.6 Grafik tingkat keberhasilan pengangkatan beban secara horizontal dan vertikal	38

DAFTAR NOTASI

t_1	= Waktu awal (s)
t_2	= Waktu akhir (s)
Δt	= Waktu delay (s)
W	= Beban (g)
P	= Daya listrik (kWH)
m	= Jarak (meter)
h	= Ketinggian (cm)
I	= Kuat arus (A)
T_t	= <i>Total time</i> (s)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bidang industri modern saat ini tidak dapat dilepaskan dari perkembangan teknologi seperti digitalisasi yang meningkatkan otomatisasi pekerjaan. Menurut Bechinie et al., tingginya tingkat otomatisasi dalam bidang manufaktur merupakan hasil dari perkembangan teknologi dari waktu ke waktu (Bechinie et al., 2024). Perkembangan ini membawa beragam inovasi, salah satunya yaitu inovasi lengan robotik yang terjadi dalam bidang manufaktur yang terbukti telah memberikan dukungan dan manfaat seperti meningkatkan kualitas produk, mempercepat siklus produksi dan juga meningkatkan produktivitas secara keseluruhan (Adekola Adebayo et al., 2024). Selain itu, teknologi robotik juga mampu mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia dalam pekerjaan yang berulang dan berisiko tinggi.

Salah satu hal penting dalam mendesain sebuah lengan robot ialah *Degree of Freedom* (DOF), aspek ini mengacu pada jumlah gerakan bebas yang dapat dilakukan oleh sebuah sistem berupa lengan robot. Lengan robot umumnya hanya memiliki satu tangan yang dirancang menyerupai tangan manusia, dengan fungsi utama untuk memegang, memindahkan, atau memanipulasi objek (Uchrowi et al., 2019). DOF memiliki peran penting dalam menentukan kemampuan tingkat fleksibilitas lengan robot untuk menjalankan suatu perintah tugas. Konfigurasi dalam menentukan DOF merupakan hal penting serta harus sesuai untuk aplikasi yang ingin dilaksanakan, seperti mengambil atau memindahkan suatu benda dengan jarak yang terbatas. Lengan robot dengan 3 DOF mampu bergerak tiga arah sumbu, meliputi horizontal, vertikal dan manipulasi melalui *end effector* berupa *gripper*. Dengan adanya integrasi teknologi berupa *Internet of Things* (IoT) kemampuan lengan robot untuk diaplikasikan akan berguna untuk meningkatkan efisiensi dan kendali dalam operasional. Oleh karena itu, disebutkan dalam penelitian Krejčí et al., bahwa terdapat beberapa tantangan

dalam mengaplikasikan lengan robot pada industri seperti lengan robot yang tidak terintegrasi dengan fitur *Internet of Things* (IoT) memiliki keterbatasan dalam komunikasinya dengan pengguna. Selain itu, lengan robot tanpa integrasi IoT juga tidak memiliki kemampuan untuk pengawasan secara *realtime* dan pengguna akan mengalami kesulitan untuk mengoperasikan sistem dalam jarak jauh (Krejčí et al., 2024). Maka dari itu, dalam penelitian ini lengan robot akan diintegrasikan dengan sistem kendali berbasis IoT untuk mengatasi keterbatasan lengan robot yang terjadi pada penelitian sebelumnya.

Sistem kendali lengan robot berbasis IoT memungkinkan pengendalian robot dari jarak jauh dengan lebih fleksibel dan efisien. Teknologi ini memungkinkan operator untuk memantau dan mengendalikan robot secara real-time tanpa harus berada di lokasi yang sama. IoT juga berperan dalam pengendalian robot tanpa keterlibatan manusia secara langsung sehingga dapat meningkatkan efisiensi komunikasi antara manusia dan mesin (Kareemullah et al., 2023). Dengan integrasi IoT, komunikasi antara manusia dan mesin dapat berjalan lebih lancar melalui pengiriman data yang cepat dan akurat. Hal ini membuat sistem robotik lebih responsif terhadap perubahan kondisi dan perintah yang diberikan. Selain itu, kemampuan pemantauan jarak jauh ini mendukung pengendalian yang lebih aman, terutama untuk pengaplikasian robot yang beroperasi di lingkungan yang berbahaya atau sulit dijangkau.

1.2 Rumusan Masalah

Seiring dengan kemajuan teknologi dan meningkatnya tuntutan pasar, industri menghadapi tantangan untuk meningkatkan otomatisasi dan mengurangi keterlibatan manual dalam proses produksi. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendali yang dapat meningkatkan efisiensi, fleksibilitas, dan produktivitas proses produksi dalam bidang industri. Maka, bagaimana cara merancang dan mengimplementasikan sistem kendali lengan robot yang efektif menggunakan teknologi IoT?

1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

7. Lengan robot yang digunakan dalam penelitian ini merupakan lengan robot dengan spesifikasi 3 DOF.
8. Sistem kendali dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dihubungkan dengan internet dan diintegrasikan dengan antarmuka Blynk.
9. Lingkup pengujian dilakukan dalam simulasi lingkungan industri berskala kecil dengan fokus pada latensi, akurasi gerakan serta realibilitas lengan robot.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan umum:

Untuk merancang dan mengimplementasikan sistem IoT pada robot lengan.

Tujuan Khusus:

1. Untuk merancang sistem kendali robot lengan berbasis IoT.
2. Untuk mengevaluasi sistem kendali robot lengan berbasis IoT.

1.5 Manfaat Penelitian

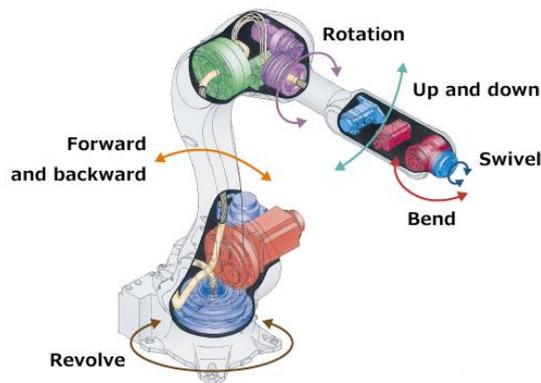
Penelitian ini diharapkan dapat memudahkan berbagai pekerjaan di bidang industri. Sistem kendali lengan robot yang dapat dioperasikan dari jarak jauh memungkinkan peningkatan efisiensi dan fleksibilitas dalam proses produksi. Selain itu, teknologi berbasis IoT yang diterapkan memungkinkan pemantauan dan pengendalian yang terintegrasi. Penelitian ini juga berpotensi mendukung otomatisasi proses industri sehingga pekerjaan dapat diselesaikan dengan efektif dan efisien.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Robot

Asal usul istilah robot diserap dari bahasa Ceko yang berasal dari kata “*robota*” yang memiliki arti pekerja berat atau kerja paksa. Istilah ini pertama kali diperkenalkan oleh seorang penulis asal Ceko, Karel Čapek melalui karyanya yang berjudul “R.U.R”: *Rossum’s Universal Robots*” pada tahun 1920. Definisi awal robot merujuk pada segala jenis perangkat otomatis yang dirancang untuk menggantikan fungsi dan tugas yang dilakukan oleh manusia (Didi et al., 2015). Namun dalam perkembangan zaman yang pesat, pemahaman mengenai robot juga berkembang menjadi lebih kompleks, robot seperti pada Gambar 2.1 kini diartikan sebagai manipulator yang dapat diprogram serta diaplikasikan untuk menggantikan tugas-tugas tertentu dengan hasil tingkat presisi tinggi dan efisiensi dalam pengerjaan. Pada saat ini, definisi robot secara umum dapat diartikan sebagai suatu sistem yang dioperasikan dan dikendalikan berdasarkan proses pemrograman yang telah diinstal pada mikrokontroler agar bisa merespons berbagai perintah serta situasi yang dibedani (Dewallai & Pessi, 2024).



Gambar 2.1 Robot lengan (Robots, 2023)

Seiring dengan kemajuan teknologi seperti *chipset* pada komputer dan *smartphone* berbasis *Android/iOS* yang dilengkapi dengan sistem operasi yang terhubung dengan jaringan nirkabel, terintegrasi dengan konsep IoT meningkatkan potensi robot dapat dikendalikan melalui perangkat *mobile*

sehingga robot dapat disesuaikan dengan keinginan pengguna untuk meningkatkan kontrol, efisiensi serta fleksibilitas dalam pengoperasian. Robot sangat efektif dalam menggantikan peran manusia dalam bidang pekerjaan yang berbahaya, memiliki resiko tinggi dan memerlukan tingkat akurasi yang tinggi. Salah satu jenis robot yang sering digunakan dalam bidang industri ialah lengan robot, yang umumnya terdiri dari beberapa bagian, yaitu *base*, *link*, *joint* dan *end effector*. (Faiq et al., 2022). Beragam operasi yang dapat dilakukan oleh robot untuk memenuhi kebutuhan dan beradaptasi dengan manusia di berbagai bidang, menjadikan robot terbagi dalam berbagai macam konstruksi. Robot terbagi dalam beberapa konstruksi, sebagai berikut:

2.1.1 Robot Manipulator

Robot manipulator atau bisa disebut lengan robot, terdiri dari serangkaian komponen yang memungkinkan robot untuk bergerak ke berbagai arah sumbu. Robot manipulator seperti pada Gambar 2.2 banyak ditemukan di berbagai sektor industri, seperti manufaktur, otomotif, elektrik yang memerlukan tingkat efisiensi dan akurasi tinggi. Berbagai jenis konfigurasi derajat kebebasan robot manipulator dapat dirancang untuk menangani tugas yang bervariasi seperti memanipulasi termasuk mengangkat, menindahkan dan menggenggam objek berat.



Gambar 2.2 Robot manipulator (Mabi Robo, 2024)

2.1.2 Robot Humanoid

Robot *humanoid* seperti Gambar 2.3 merupakan jenis robot yang dirancang untuk menyerupai bentuk tubuh dan gerakan manusia. Keseimbangan pada robot *humanoid* merupakan elemen penting agar robot

dapat berjalan stabil layaknya manusia (Ilyasaa et al., 2023). Pengaplikasiannya juga sangat beragam, dapat berperan sebagai pelayan restoran, hingga penelitian medis dan pelatihan.



Gambar 2.3 Robot *humanoid* (Siddiq, 2018)

2.1.3 Robot *Mobile*

Robot *mobile* merupakan robot yang dapat berpindah ke berbagai titik koordinat, memiliki ciri-ciri dengan penggunaan roda sebagai aktuator. Robot *mobile* seperti pada Gambar 2.4 dirancang agar dapat bergerak bebas di berbagai medan. Robot jenis ini memerlukan navigasi yang dapat diatur melalui sistem otomatis atau secara manual melalui operator. Dalam proses navigasi, jenis sensor yang digunakan pada robot *mobile* merupakan aspek yang sangat perlu di perhatikan (Nasution et al., 2022). Robot jenis ini biasa diaplikasikan pada eksplorasi ruang angkasa seperti robot penjelajah mars, tugas pembersih lantai (*vacuum cleaner*) dan layanan pengiriman logistik.

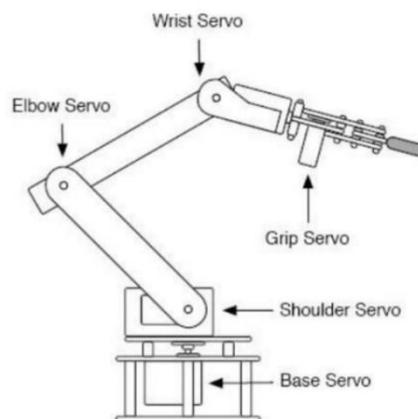


Gambar 2.4 Robot *mobile* (Teknologi, 2025)

2.2 Lengan Robot

Robot lengan atau dalam dunia robotik biasa disebut robot manipulator, merupakan jenis lengan mekanik yang diprogram untuk menjalankan fungsi yang sama dengan lengan manusia (Irwan & Y, 2022). Lengan robot seperti pada Gambar 2.5 merupakan salah satu jenis robot yang paling umum digunakan dalam dunia industri. Lengan robot terdiri dari berbagai sistem mekanik yang meliputi

penyangga (*base*), kerangka (*link*), sambungan (*joint*), dan manipulator (*end effector*). Robot lengan dirancang untuk melakukan gerakan dan fungsi yang sama seperti lengan manusia dengan kelebihan menghemat waktu serta menghasilkan hasil presisi tinggi dan melakukan pekerjaan secara berulang, seperti pengelasan, perakitan komponen, pengecatan dan lain-lain. Lengan robot banyak diaplikasikan pada berbagai bidang industri, tidak hanya pekerjaan ringan seperti mengelas namun juga digunakan untuk memindahkan barang berat berskala besar, pengendalian lengan robot dapat dilakukan secara otomatis menggunakan sistem kendali atau secara manual (Arisandi et al., 2020). Gerakan robot manipulator berbeda dengan gerakan lengan manusia, perbedaan terletak pada sendi robot yang memiliki kelebihan pada jumlah gerakan independen yang dapat dilakukan atau biasa disebut derajat kebebasan (*Degree of Freedom*).



Gambar 2.5 Lengan robot 3 DOF (Harsoyo, 2025)

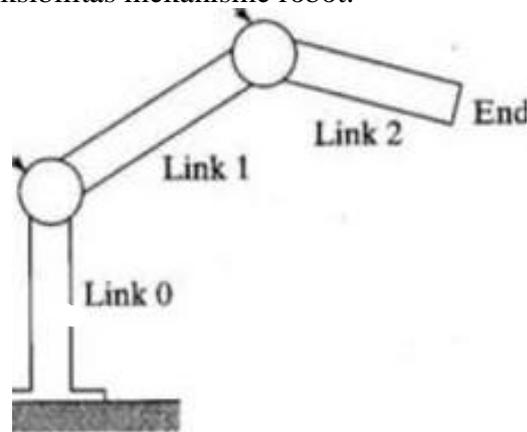
Lengan robot pada Gambar 2.5 memiliki komponen penggerak (*actuator*) berupa motor servo untuk menggerakkan sendi-sendi lengan robot serta ujung lengan robot dilengkapi penjepit (*gripper*) untuk memegang suatu objek.

Lengan robot berfungsi untuk mengambil dan memindahkan benda ke lokasi lain, yang dapat dilakukan secara manual atau otomatis sesuai kebutuhan. Lengan robot terdiri dari tiga komponen utama, yaitu struktur mekanik, bagian penggerak (*actuator*), dan bagian elektrik (Ramdani et al., 2020). Lengan robot dapat beroperasi dalam sistem umpan balik terbuka maupun tertutup, dan memiliki kemampuan untuk bergerak dalam dua jenis pergerakan, *planar* dan *spatial*. Pergerakan *planar* terjadi dalam bidang yang sejajar, sedangkan

pergerakan *spatial* melibatkan gerakan dalam ruang tiga dimensi. Maka, dengan pemahaman konsep dasar ini menjadi landasan dalam pengembangan sistem pengendali lengan robotik 3 DOF berbasis IoT. Oleh karena itu, berikut konsep dasar dari penelitian lengan robot mencakup beberapa elemen penting, meliputi:

2.2.1 Penghubung (*Link*)

Komponen pada kerangka robot yang memiliki fungsi sebagai penyambung antara sendi ke sendi lain disebut penghubung (*link*). *Link* seperti pada Gambar 2.6 membentuk sebuah rangkaian kinematik yang memungkinkan lengan robot bergerak secara terarah. Komponen ini menjadi bagian penting sebagai *support* kestabilan suatu sistem mekanik serta mengatur fleksibilitas mekanisme robot.

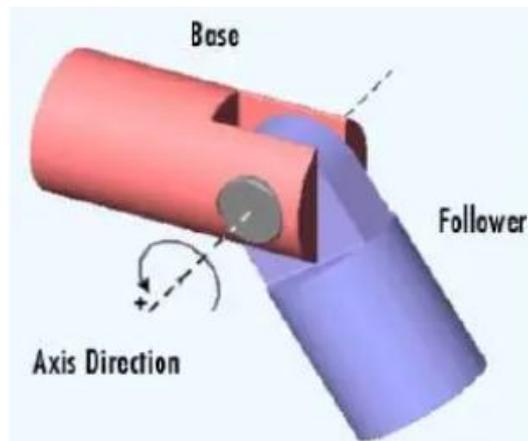


Gambar 2.6 Penghubung (*link*)

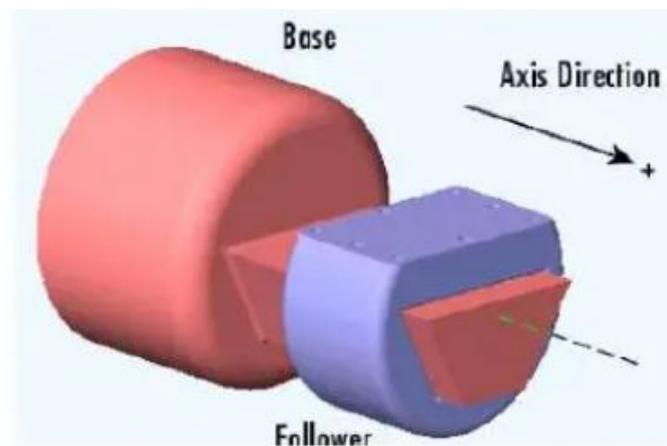
2.2.2 Sendi (*Joint*)

Sendi atau *joint* merupakan penyambung antar *link* untuk mengatur pergerakan lengan robot dengan batasan tertentu. Setiap jenis *joint* memainkan peran penting dalam menentukan pergerakan setiap bagian yang bergerak satu sama lain, sehingga memungkinkan robot untuk beroperasi dalam aneka posisi. Oleh karena itu, pemilihan jenis *joint* yang tepat sangat penting dalam desain dan fungsi lengan robot. Berikut jenis-jenis *joint* yang biasa digunakan pada lengan robot 3 DOF yaitu sendi putar (*revolute joint*), sendi geser (*prismatic joint*) dan sendi bola (*spherical joint*). *Revolute joint* bergerak menyerupai engsel seperti pada Gambar 2.7, memungkinkan gerakan rotasi antara dua lengan mekanik, *prismatic joint* seperti pada

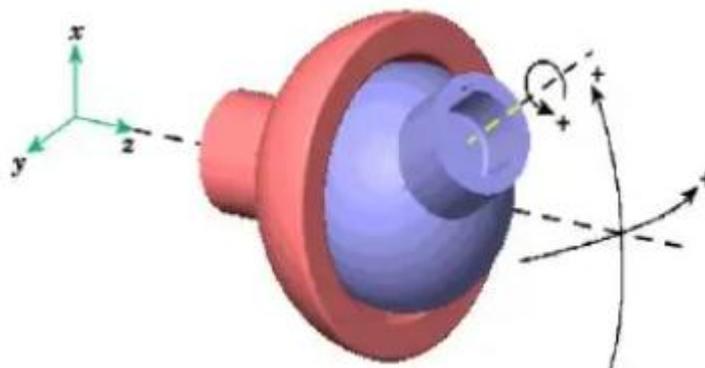
Gambar 2.8 memungkinkan gerakan linier atau lurus di antara dua bagian yang terhubung. Selain itu, terdapat sambungan bola (*spherical joint*) seperti pada Gambar 2.9, berbentuk seperti bola dan memungkinkan gerakan rotasi bebas pada tiga sumbu sekaligus.



Gambar 2.7 Sendi putar (*revolute joint*) (Shoja Jamalabad, 2020)



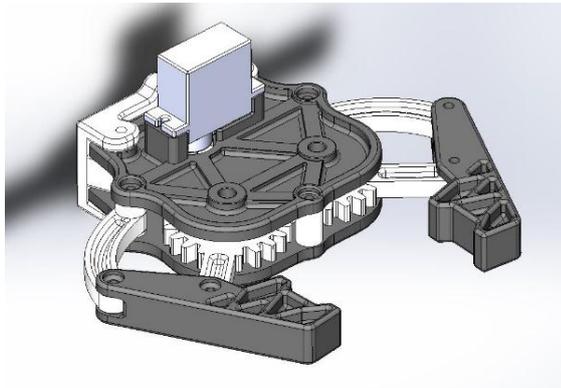
Gambar 2.8 Sendi geser (*prismatic joint*) (Shoja Jamalabad, 2020)



Gambar 2.9 Sambungan bola (*spherical joint*) (Shoja Jamalabad, 2020)

2.2.3 End Effector

Komponen yang berada paling ujung pada lengan robot yaitu *end effector*, dirancang dengan bentuk dan mekanisme gerak yang dapat disesuaikan dengan spesifikasi robot tertentu (AYEGA et al., 2023). Komponen ini memiliki peran yang sangat vital sebagai alat manipulator, seperti memindahkan, mengambil, menjepit dan banyak lagi. Pada penelitian ini, *gripper (end effector)* seperti pada Gambar 2.10 digunakan sebagai komponen pilihan untuk mencengkram objek target.



Gambar 2.10 *Gripper (end effector)* (Dokumen pribadi, Solidwork)

2.2.4 Penggerak (*Actuator*)

Aktuator berfungsi sebagai penghubung antara sinyal perintah dan tindakan fisik, berperan sebagai "otot" yang mengubah energi menjadi gerakan. Penggerak (*actuator*) menjadi elemen yang penting untuk menggerakkan robot, dari gerakan sederhana hingga kompleks seperti berjalan atau meraih objek. Aktuator dapat berupa motor servo, motor *stepper*, atau berupa *pulley*, masing-masing dengan karakteristik dan platform yang berbeda. Kemampuan aktuator untuk melakukan berbagai

jenis gerakan memungkinkan robot menjalankan beragam tugas, menjadikannya komponen dasar yang dibutuhkan dalam desain dan fungsi robot modern untuk memberikan fleksibilitas dan adaptabilitas.

2.2.5 Pengendali (*controller*)

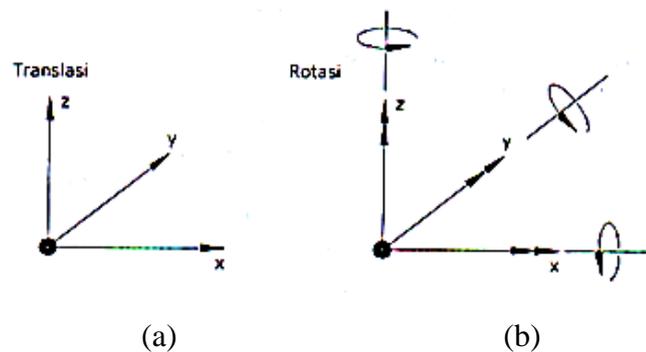
Pengendali atau *controller* memiliki peran sebagai otak yang mengatur dan mengendalikan pergerakan robot berdasarkan input dari sensor dan perintah yang telah diprogram. *Controller* menerima data dari berbagai sensor, seperti sensor posisi, jarak, dan tekanan, untuk memproses informasi dan menentukan tindakan yang harus diambil oleh penggerak (*actuator*). Dengan menggunakan algoritma kontrol, seperti kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*), *controller* dapat memastikan bahwa robot bergerak dengan akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi. Terdapat berbagai jenis *controller* yang digunakan pada lengan robot, mulai dari *microcontroller* seperti Arduino dan Raspberry Pi hingga sistem kontrol yang lebih kompleks seperti PLC (*Programmable Logic Controller*). Menentukan *controller* yang tepat sangat penting untuk mencapai kinerja optimal, karena hal ini mempengaruhi kemampuan robot beroperasi.

Pemahaman terkait dasar elemen dasar menjadi struktur penting dalam perancangan lengan robot. Namun, untuk mencapai keberhasilan dalam pengoperasian lengan robot, faktor-faktor seperti sistem kendali yang efektif, konfigurasi derajat kebebasan (DOF), serta integrasi IoT juga berperan yang sangat penting. Aspek-aspek ini akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

2.3 *Degree of Freedom* (DOF)

Degree of Freedom (DOF) atau dalam bahasa Indonesia derajat kebebasan, merupakan konsep yang sangat penting dalam perancangan sebuah lengan robot. Konsep ini mengacu pada jumlah gerakan independen yang dapat dilakukan oleh sebuah lengan robot, di mana setiap sendi (*joint*) memberikan satu derajat kebebasan. Desain robot yang bisa dikatakan ideal adalah yang memiliki kebebasan gerak pada semua sumbu, yaitu enam derajat kebebasan. Enam derajat kebebasan ini terdiri dari tiga gerakan translasi pada sumbu x, y, dan z, serta tiga

gerakan rotasi seperti pada Gambar 2.11 (b) pada sumbu x, y, dan z (Koespiadi, 2016). Terdapat beberapa jenis DOF, termasuk DOF linear yang mencakup gerakan dalam garis lurus, DOF rotasional yang melibatkan gerakan memutar, serta DOF kombinasi yang mengintegrasikan kedua jenis gerakan tersebut untuk menyelesaikan tugas yang lebih rumit. Lengan robot yang dilengkapi dengan *end effector*, yang mampu bergerak dalam ruang atau bidang tiga dimensi (*spatial*) minimal harus memiliki 3 DOF yang mencakup gerakan translasi pada sumbu x, y, dan z (Nugraha, 2021).



Gambar 2.11 Arah sumbu gerak tranlasi (a) dan arah sumbu gerak rotasi (b) (Koespiadi, 2016)

Seperti pada penelitian ini, lengan robot didesain memiliki 3 DOF, yang berarti *end effector* memiliki kemampuan bergerak secara bebas dalam tranlasi seperti Gambar 2.11 (a) pada ketiga arah sumbu, serta memiliki kebebasan bergerak rotasi pada satu sumbu. Maka dari itu, pentingnya DOF dalam mendesain lengan robot terletak pada kemampuannya untuk memberikan fleksibilitas dan kemampuan yang besar dalam melaksanakan berbagai tugas, seperti meniru gerakan lengan manusia. Oleh karena itu, semakin banyak DOF yang dimiliki suatu sistem lengan robot, maka dapat disimpulkan bahwa robot tersebut dapat melakukan gerakan yang lebih kompleks dengan tingkat presisi yang lebih tinggi. Namun, peningkatan jumlah DOF pada sebuah sistem lengan

robot juga akan meningkatkan tingkat kesulitan dalam perancangan, sistem kendali serta pemrograman. Dengan mempertimbangkan kesulitan yang timbul dari adanya peningkatan jumlah derajat kebebasan (DOF) dalam suatu perancangan lengan robot, penting juga untuk memahami konsep sistem kendali. Konsep sistem kendali dapat diimplementasikan untuk mengatasi kompleksitas dan memberikan efektifitas untuk memastikan bahwa meskipun semakin jumlah DOF meningkat, suatu sistem lengan robot tetap akan beroperasi dengan akurasi dan efisiensi yang tinggi.

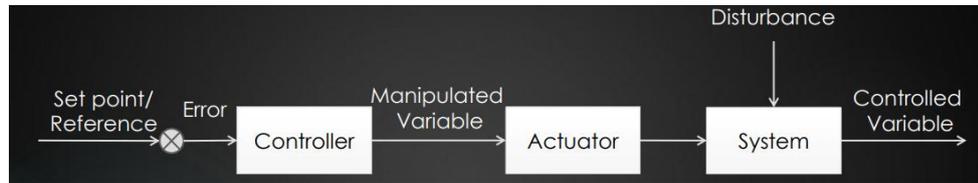
2.4 Sistem Kendali

Sistem kendali atau juga dikenal sebagai sistem kontrol, merupakan perangkat yang terdiri dari kumpulan sistem yang berfungsi untuk mengarahkan, mengendalikan, serta mengatur kondisi suatu sistem (Noer & Dayana, 2021). Sistem kendali memainkan peran krusial dalam mengoperasikan lengan robot, memastikan bahwa pergerakan dan posisi *end effector* dapat dikendalikan dengan presisi sesuai kebutuhan. Dalam bukunya, Noer dan Dayana menyatakan bahwa, tujuan utama dari suatu sistem kendali adalah untuk mencapai optimasi, yang diperoleh melalui berbagai fungsi dalam sistem tersebut. Secara umum, sistem kontrol melibatkan beberapa proses utama, yaitu pengukuran (*measurement*), perbandingan (*comparison*), pencatatan serta perhitungan (*computation*), dan koreksi (*correction*) untuk memastikan optimalisasi pada kinerja.

Umumnya lengan robot dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis sistem kendali utama: kontrol terbuka (*open-loop*) dan kontrol tertutup (*closed-loop*). Dalam kontrol terbuka, sinyal perintah dikirim langsung ke aktuator tanpa adanya umpan balik dari sensor, sehingga sistem ini lebih sederhana tetapi rentan terhadap ketidaktepatan akibat gangguan eksternal (Ogata, 2010). Sebaliknya, kontrol tertutup menggunakan umpan balik (*feedback*) dari sensor untuk terus memantau dan menyesuaikan pergerakan, meningkatkan akurasi dan kestabilan sistem.

Pada penelitian ini, sistem kendali yang digunakan berbasis kontrol terbuka seperti pada Gambar konsep 2.12, di mana posisi dan gerakan lengan robot ditentukan langsung oleh input pengguna melalui antarmuka IoT. Untuk

memastikan pergerakan yang sesuai, diperlukan metode perhitungan yang tepat, seperti *inverse* digunakan untuk mengendalikan lengan robot berdasarkan koordinat target yang diinput dalam platform IoT (Blynk).



Gambar 2.12 Konsep loop terbuka (*open loop control*) (Ogata, 2010)

2.5 Teknologi *Internet of Things* (IoT)

Teknologi IoT semakin banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, termasuk robotika. Salah satu penerapannya adalah pada lengan robot yang dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui koneksi *WiFi*. Keunggulan sistem berbasis IoT pada lengan robot ini terletak pada kemampuannya dalam melakukan pengendalian secara *real time*. NodeMCU memungkinkan pengolahan sinyal yang cepat untuk menggerakkan motor servo, sementara koneksi internet memberikan akses kendali dari berbagai lokasi. (Kareemullah et al., 2023).

Dengan menggunakan NodeMCU dan platform Blynk, lengan robot dapat dioperasikan secara nirkabel. Lengan robot yang digunakan dalam penelitian ini memiliki tiga derajat kebebasan (3 DOF) yang memungkinkannya untuk melakukan berbagai tugas, seperti memindahkan dan menempatkan objek secara efisien.

Berikut merupakan rincian komponen IoT yang digunakan dalam penelitian ini:

2.5.1 NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 adalah mikrokontroler yang dirancang untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT). Modul ini dilengkapi prosesor dual-core 240 MHz, konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth* bawaan, serta port GPIO yang mendukung sensor, motor servo, dan perangkat lain. Dengan fitur *deep sleep mode*, ESP32 dapat beroperasi lama dengan konsumsi daya efisien, sehingga cocok untuk sistem yang membutuhkan pengoperasian terus-menerus.

Dibandingkan dengan *remote* RF konvensional, ESP32 lebih sesuai untuk penelitian ini karena mendukung integrasi IoT. *Remote* RF memang memiliki latensi rendah dan jangkauan lebih luas, tetapi terbatas dalam jumlah *channel* dan tidak mendukung *monitoring* jarak jauh. Sebaliknya, ESP32 memungkinkan kendali melalui *smartphone* dengan platform seperti Blynk serta integrasi data ke server, menjadikannya solusi yang lebih fleksibel.

1. Kelebihan ESP32

- Fitur *WiFi* & *Bluetooth* bawaan, tanpa modul tambahan.
- Prosesor cepat (dual-core, 240 MHz) mendukung kendali multi-servo.
- Dapat mengendalikan banyak servo (hingga 10–16 channel) (*multicontrol*)
- Kompatibel dengan platform IoT seperti Blynk, MQTT, dan Firebase.

2. Kekurangan ESP32

- Latensi lebih tinggi dibanding RF, terutama pada jaringan *WiFi* yang tidak stabil.
- Jangkauan *WiFi* terbatas (10–30 m indoor, 50–100 m *outdoor*) tanpa bantuan repeater atau internet.
- Konsumsi daya lebih besar dibanding mikrokontroler sederhana jika *WiFi* aktif.
- Respon kurang dapat diprediksi karena bergantung pada kualitas jaringan.

3. Pertimbangan Biaya

Jika dibandingkan dengan sistem RF sederhana, ESP32 memiliki harga sedikit lebih tinggi, namun fitur yang ditawarkan jauh lebih lengkap. Untuk *receiver* RF *multi-channel* profesional (6–10 channel), harga perangkat lebih mahal dibanding ESP32. Oleh karena itu, ESP32 menawarkan biaya terhadap fitur yang lebih baik, terutama ketika penelitian diarahkan pada konsep IoT dan aplikasi berbasis jaringan.

2.5.2 Platform integrasi Blynk

Platform Blynk memudahkan pengguna untuk mengendalikan dan memantau perangkat elektronik secara *real time* melalui platform. Dengan integrasi bersama NodeMCU ESP32, komunikasi antara perangkat keras dan perangkat lunak menjadi lebih efisien. Berbagai *widget* yang tersedia, seperti *joystick*, *slider* dan *push button*, seperti pada penelitian ini digunakan *widget* kontrol berupa *push button* agar memungkinkan pengguna untuk mengontrol motor dengan gerakan yang bebas dan sesuai keinginan.

Dalam penerapannya pada sistem kendali lengan robot berbasis IoT, platform ini memungkinkan pengguna mengendalikan pergerakan robot dari jarak jauh dengan mudah. Misalnya, sudut gerakan motor servo dapat diatur dengan menggeser *slider* atau arah pergerakan ditentukan melalui *joystick virtual*. platform ini juga mendukung pemantauan data sensor secara *real time* yang ditampilkan dalam bentuk grafik atau indikator pada *dashboard*. Antarmuka yang ramah pengguna dan kompatibilitas dengan berbagai perangkat IoT menjadikannya solusi ideal untuk digunakan dalam proses penelitian.

2.5.3 Latensi pada sistem IoT

Latensi merupakan selang waktu atau jeda yang terjadi sejak pengguna memberikan perintah hingga perangkat yang dikendalikan memberikan respon. Dalam konteks sistem IoT yang menggunakan platform Blynk dan mikrokontroler ESP32, latensi dapat diartikan sebagai waktu tunda antara saat pengguna menekan tombol pada platform Blynk hingga aktuator (misal servo atau motor) mulai bergerak, yang dapat diukur sebagai $\Delta t = t_2 - t_1$, dengan t_1 sebagai waktu perintah dikirim dan t_2 sebagai waktu perangkat mulai merespons.

Besarnya latensi dipengaruhi oleh kualitas dan kestabilan jaringan *WiFi*, adanya gangguan atau interferensi dari perangkat lain di sekitar, kemampuan prosesor pada ESP32 dalam memproses data, serta kecepatan

platform Blynk dalam mengirim dan menerima data melalui protokol internet. Selain itu, jarak antara pengendali dan perangkat serta adanya hambatan fisik juga dapat meningkatkan nilai latensi. Semakin kecil nilai latensi, sistem kendali akan terasa lebih responsif dan perintah dari pengguna dapat dieksekusi hampir secara real-time. Sebaliknya, latensi tinggi dapat menyebabkan perintah terlambat dieksekusi, menurunkan kenyamanan penggunaan dan efektivitas sistem, serta berpengaruh pada reliabilitas komunikasi.

2.5.4 Reliabilitas komunikasi IoT

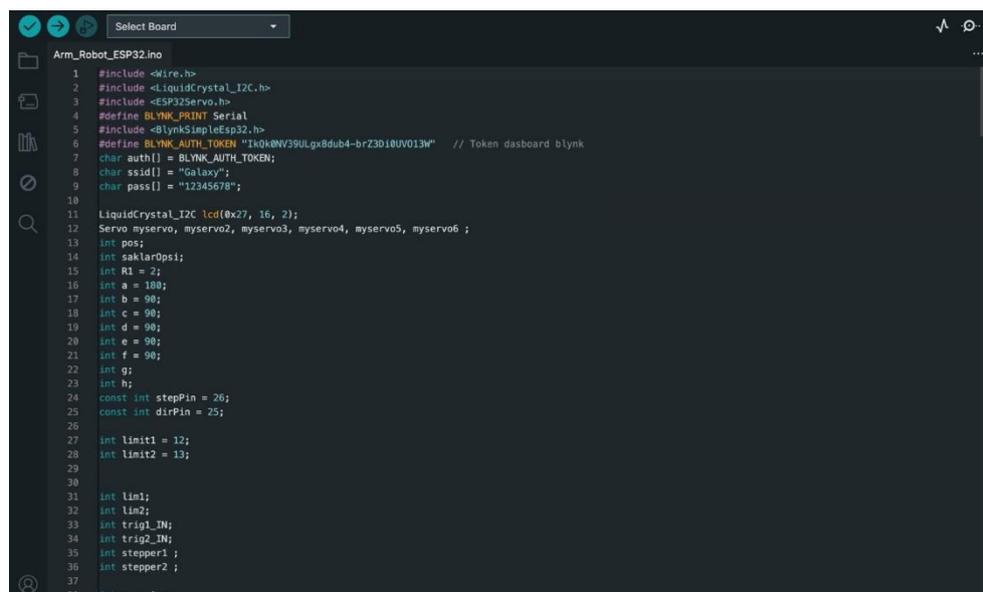
Dalam konteks *Internet of Things* (IoT), reliabilitas komunikasi merujuk pada kemampuan suatu perangkat untuk merespons instruksi yang diterima secara tepat, berulang kali dengan hasil yang sama, serta minim gangguan. Reliabilitas menunjukkan seberapa dapat diandalkan sebuah sistem dalam mempertahankan keterhubungan antara pengguna, platform pengendali, dan perangkat IoT agar komunikasi tetap berlangsung dengan baik tanpa hambatan.

Tingkat reliabilitas sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kekuatan sinyal *WiFi* (yang dapat diukur menggunakan RSSI – *Received Signal Strength Indicator*), jarak antara perangkat dan sumber *hotspot*, serta stabilitas jaringan yang digunakan. Latensi dan reliabilitas memiliki hubungan yang erat; semakin tinggi latensi, semakin besar kemungkinan perintah gagal dieksekusi tepat waktu, sehingga menurunkan keandalan komunikasi. Reliabilitas yang tinggi memastikan perangkat IoT bekerja secara konsisten dan stabil, sedangkan reliabilitas rendah dapat mengurangi efektivitas sistem kendali. Oleh karena itu, menjaga komunikasi yang andal sangat penting agar sistem *IoT* beroperasi lancar, perintah dari pengguna dapat dieksekusi tepat waktu, dan perangkat bekerja sesuai harapan.

2.6 Bahasa Pemrograman C++

C++ adalah bahasa pemrograman yang diciptakan oleh Bjarne Stroustrup pada tahun 1983 di Bell Labs. Bahasa ini merupakan pengembangan dari bahasa C, yang dilengkapi dengan berbagai fitur baru seperti pemrograman berorientasi objek (OOP), penggunaan *pointer*, *overloading operator*, dan pemrograman generik (Adawiyah Ritonga & Yahfizham Yahfizham, 2023). Dengan fitur-fitur tersebut, C++ memungkinkan pembuatan program yang lebih rumit dan efisien, serta memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan memori dan struktur data. Ukuran *file* program yang relatif kecil membantu menghemat ruang penyimpanan dan mempercepat pengunduhan *file* tambahan jika diperlukan. Meskipun sintaksnya lebih kompleks dibandingkan dengan bahasa pemrograman lainnya, C++ tetap banyak dipilih karena kemampuannya untuk menyederhanakan perintah yang rumit, sehingga memastikan eksekusi program yang lebih efisien.

Dalam penelitian ini, bahasa pemrograman C++ diterapkan untuk mengendalikan lengan robot menggunakan ESP32, yang diprogram melalui Arduino IDE seperti pada Gambar 2.13. Program ini berfungsi untuk menerima instruksi dari Blynk melalui ESP32, mengkonversinya menjadi sinyal PWM, dan mengatur servo motor agar dapat mencapai posisi target dengan tepat. Selain itu, penerapan struktur kontrol seperti *loop* serta fungsi dalam C++ memungkinkan pengolahan data dari sensor dengan tingkat presisi tinggi untuk menjaga stabilitas respons sistem. Melalui penggunaan C++ pada ESP32, sistem pengendalian lengan robot dapat beroperasi dengan optimal dan efisien, serta diuji untuk mengevaluasi kecepatan, akurasi dan mendeteksi *delay* akibat gangguan jaringan.



```
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <ESP32Servo.h>
4 #define BLYNK_PRINT Serial
5 #include <BlynkSimpleEsp32.h>
6 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "1v0k0WV39ULgx8dub4-brZ3D10UV013W" // Token dashboard blynk
7 char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
8 char ssid[] = "Galaxy";
9 char pass[] = "12345678";
10
11 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
12 Servo myservo, myservo2, myservo3, myservo4, myservo5, myservo6 ;
13 int pos;
14 int saklarOpsi;
15 int R1 = 2;
16 int a = 180;
17 int b = 90;
18 int c = 90;
19 int d = 90;
20 int e = 90;
21 int f = 90;
22 int g;
23 int h;
24 const int stepPin = 26;
25 const int dirPin = 25;
26
27 int limit1 = 12;
28 int limit2 = 13;
29
30
31 int lin1;
32 int lin2;
33 int trig1_IN;
34 int trig2_IN;
35 int stepper1 ;
36 int stepper2 ;
37
```

Gambar 2.13 Pemograman pada Arduino IDE

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat pelaksanaan perancangan dan proses *printing* lengan robot 3 DOF berbasis IoT dilaksanakan di Lantai 2 Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu Penelitian

Proses *printing* lengan robot ini dilaksanakan setelah mendapat persetujuan dari dosen pembimbing, dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu kegiatan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul	■					
2	Studi literatur	■					
3	Seminar proposal		■				
4	Desain alat		■	■			
5	Pengujian alat			■	■		
6	Seminar hasil					■	
7	Sidang sarjana						■

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam pembuatan lengan robot 3 DOF, yaitu:

1. *Filament* PLA +

Filament terbuat dari plastik yang tersedia dalam berbagai jenis seperti PLA (*Polylactic Acid*), ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*), dan lainnya. *Filament* seperti pada Gambar 3.1 merupakan bahan

baku dalam proses printing 3D lengan robot dengan cara dilelehkan.



Gambar 3.1 *Filament PLA+*

2. Kabel *jumper*

Kabel fleksibel pada Gambar 3.2 yang digunakan untuk menghubungkan rangkaian komponen elektronik. Kabel ini dilengkapi dengan konektor di kedua ujungnya untuk dipasang pada pin ESP32 atau *breadboard*.



Gambar 3.2 Kabel *jumper*

3. Bantalan (*bearing*)

Bearing seperti Gambar 3.3 yang digunakan untuk bantalan peyangga (*base*) agar dapat mengurangi gesekan dan beroperasi dengan lancar.



Gambar 3.3 Bantalan (*bearing*)

3.2.2 Alat Penelitian

Berikut alat-alat yang digunakan dalam pembuatan lengan robot 3 DOF, meliputi:

1. NodeMCU ESP32

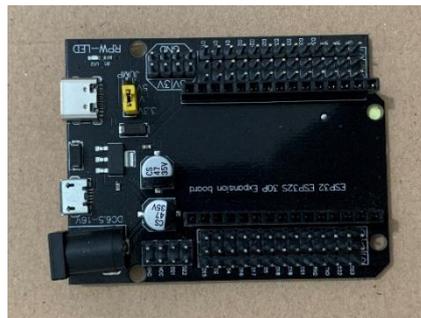
Mikrokontroler seperti Gambar 3.4 berupa *firmware open sources* berbasis ESP32 yang dilengkapi *wi-fi* dan *bluetooth* untuk membantu pembuatan *prototype IoT*.



Gambar 3.4 Pin ESP32

2. ESP32 *Expansion Board*

Papan tambahan seperti Gambar 3.5 yang dirancang untuk dipasang di atas ESP32 yang berfungsi untuk memperluas kontrol dan konektivitas nirkabel serta mengubah kode biner komputer kedalam memori penyimpanan.



Gambar 3.5 ESP32 *Expansion Board*

3. Motor Servo

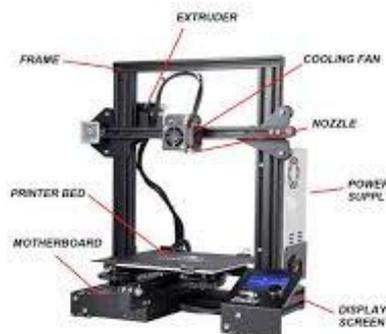
Komponen ini merupakan aktuator putar yang bergerak dengan batasan sudut tertentu. Aktuator pada seperti Gambar 3.6 ini menghubungkan antar sendi (*joint*) yang digunakan pada lengan robot.



Gambar 3.6 Motor servo

4. *Printer 3D*

Alat seperti Gambar 3.7 digunakan untuk mencetak objek tridimensional melalui desain digital menggunakan *filament* sebagai bahan dasar.



Gambar 3.7 *Printer 3D*

5. Jangka Sorong

Alat bantu seperti Gambar 3.8 digunakan untuk mengukur ukuran lengan robot dan berperan dalam kalibrasi.



Gambar 3.8 Jangka sorong

6. Watt Meter Digital

Alat ukur digital seperti gambar pada Gambar 3.9 digunakan untuk mengukur kuat arus (I) dan daya listrik (P) yang dihasilkan oleh lengan robot ketika pengujian.



Gambar 3.9 Watt meter digital

7. Meteran

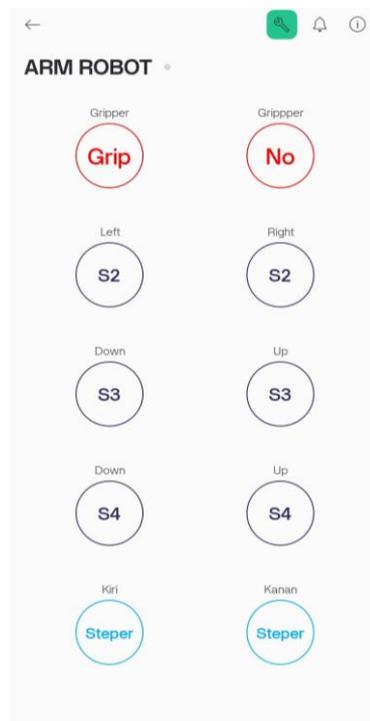
Alat ukur seperti pada Gambar 3.10 digunakan untuk mengukur ketinggian alas uji, papan uji serta jarak dalam pengujian.



Gambar 3.10 Meteran

8. Platform Blynk

Platform IoT antarmuka (*interface*) seperti pada Gambar 3.11 yang digunakan untuk mengendalikan mikrokontroler secara nirkabel.

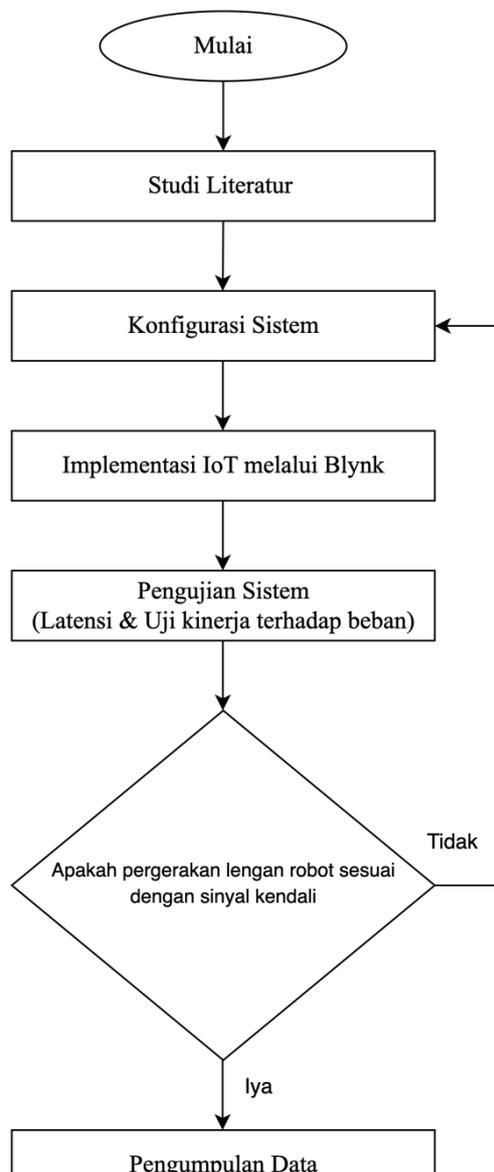


Gambar 3.11 Tata letak tampilan Blynk

Keterangan :

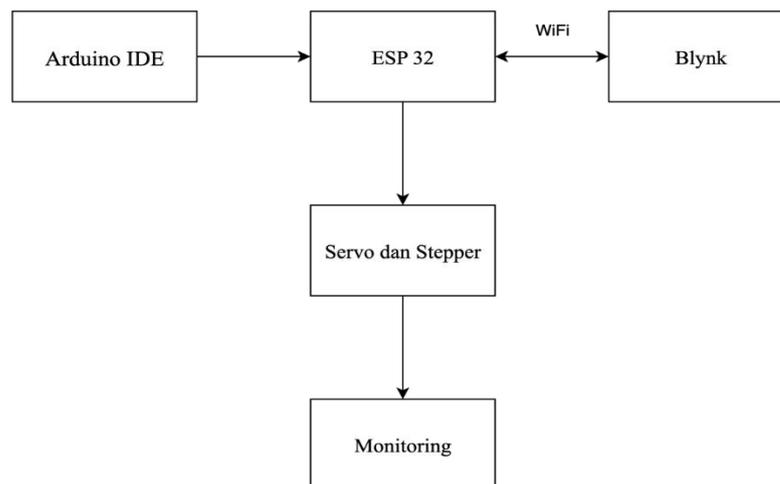
1. *Grip* : Mencengkeram objek
2. *No* : Melepas cengkaman objek
3. *S2 (left/right)* : Memutar servo ke arah kiri/kanan
4. *S3 (up/down)* : Mengangkat atau menurunkan lengan robot
5. *S4 (up/down)* : Mengangkat atau menurunkan lengan robot
6. *Stepper (kiri/kanan)* : Memutar arah lengan robot ke kiri/kanan secara horizontal

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.12 *Flowchart* penelitian

3.4 Alur Konfigurasi Perangkat Lunak

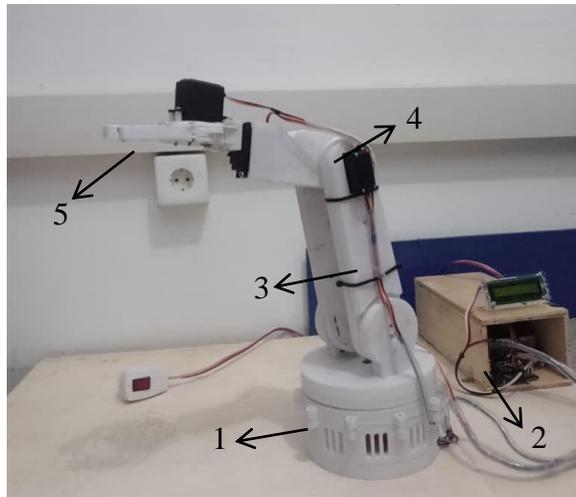


Gambar 3.13 *Flowchart* konfigurasi perangkat lunak

Alur konfigurasi perangkat meliputi proses pemrograman pada *software* Arduino IDE lalu program diunggah menggunakan kabel USB yang disambungkan pada ESP32. Setelah itu, melalui jaringan *WiFi* Blynk dapat berkomunikasi dengan ESP32 agar dapat menjalankan perintah komponen servo dan *stepper*. Tahap akhir merupakan pengawasan gerakan lengan robot untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

3.5 Rancangan Alat Penelitian

Berikut desain rancangan alat yang digunakan dalam penelitian lengan robot 3 DOF berbasis IoT, meliputi bagian-bagiannya:



Gambar 3.14 Desain lengan robot 3 DoF berbasis IoT

Keterangan:

1. *Base*
2. *Power supply dan ESP32*
3. *Penghubung (Link)*
4. *Sendi (joint)*
5. *Gripper*

3.6 Prosedur Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian eksperimen. Prosedur penelitian ini dirancang untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem kendali lengan robot 3 DOF berbasis *Internet of Things* (IoT). Prosedur ini mencakup langkah-langkah sistematis yang dimulai dari perancangan hingga pengujian, untuk memastikan bahwa setiap aspek dari penelitian dapat dilaksanakan dengan baik dan menghasilkan data yang valid.

3.6.1 Langkah-Langkah Penelitian

1. Perancangan Perangkat Keras

Pada tahap ini dilakukan perancangan dan perakitan perangkat keras yang meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan motor servo sebagai aktuator lengan robot. Sistem kendali dihubungkan dengan platform Blynk melalui jaringan *WiFi* sehingga seluruh instruksi diberikan secara nirkabel menggunakan *smartphone*.

2. Integrasi dengan Platform Blynk

ESP32 diprogram menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C++ untuk menerima perintah dari platform Blynk melalui jaringan *WiFi*. Koneksi *WiFi* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari *hotspot smartphone* sesuai dengan SSID dan *password* yang tercantum pada kode program.

3. Uji Fungsi Sistem

Pengujian fungsi dasar dilakukan untuk memastikan perintah dari platform dapat diteruskan ke ESP32 dan dijalankan oleh servo. Uji coba dilakukan dengan memberikan perintah sederhana, seperti menggerakkan servo ke sudut tertentu.

4. Pengujian Latensi

Latensi sistem lengan robot diukur untuk menilai respons kendali jarak jauh melalui platform Blynk. Pengukuran dilakukan dengan mendefinisikan dua titik waktu: t_1 , yaitu waktu perintah dikirim dari platform Blynk, dan t_2 , yaitu waktu lengan robot mulai bergerak. Selisih antara kedua waktu ini dihitung sebagai $\Delta t = t_2 - t_1$, yang merepresentasikan latensi sistem. Pengukuran dilakukan menggunakan *stopwatch digital* dan dicatat secara manual. Setiap skenario pengujian diulang beberapa kali untuk memastikan akurasi dan reliabilitas data.

5. Pengujian Reliabilitas Komunikasi

Reliabilitas sistem diuji dengan mengirimkan sejumlah perintah melalui platform Blynk dalam kondisi jaringan yang berbeda, misalnya jarak dekat, jarak jauh, atau adanya hambatan

sinyal. Data yang dicatat berupa keberhasilan dan kegagalan eksekusi perintah, lalu dihitung persentase keberhasilan (*success rate* %).

6. Analisa dan Evaluasi

Data dari pengujian akurasi dan reliabilitas dianalisis untuk menilai kinerja sistem secara keseluruhan. Analisis mencakup rata-rata deviasi posisi dan persentase keberhasilan komunikasi, kemudian ditarik kesimpulan apakah sistem sudah sesuai dengan tujuan penelitian.

3.7 Parameter Uji Penelitian

Penelitian ini berfokus pada evaluasi kinerja lengan robot 3 DOF berbasis IoT dengan meninjau pengaruh beberapa faktor utama. Variabel bebas yang ditetapkan meliputi beban yang diangkat (15 gram beban yang dianggap ringan) (35 gram beban yang dianggap menengah) (50 gram beban yang dianggap berat), kondisi jaringan *WiFi*, dan jenis gerakan lengan robot. Variabel terikat yang diamati mencakup latensi sistem, keberhasilan gerakan, serta konsumsi arus servo. Sementara itu, variabel kontrol seperti tegangan power supply, jenis servo, mikrokontroler ESP32, platform Blynk, dan kondisi ruangan dijaga konstan agar hasil pengujian valid.

Pada penelitian ini, waktu respon didefinisikan sebagai selang waktu dari saat tombol perintah pada platform Blynk ditekan hingga muncul gerakan pertama pada aktuator lengan robot. Dengan demikian, penelitian ini menguji hubungan antara variasi beban, kondisi jaringan, dan jenis gerakan terhadap performa lengan robot dalam hal waktu respon, reliabilitas, dan konsumsi energi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Bab ini menyajikan hasil pengujian sistem kendali lengan robot berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan platform Blynk. Pengujian mencakup parameter latensi, akurasi gerakan, dan latensi Blynk dalam berbagai kondisi jaringan, dilakukan dalam beberapa skenario untuk mendapatkan data yang valid dan dapat dianalisis.

4.1.1 Hasil Perancangan Program

Program sistem kendali lengan robot 3 DOF berbasis IoT dibuat dengan bahasa C++ melalui Arduino IDE. Pada kode `Arm_Robot_ESP32.ino`, digunakan library `WiFi.h` dan `BlynkSimpleEsp32.h` untuk menghubungkan ESP32 ke jaringan internet serta menerima instruksi dari platform Blynk. Selain itu, library `Servo.h` digunakan untuk mengendalikan tiga motor servo sesuai dengan perintah yang masuk. Bagian awal program mencakup penentuan pin yang terhubung dengan masing-masing servo, serta konfigurasi pada Blynk dan SSID `WiFi`. ESP32 membaca perintah dari platform Blynk dan mengubahnya menjadi sinyal PWM yang menentukan sudut gerakan servo pada tiap DOF.

Program kendali lengan robot 3 DOF berbasis IoT dirancang secara terstruktur untuk menghubungkan perangkat keras dengan aplikasi. Tahap awal mencakup pemanggilan *library* dan penyediaan tempat penyimpanan data, konfigurasi jaringan melalui SSID dan *password WiFi* untuk menghubungkan ESP32 ke internet, serta autentikasi Blynk agar perangkat dapat dikendalikan dari platform ke servo diatur pada posisi awal sebelum menerima instruksi. Siklus kerja program, fungsi `Blynk.run` menjaga komunikasi *realtime* sehingga setiap perintah dari platform dapat diterima. Program ini memungkinkan pengguna menjalankan perintah berupa gerakan angkat 90° dan gerakan *pick and place* sesuai skenario pengujian. Instruksi yang diberikan akan dikonversi menjadi sinyal PWM untuk mengatur sudut servo dalam rentang 0° – 180° pada masing-masing derajat kebebasan. Fungsi kendali tambahan memastikan input dari platform langsung menghasilkan respon gerakan yang sesuai.

4.1.2 Hasil Pengujian Latensi Lengan Robot

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem kendali lengan robot melalui platform Blynk mampu merespons perintah dengan cepat pada kondisi jaringan yang stabil. Waktu respon dari pengiriman perintah hingga servo mulai bergerak relatif singkat, menandakan komunikasi antara Blynk dan ESP32 berjalan efisien. Namun, pada kondisi jaringan yang kurang optimal, seperti sinyal lemah atau adanya hambatan fisik, beberapa perintah mengalami keterlambatan bahkan tidak tersampaikan. Hal ini menunjukkan bahwa performa sistem sangat dipengaruhi oleh kualitas dan kestabilan jaringan Wi-Fi. Pada penelitian ini, ESP32 terhubung ke platform Blynk melalui *hotspot smartphone* yang telah diprogram sesuai SSID dan *password* pada kode. Dengan demikian, setiap perintah dari aplikasi diproses terlebih dahulu melalui jaringan *hotspot* sebelum dieksekusi oleh ESP32, sehingga hasil pengujian latensi juga mencerminkan keterbatasan koneksi *hotspot* yang digunakan.

Tabel 4.1 Hasil pengujian latensi pada Servo 1

No	t_1 (s)	t_2 (s)	s (m)	Δt (s)	Berhasil (Ya/Tidak)
1	1.06	1.72	1	0.66	Ya
2	0.98	1.55	1	0.58	Ya
3	1.03	1.58	1	0.55	Ya
4	1.02	1.64	3	0.62	Ya
5	1.14	1.87	3	0.73	Ya
6	1.03	1.73	3	0.79	Ya
7	1.05	1.79	5	0.74	Ya
8	1.17	1.95	5	0.78	Ya
9	1.07	1.98	5	0.91	Ya

Tabel 4.2 Hasil pengujian latensi pada Servo 2

No	t_1 (s)	t_2 (s)	s (m)	Δt (s)	Berhasil (Ya/Tidak)
1	1.05	1.72	1	0.67	Ya
2	1.02	1.68	1	0.66	Ya
3	1.08	1.53	1	0.45	Ya
4	1.05	1.73	3	0.68	Ya
5	1.06	1.90	3	0.84	Ya
6	1.10	1.82	3	0.72	Ya
7	1.09	1.88	5	0.79	Ya
8	1.15	1.89	5	0.74	Ya
9	1.07	1.95	5	0.88	Ya

Tabel 4.3 Hasil pengujian latensi pada Servo 3

No	t_1 (s)	t_2 (s)	s (m)	Δt (s)	Berhasil (Ya/Tidak)
1	1.02	1.91	1	0.89	Ya
2	1.07	1,80	1	0.73	Ya
3	1.05	1.75	1	0.70	Ya
4	1.03	1.89	3	0.86	Ya
5	1.08	1.98	3	0.90	Ya
6	1.01	1.84	3	0.83	Ya
7	1.04	1.86	5	0.82	Ya
8	1.08	1.86	5	0.78	Ya
9	1.06	1.99	5	0.93	Ya

Tabel 4.4 Hasil pengujian latensi pada Servo 4

No	t_1 (s)	t_2 (s)	s (m)	Δt (s)	Berhasil (Ya/Tidak)
1	1.09	2.02	1	0.93	Ya
2	1.06	2.16	1	1.10	Ya
3	1.10	1.90	1	0.80	Ya
4	1.02	1.93	3	0.91	Ya
5	1.05	2.09	3	1.04	Ya
6	1.08	1.96	3	0.92	Ya
7	1.06	2.28	5	1.22	Ya
8	1.05	2.21	5	1.16	Ya
9	1.06	2.06	5	1.0	Ya

4.1.3 Hasil Pengujian Kinerja Lengan Robot pada Berbagai Kondisi Gerakan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan beban berpengaruh langsung terhadap kinerja lengan robot. Pada kedua jenis gerakan, baik angkat 90° maupun *pick and place* ($A \rightarrow B$). Pengujian dengan ketinggian yang berbeda dilakukan untuk melihat perbedaan kuat arus serta kinerja lengan robot. Hal ini menegaskan bahwa performa sistem dipengaruhi oleh kombinasi faktor beban, keterbatasan torsi servo, serta kompleksitas gerakan.

Tabel 4.5 Hasil pengujian gerakan angkat 90° dengan variasi beban

No	W (gr)	h (cm)	T _t (s)	P (kWh)	I (A)	Berhasil (Ya/Tidak)
1	15	0	2.40	0.046	0.046	Ya
2	15	10	2.89	0.046	0.084	Ya
3	15	20	3.40	0.046	0.094	Ya
6	35	0	3.28	0.047	0.094	Ya
7	35	10	3.79	0.047	0.105	Ya
8	35	20	6.32	0.046	0.116	Ya
11	50	0	6.54	0.047	0.105	Ya
12	50	10	9.97	0.047	0.137	Tidak
13	50	20	2.20	0.047	0.147	Tidak

Pada pengujian beban 50 gram, lengan robot masih mampu menyelesaikan gerakan angkat pada posisi dasar (0 cm), namun gagal ketika diuji pada ketinggian 10 cm dan 20 cm. Hal ini menunjukkan keterbatasan torsi servo dalam melawan gaya gravitasi pada kondisi vertikal dengan beban berat.

Tabel 4.6 Hasil uji kinerja lengan robot skenario *pick and place* ($A \rightarrow B$)

No	W (gr)	h (cm)	T _t (s)	P (kWh)	I (A)	Berhasil (Ya/Tidak)
1	15	0	9.64	0.045	0.105	Ya
2	15	10	11.37	0.044	0.105	Ya
3	15	20	10.28	0.044	0.116	Ya

4	35	0	10.45	0.042	0.116	Ya
5	35	10	12.21	0.042	0.105	Ya
6	35	20	13.99	0.041	0.126	Ya
7	50	0	6.27	0.048	0.116	Ya
8	50	10	6.59	0.048	0.116	Ya
9	50	20	6.46	0.047	0.116	Ya

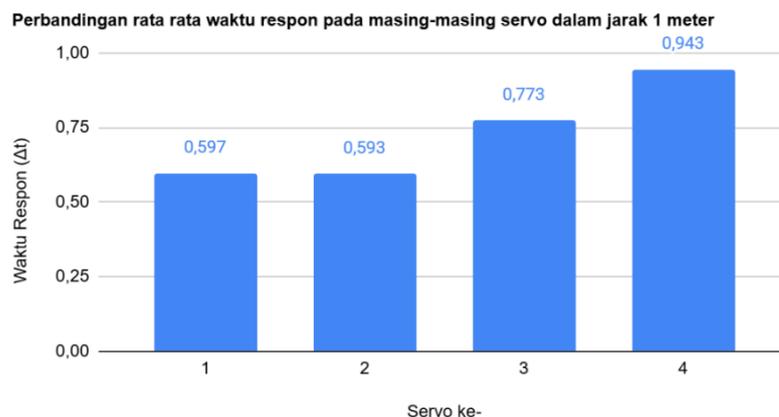
Tabel hasil uji diatas menjelaskan pada beban 50 gram, skenario *pick and place* (gerakan horizontal) tetap berhasil diselesaikan pada berbagai ketinggian. Hal ini memperkuat bahwa gerakan horizontal lebih stabil dibandingkan gerakan vertikal, karena tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh gaya gravitasi.

4.2 Pembahasan

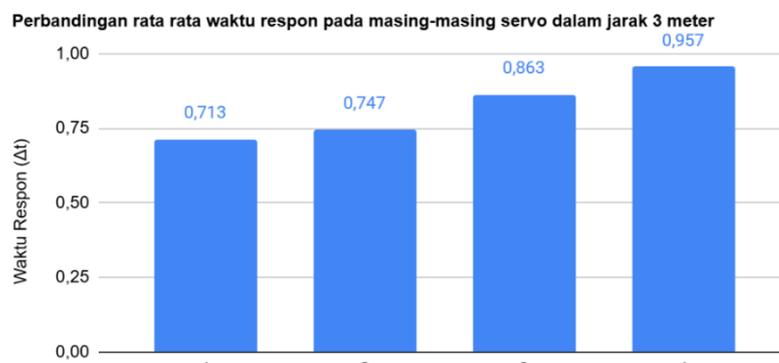
Hasil pengujian mengindikasikan bahwa terdapat sejumlah faktor yang mempengaruhi kinerja sistem kendali lengan robot berbasis IoT, khususnya terkait latensi, akurasi gerakan dan reliabilitas dalam berbagai kondisi jaringan.

4.2.1 Pengaruh Latensi Blynk terhadap Kinerja Sistem.

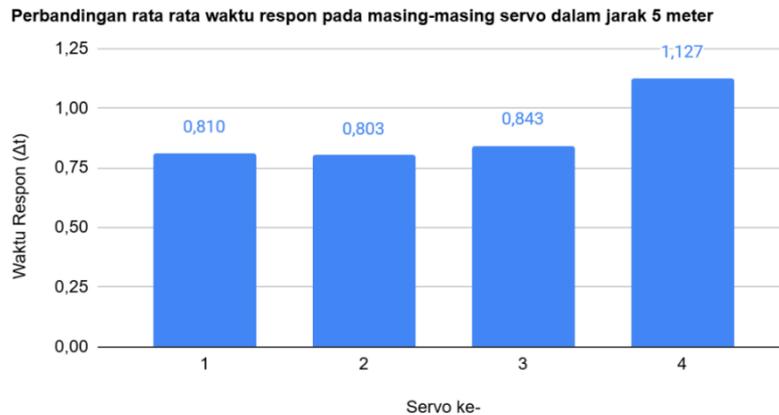
Latensi sistem lengan robot diukur untuk menilai respons kendali jarak jauh melalui platform Blynk. Waktu tunda sistem, Δt (delta t), didefinisikan sebagai selisih antara t_1 , waktu perintah dikirim dari Blynk, dan t_2 , waktu lengan robot mulai bergerak. Δt merepresentasikan waktu tunda awal, yaitu periode dari pengiriman perintah hingga gerakan pertama terlihat, bukan total waktu g



Gambar 4.1 Grafik hasil uji rata-rata latensi servo dalam jarak 1 meter



Gambar 4.2 Grafik hasil uji rata-rata latensi servo dalam jarak 3 meter



Gambar 4.3 Grafik hasil uji rata-rata waktu latensi dalam jarak 5 meter

Hasil pengujian menunjukkan bahwa latensi sangat dipengaruhi oleh kualitas jaringan *WiFi*. Sistem merespons dengan cepat ketika jaringan stabil pada jarak dekat hingga menengah, namun kinerjanya menurun saat jarak lebih jauh atau terdapat hambatan sinyal. Temuan utama meliputi:

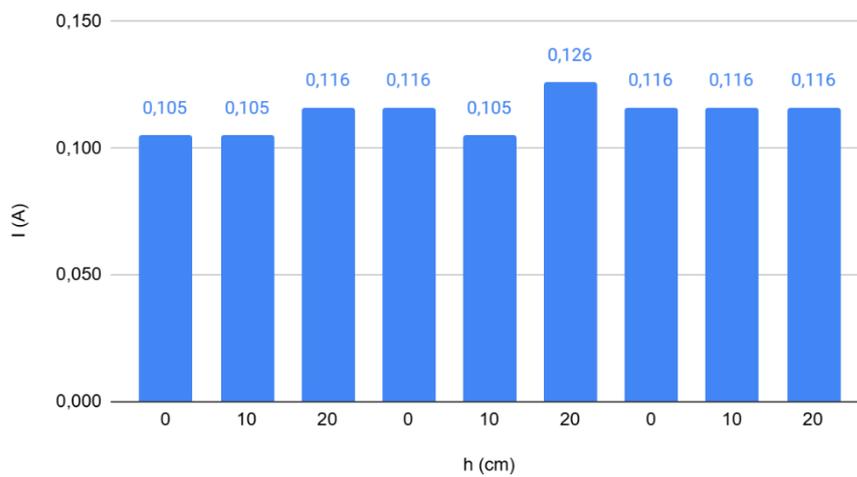
- Waktu respon rata-rata berada pada kisaran 0,5–0,9 detik saat jaringan stabil dan pengendali berada dekat dengan robot.
- Pada jarak sekitar 5 meter atau ketika sinyal terhalang, waktu respon meningkat hingga lebih dari 1 detik, dan sebagian perintah tidak berhasil dijalankan.
- Semakin jauh jarak dan semakin besar hambatan sinyal, nilai latensi semakin tinggi.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kinerja sistem sangat bergantung pada kestabilan jaringan *WiFi*. Latensi rendah hanya tercapai pada kondisi sinyal yang kuat dan stabil, sedangkan pada jaringan lemah, sistem mengalami keterlambatan bahkan gagal mengeksekusi perintah.

4.2.2 Evaluasi Kinerja Lengan Robot pada berbagai Kondisi Gerakan

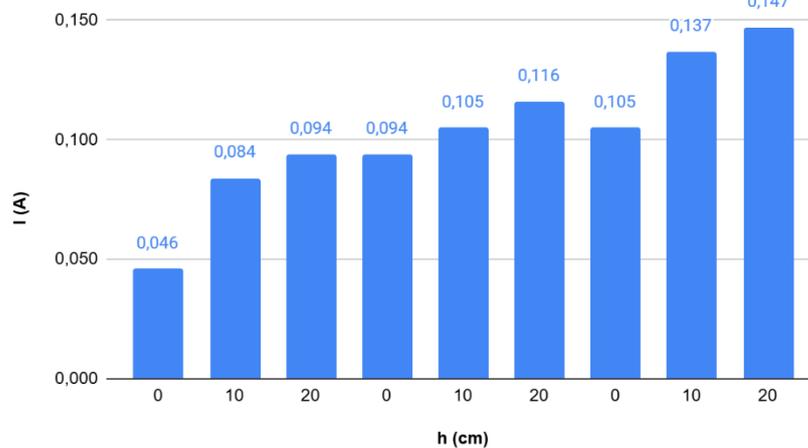
Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja lengan robot bervariasi pada tiap jenis gerakan. Faktor yang memengaruhi antara lain beban yang diangkat, jarak lintasan pada papan uji selebar 60 cm. Berikut grafik hasil pengujian pada pengujian *pick and place* dan gerakan angkat 90° .

Hasil uji kinerja lengan robot skenario Pick and Place (A → B)



Gambar 4.4 Grafik hasil uji ketinggian (h) terhadap kuat arus (I) pada skenario *pick and place*

Hasil Pengujian Gerakan Angkat 90° dengan Variasi Beban

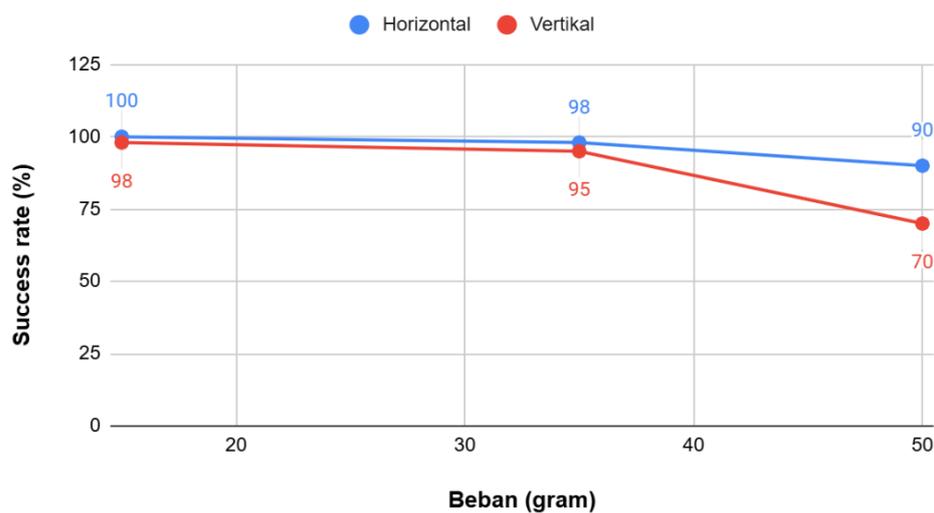


Gambar 4.5 Grafik hasil uji ketinggian (h) terhadap kuat arus (I) pada skenario angkat 90°

Beberapa temuan dapat dirangkum sebagai berikut:

- Pada gerakan horizontal, waktu respon lebih singkat karena kebutuhan gaya lebih kecil.
- Gerakan vertikal mempengaruhi waktu respon sebab cenderung lebih lama, terutama saat beban mendekati batas kemampuan servo.
- Konsumsi arus meningkat seiring bertambahnya beban, khususnya pada gerakan vertikal. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital.
- Keberhasilan gerakan dicapai ketika beban sampai di titik tujuan, sedangkan kegagalan terjadi jika lengan terhenti di satu posisi dan tidak mampu mengangkat lebih lanjut.

Tingkat keberhasilan pengangkatan beban secara horizontal dan vertikal



Gambar 4.6 Grafik tingkat keberhasilan pengangkatan beban secara horizontal dan vertikal

Secara umum, lengan robot bekerja cukup baik pada beban ringan hingga menengah, khususnya pada gerakan horizontal. Namun, pada beban yang lebih berat dan gerakan vertikal, performa mulai menurun dari segi kecepatan, konsumsi daya, maupun tingkat keberhasilan.

Hasil pengujian pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada variasi beban ringan hingga menengah, lengan robot mampu menyelesaikan perintah dengan tingkat keberhasilan mendekati 100%. Pada posisi horizontal, success rate relatif stabil, yaitu sekitar 100% pada beban 15 gram hingga 35 gram, kemudian sedikit menurun menjadi 90% pada beban 50 gram. Sementara itu, pada posisi vertikal terlihat penurunan yang lebih signifikan, dari kisaran 97% pada beban ringan hingga hanya mencapai 70% pada beban 50 gram.

Penurunan ini terjadi karena keterbatasan torsi servo dalam mengangkat beban secara vertikal, di mana pengaruh gravitasi lebih besar dibandingkan gerakan horizontal. Selain faktor mekanis, kestabilan jaringan Wi-Fi juga turut memengaruhi hasil pengujian, karena kondisi jaringan yang lemah dapat menyebabkan sebagian perintah tidak dijalankan dengan baik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa lengan robot bekerja optimal pada beban di bawah 35 gram, khususnya untuk pengangkatan vertikal.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kendali lengan robot 3 DOF berbasis IoT berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32 dan platform Blynk sebagai antarmuka pengendali.
2. Lengan robot dapat merespons perintah dari aplikasi dengan waktu respon relatif singkat (0.5–0.9 detik) pada kondisi jaringan stabil dengan jarak dekat hingga menengah.
3. Latensi meningkat hingga lebih dari 1 detik pada jarak 5 meter atau ketika sinyal Wi-Fi terhalang, bahkan beberapa perintah gagal dieksekusi.
4. Performa sistem kendali sangat bergantung pada kualitas dan kestabilan jaringan *WiFi*, karena sistem masih berbasis *open loop control* tanpa adanya sensor umpan balik.
5. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem lebih sesuai diterapkan untuk aplikasi ringan, misalnya pemindahan objek kecil di UMKM atau laboratorium, karena keterbatasan torsi servo saat mengangkat beban berat.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran diberikan untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Penulis menyarankan untuk lakukan pengujian dengan variasi beban dan gunakan metode *closed loop control* dengan sensor *feedback* untuk meningkatkan stabilitas dan akurasi sistem.
2. Penulis berharap penelitian ini menjadi referensi bagi akademisi untuk mengembangkan sistem kendali robotik berbasis IoT, serta mendorong studi lebih lanjut tentang optimasi latensi, akurasi, dan latensi.
3. Kampus perlu menyediakan lebih banyak fasilitas laboratorium IoT dan mengintegrasikan riset IoT dalam kurikulum untuk pemahaman praktis mahasiswa.
4. Pengembangan perangkat lunak platform IoT sebaiknya memperhatikan fitur monitoring real-time dan logging data, sehingga memudahkan analisis performa sistem dan deteksi masalah secara dini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah Ritonga, & Yahfizham Yahfizham. (2023). Studi Literatur Perbandingan Bahasa Pemrograman C++ dan Bahasa Pemrograman Python pada Algoritma Pemrograman. *Jurnal Teknik Informatika Dan Teknologi Informasi*, 3(3), 56–63. <https://doi.org/10.55606/jutiti.v3i3.2863>
- Adekola Adebayo, R., Constance Obiuto, N., Clinton Festus-Ikhuoria, I., & Kayode Olajiga, O. (2024). Robotics in Manufacturing: A Review of Advances in Automation and Workforce Implications. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*, 4(2), 632–638. <https://doi.org/10.62225/2583049x.2024.4.2.2549>
- Arisandi, A. S., Subur, J.-, & Suryadhi, S.-. (2020). Rancang Bangun Robot Lengan Pemindah Barang 3 DOF Menggunakan Metode Inverse Kinematics Berbasis Android. *Elektrika Borneo*, 6(2), 35–41. <https://doi.org/10.35334/jeb.v6i2.1558>
- AYEGA, I. H., TAMBA, T. A., & ARTHAYA, B. M. (2023). Rancang Bangun Purwarupa Manipulator Lengan Robot Dengan Tiga Derajat Kebebasan. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(3), 796. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i3.796>
- Bechinie, C., Zafari, S., Kroeninger, L., Puthenkalam, J., & Tscheligi, M. (2024). Toward human-centered intelligent assistance system in manufacturing: challenges and potentials for operator 5.0. *Procedia Computer Science*, 232, 1584–1596. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.156>
- Didi, M., Marindani, E. D., & Elbani, A. (2015). Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro*, 2(3), 1–11.
- Faiq, M., Satriatama, W., & Halim, L. (2022). *Perancangan Awal dan Simulasi Lengan Robot 3 Derajat Kebebasan Berbasis Arduino yang Dikontrol dengan Aplikasi*. 7(2), 118–130.
- Harsoyo, R. (2025). *Memahami Lengan Robot*. <https://id.scribd.com/document/417517431/Memahami-Lengan-Robot-docx>

- Ilyasaa, A., Winarno, T., & Siradjuddin, I. (2023). Implementasi Load Cell Pada Robot Humanoid Terhadap Parameter Jalan Robot. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 10(3), 453–461. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i3.3293>
- Irwan, M., & Y, A. (2022). Sistem Kendali Lengan Robot 4-DOF untuk Pemindah Barang. *Jurnal Mosfet*, 2(2), 16–25. <https://doi.org/10.31850/jmosfet.v2i2.1981>
- Kareemullah, H., Najumnissa, D., Shajahan, M. S. M., Abhineshjayram, M., Mohan, V., & Sheerin, S. A. (2023). Robotic Arm controlled using IoT application. *Computers and Electrical Engineering*, 105(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108539>
- Koespiadi. (2016). *Buku Ajar Aplikasi Computer TEKNIK SIPIL PROGRAM ETABS*. <http://repository.narotama.ac.id/758/>
- Krejčí, J., Babiuch, M., Suder, J., Kryš, V., & Bobovský, Z. (2024). *Internet of Robotic Things: Current Technologies, Applications, Challenges and Future Directions*. 1–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s25030765>
- Mabi Robo. (2024). *High-precision Milling Robotic Arm with Secondary Encoders for innovative Manufacturing*. <https://www.mabi-robotic.com/en/robotic/robotic-arm>
- MDPI. (2021). *Deep Reinforcement Learning for the Control of Robotic Manipulation*. <https://www.mdpi.com/2218-6581/10/1/22>
- Nasution, H. S., Jayadi, A., & Rikendry, R. (2022). Implementasi Metode Fuzzy Logic Untuk Sistem Pengereman Robot Mobile Berdasarkan Jarak Dan Kecepatan. *Jurnal Teknik Dan Sistem Komputer*, 3(1), 15–24. <https://doi.org/10.33365/jtikom.v3i1.1634>
- Noer, Z., & Dayana, I. (2021). *Buku Sistem Kontrol* (Guepedia (ed.); 1st ed.). Guepedia.
- Nugraha, I. D. (2021). Pendekatan Geometri untuk Perhitungan Inverse Kinematics Gerakan Lengan Robot 4 Derajat Kebebasan. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.31543/jtm.v5i1.572>
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* [Paperback]. In *Pearson*.

- Pawelloi, A. I., & Basri, M. (2024). *Jurnal MOSFET Perancangan Sistem Kendali untuk Pergerakan Lengan Robot 4-DOF*. 04(02), 75–83.
- Ramdani, M., Mujirudin, M., Dewanto, Y., & ... (2020). Sistem Kontrol Lengan Robot Menggunakan Rekaman Gerakan. ... *Teknologi Informasi Da ...*, 2(1).
<https://www.academia.edu/download/94586074/347559291.pdf>
- Robots, M. (2023). *Robot Industri*.
<https://id.mfgrobots.com/equipment/robot/1006016478.html>
- Shoja Jamalabad, M. (2020). *Degree Program in Mechanical Engineering* (Issue June). KARELIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCE.
- Siddiq, M. J. (2018). *Definisi, Fungsi dan Jenis-Jenis Robot*. Siddiq.
<https://siddix.blogspot.com/2018/04/definisifungsi-dan-jenis-jenis-robot.html>
- Teknologi, S. (2025). *Penjelasan mengenai Robot Mobile*.
<https://sariteknologi.com/robot-indonesia-2/>
- Uchrowi, A., Lasmadi, L., & Soekarno, S. (2019). Pemodelan dan Simulasi Robot Lengan 3 DOF Menggunakan V-REP. *Avitec*, 1(1), 87–98.
<https://doi.org/10.28989/avitec.v1i1.489>

LAMPIRAN



Dokumentasi: Proses pengujian gerakan angkat 90° pada ketinggian 20 cm



Dokumentasi: Proses pengujian gerakan angkat 90° pada ketinggian 10 cm



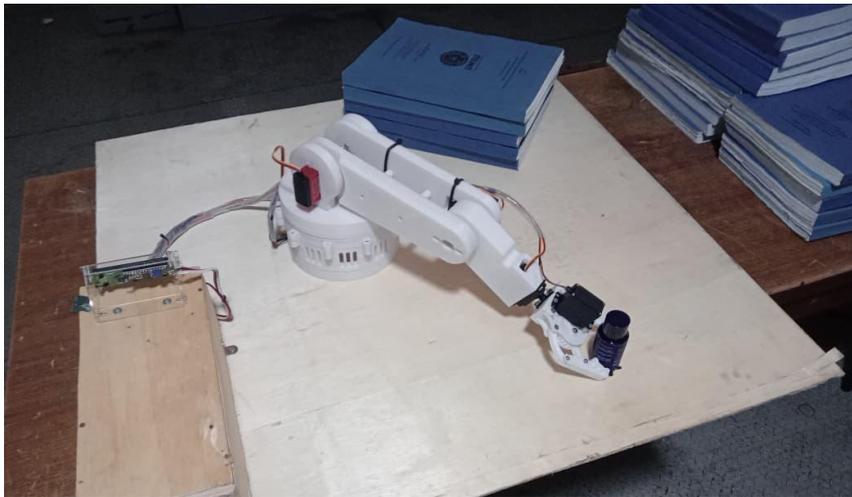
Dokumentasi: Proses pengujian gerakan angkat 90° pada ketinggian 0 cm



Dokumentasi: Proses pengujian gerakan vertikal 90°



Dokumentasi: Proses pengujian *pick and place* untuk ketinggian 0 - 20 cm



Dokumentasi: Proses pengujian *pick and place* untuk ketinggian 0 - 10 cm



Dokumentasi: Proses pengujian *pick and place* untuk ketinggian 0 - 0 cm



Dokumentasi: Beban uji 15 gram dengan air sebagai pemberat



Dokumentasi: Beban uji botol 35 gram dengan air sebagai pemberat



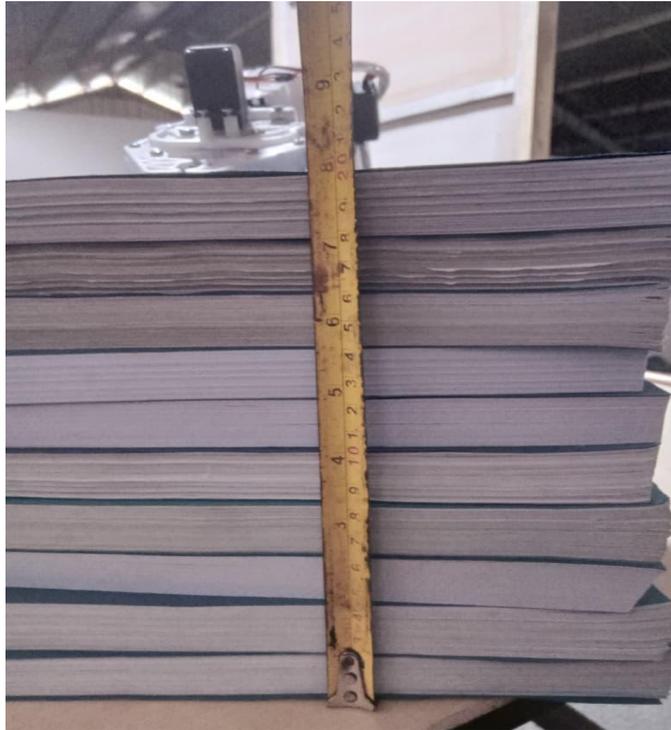
Dokumentasi: Beban uji 50 gram dengan air sebagai pemberat



Dokumentasi: Jarak uji pada papan selebar 60 cm



Dokumentasi: Media uji angkat beban dengan ketinggian 10 cm



Dokumentasi: Media uji angkat beban dengan ketinggian 20 cm

```
Arm_Robot_ESP32 | Arduino IDE 1.8.6
Select Board
Arm_Robot_ESP32.ino
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <ESP32Servo.h>
4 #define BLYNK_PRINT Serial
5 #include <BlynkSimpleEsp32.h>
6 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "IkQk0NV39ULgx8dub4-brZ3Di0UV013W" // Token dashboard blynk
7 char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
8 char ssid[] = "Galaxy";
9 char pass[] = "12345678";
10
11 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
12 Servo myservo, myservo2, myservo3, myservo4, myservo5, myservo6 ;
13 int pass;
14 int saklarOpsi;
15 int R1 = 2;
16 int a = 180;
17 int b = 90;
18 int c = 90;
19 int d = 90;
20 int e = 90;
21 int f = 90;
22 int g;
23 int h;
24 const int stepPin = 26;
25 const int dirPin = 25;
26
27 int limit1 = 12;
28 int limit2 = 13;
29
30
31 int lim1;
32 int lim2;
33 int trig1_IN;
34 int trig2_IN;
35 int stepper1 ;
36 int stepper2 ;
37
```

```

Arm_Robot_ESP32.ino
38 int servo1_r ;
39 int servo1_l ;
40 int servo2_r ;
41 int servo2_l ;
42 int servo3_r ;
43 int servo3_l ;
44 int servo4_r ;
45 int servo4_l ;
46
47 BLYNK_WRITE(V0) {
48   servo1_r = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
49 }
50 BLYNK_WRITE(V1) {
51   servo1_l = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
52 }
53 BLYNK_WRITE(V2) {
54   servo2_r = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
55 }
56 BLYNK_WRITE(V3) {
57   servo2_l = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
58 }
59 BLYNK_WRITE(V4) {
60   servo3_r = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
61 }
62 BLYNK_WRITE(V5) {
63   servo3_l = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
64 }
65 BLYNK_WRITE(V6) {
66   servo4_r = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
67 }
68 BLYNK_WRITE(V7) {
69   servo4_l = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
70 }
71 BLYNK_WRITE(V8) {
72   stepper1 = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
73 }
74 BLYNK_WRITE(V9) {

```

```

75   stepper2 = param.asInt(); // Variabel saklaropsi IOT
76 }
77 void setup()
78 {
79   // Debug console
80   Serial.begin(9600);
81   lcd.begin();
82   lcd.backlight();
83
84   myservo.attach(15);
85   myservo2.attach(16);
86   myservo3.attach(17);
87   myservo4.attach(5);
88
89   myservo.write(a);
90   myservo2.write(b);
91   myservo3.write(c);
92   myservo4.write(d);
93
94
95   pinMode(stepPin,OUTPUT);
96   pinMode(dirPin,OUTPUT);
97
98   pinMode(limit1,INPUT_PULLUP);
99   pinMode(limit2,INPUT_PULLUP);
100
101   lcd.setCursor(0,0);
102   lcd.print(" ARM ROBOT ");
103   lcd.setCursor(0,1);
104   lcd.print(" ESP32 IOT ");
105   delay(2000);
106
107   Blynk.begin(auth, ssid, pass, "blynk.cloud", 80);
108   delay(1000);
109   lcd.clear();
110   lcd.setCursor(0,0);
111   lcd.print("Sv1:");

```

```

Arm_Robot_ESP32.ino
148   if(servo1_r == HIGH){ // D4
149     a = a+5;
150     if(a>180){
151       a=180;
152     }
153   }
154   if(servo1_l == HIGH){ // D15
155     a = a-5;
156     if(a<0){
157       a=0;
158     }
159   }
160   myservo.write(a);
161 //===== SERVO 2 =====
162   if(servo2_r == HIGH){ // D16
163     b = b+1;
164     if(b>180){
165       b=180;
166     }
167   }
168   if(servo2_l == HIGH){ // D17
169     b = b-1;
170     if(b<0){
171       b=0;
172     }
173   }
174   myservo2.write(b);
175 //===== SERVO 3 =====
176   if(servo3_r == HIGH){ // D5
177     c = c+1;
178     if(c>180){
179       c=180;
180     }
181   }
182   if(servo3_l == HIGH){ // D18
183     c = c-1;
184     if(c<0){

```

```
Arm_Robot_ESP32.ino
185     c=0;
186   }
187 }
188 myservo3.write(c);
189 //=====SERVO 4 =====
190 if(servo4_r == HIGH){ // D19
191   d = d+1;
192   if(d>180){
193     d=180;
194   }
195 }
196 if(servo4_l == HIGH){ // D21
197   d = d-1;
198   if(d<0){
199     d=0;
200   }
201 }
202 myservo4.write(d);
203
204 //=====Servo1=====
205 if(a==100){
206   lcd.setCursor(4,0);
207   lcd.print(a);
208 }
209 if(a>9 && a<100){
210   lcd.setCursor(5,0);
211   lcd.print(a);
212   lcd.setCursor(4,0);
213   lcd.print("0");
214 }
215 if(a<10){
216   lcd.setCursor(6,0);
217   lcd.print(a);
218   lcd.setCursor(4,0);
219   lcd.print("0");
220   lcd.setCursor(5,0);
221   lcd.print("0");
222 }
223 //=====Servo3=====
224 if(c==100){
225   lcd.setCursor(4,1);
226   lcd.print(c);
227 }
228 if(c>9 && c<100){
229   lcd.setCursor(5,1);
230   lcd.print(c);
231   lcd.setCursor(4,1);
232   lcd.print("0");
233 }
234 if(c<10){
235   lcd.setCursor(6,1);
236   lcd.print(c);
237   lcd.setCursor(4,1);
238   lcd.print("0");
239   lcd.setCursor(5,1);
240   lcd.print("0");
241 }
242 //=====Servo2=====
243 if(b==100){
244   lcd.setCursor(12,0);
245   lcd.print(b);
246 }
247 if(b>9 && b<100){
248   lcd.setCursor(13,0);
249   lcd.print(b);
250   lcd.setCursor(12,0);
251   lcd.print("0");
252 }
253 if(b<10){
254   lcd.setCursor(14,0);
255   lcd.print(b);
256   lcd.setCursor(12,0);
257   lcd.print("0");
258   lcd.setCursor(13,0);
259   lcd.print("0");
260 }
261 //=====Servo4=====
262 if(d==100){
263   lcd.setCursor(12,1);
264   lcd.print(d);
265 }
266 if(d>9 && d<100){
267   lcd.setCursor(13,1);
268   lcd.print(d);
269   lcd.setCursor(12,1);
270   lcd.print("0");
271 }
272 if(d<10){
273   lcd.setCursor(14,1);
274   lcd.print(d);
275   lcd.setCursor(12,1);
276   lcd.print("0");
277   lcd.setCursor(13,1);
278   lcd.print("0");
279 }
280 Serial.print(steeper1);
281 Serial.print(" ---");
282 Serial.print(steeper2);
283 Serial.print(" ---");
284 Serial.print("lim1");
285 Serial.print(" ---");
286 Serial.print("lim2");
287 Serial.println(lin2);
288
289 }
```

Dokumentasi: Hasil rancangan pemrograman pada software Arduino IDE

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Implementasi Sistem Pengendali Lengan Robot 3 DoF Berbasis *Internet of Things*
 Nama : Rahmad Daffa Fauzan
 NPM : 2107230009
 Dosen Pembimbing : Dr. Khairul Umurani, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
		- Perbaiki Latar Belakang	ke
		- Perbaiki Penulisan	ke
		- Tambahkan Grafik	ke
		- Revisi Tabel Hasil Uji	ke
		- Tambah Isi Bab IV	ke
		- Tambah yang diteliti	ke
		- Tambah Kesimpulan	ke
		- Revisi Hasil Uji	ke
		- Perbaiki hasil & pembahasan	ke
		- Perbaiki kesimpulan	ke
	02,-09-2025	- Aze, seminar hasil	ke



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Ppj/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [f umsumedan](#) [i umsumedan](#) [t umsumedan](#) [u umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 539/IL.3AU/UMSU-07/F/2025

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 8 Maret 2025 dengan ini Menetapkan :

Nama : RAHMAD DAFFA FAUZAN
Npm : 2107230009
Program Studi : TEKNIK Mesin
Semester : 8 (Delapan)
Judul Tugas Akhir : IMPLEMENTASI SISTEM PENGENDALI LENGAN ROBOT 3 DOF BERBASIS INTERNET OF THINGS .

Pembimbing : Dr . KHAIRUL UMURANI ST.MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

5. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin .
6. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 8 Ramadhan 1446 H
8 Maret 2025 M

Dekan



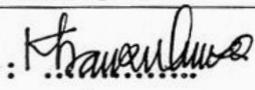
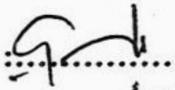
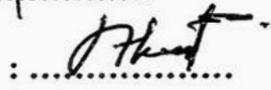
Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202

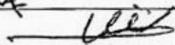


**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK Mesin
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2024 – 2025**

Peserta seminar

Nama : Rahmad Daffa Fauzan
 NPM : 2107230009
 Judul Tugas Akhir : Implementasi Sistem Pengendali Lengan Robot 3 DOF
 Berbasis Internet Of Things (IOT)

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Dr Khairul Umurani ST.MT	: 
Pemanding – I : Chandra A Siregar ST. MT	: 
Pemanding – II : Ahmad Marabdi Siregar ST.MT	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2107230096	ADI PERNANDA SRG	
2	2107230093	FATMURAHMAN BAKU KUSUMA	
3	2107230073	M. ARIEF FAUZAN	
4	2107230013	M. ALFIANDI	
5	2107230036	Jamil Al Hamid Nasution	
6	2107220012	Jodi Firman Sihombing	
7	2107230047	AJAY FERDIANDITA	
8			
9			
10			

Medan 11 Rabiul Awal 1447 H
04 September 2025 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Rahmad Daffa Fauzan
NPM : 2107230009
Judul Tugas Akhir : Implementasi Sistem Pengendali Lengan Robot 3 DOF
Berbasis Internet Of Things (IOT)

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar ST.MT
Dosen Pembanding – II : Ahmad Marabdi Siregar ST.MT
Dosen Pembimbing – I : Dr Khairul Umurani ST.MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

alat baru akhir

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 11 Rabiul Awal 1447 H
04 September 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- I



Chandra A Siregar ST.MT

Chandra A Siregar ST.MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Rahmad Daffa Fauzan
NPM : 2107230009
Judul Tugas Akhir : Implementasi Sistem Pengendali Lengan Robot 3 DOF
Berbasis Internet Of Things (IOT)

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar ST.MT
Dosen Pembanding – II : Ahmad Marabdi Siregar ST.MT
Dosen Pembimbing – I : Dr Khairul Umurani ST.MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ②. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

..... *lihat skripsi*

.....

.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....

.....

.....

Medan 11 Rabiul Awal 1447 H
04 September 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar ST.MT

Dosen Pembanding- II



Ahmad Marabdi Siregar ST.MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Rahmad Daffa Fauzan
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 28 Oktober 2003
Alamat : Jl. Eka Suka Gg. Saudara No. 1 LK III
Agama : Islam
Email : rdaffa25@gmail.com
No HP : 081260903003

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2008 – 2009 : TK Nurul Azizi Medan
2. 2009 – 2015 : SD Yayasan Harapan Mandiri Medan
3. 2015 – 2018 : SMP Negeri 2 Medan
4. 2018 – 2021 : Teknik Mesin, SMK Negeri 1 Percut Sei Tuan
5. 2021 – 2025 : S-1 Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara