

Rancang Bangun Robot Manipulator Untuk Penanganan Bahan Berbahaya di Laboratorium Berbasis IOT

Iba Yusufi ¹, Mariska Putri Pratiwi ²

¹ Universitas Putera Batam; pb220210076@upbatam.ac.id

² Universitas Putera Batam; mrskaptrw@gmail.com

Abstrak: Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) dan Standard Operasional Procedure (SOP) pada proses uji sterilisasi di laboratorium memiliki kelemahan dalam hal mobilitas dan kedisiplinan pekerja. Studi ini bertujuan untuk membangun robot manipulator berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dapat dikendalikan dari jarak jauh untuk memindahkan objek cair mengandung bakteri dari wadah ke wadah lain yang berisi sampel produk guna mengurangi risiko kontaminasi langsung bagi pekerja. Perangkat yang digunakan adalah Aplikasi *Windows*, Mikrokontroler Arduino, motor servo MG996R, dan modul Bluetooth HC-05. Metode yang diterapkan adalah Prototype Evaluation yang melibatkan Studi Literatur, Desain Sistem, Implementasi dan Evaluasi Kinerja. Evaluasi kinerja dilakukan menggunakan parameter kuantitatif termasuk waktu respons, delay transmisi, dan akurasi pergerakan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem mencapai waktu respons rata-rata 140,8 ms, penundaan komunikasi 0,83 ms, dan akurasi pergerakan 98,33%. Robot mampu beroperasi dalam jangkauan kontrol hingga 15 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan mampu beroperasi dalam kondisi mendekati waktu nyata dan berpotensi meningkatkan keselamatan di lingkungan laboratorium dengan meminimalkan paparan langsung manusia terhadap bahan berbahaya.

Keywords: Internet Of Things; Robot Manipulator; Windows Form App; Arduino.

DOI: <https://doi.org/10.47134/jacis.v6i1.168>

*Correspondensi: Iba Yusufi

Email: pb220210076@upbatam.ac.id

Receive: 26 Desember 2025

Accepted: 15 April 2026

Published: 29 April 2026



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The use of Personal Protective Equipment (PPE) and Standard Operating Procedures (SOP) in the sterilization test process in the laboratory has weaknesses in terms of worker mobility and discipline. This study aims to build an Internet of Things (IoT)-based manipulator robot that can be controlled remotely to move liquid objects containing bacteria from one container to another containing product samples to reduce the risk of direct contamination for workers. The devices used are a Windows application, an Arduino microcontroller, a MG996R servo motor, and a HC-05 Bluetooth module. The method applied is Prototype Evaluation involving Literature Study, System Design, Implementation and Performance Evaluation. Performance evaluation was carried out using quantitative parameters including response time, transmission delay, and movement accuracy. The experimental results showed that the system achieved an average response time of 140.8 ms, a communication delay of 0.83 ms, and a movement accuracy of 98.33%. The robot was able to operate within a control range of up to 15 meters. These results indicate that the proposed system is capable of risk in near-real-time conditions and has the potential to improve safety in laboratory environments by minimizing direct human exposure to hazardous materials.

Keywords: Internet Of Things; Robot Manipulator; Windows Form App; Arduino.

PENDAHULUAN

Laboratorium merupakan salah satu komponen penting dalam dunia industri yang berfungsi sebagai tempat pengujian, pengembangan produk, serta pemenuhan standar regulasi. Dalam praktiknya, aktivitas laboratorium sering melibatkan bahan berbahaya yang berpotensi menimbulkan risiko terhadap keselamatan dan kesehatan pekerja. Salah satu contoh adalah proses pemindahan bakteri ke dalam sampel produk pada uji sterilitas, yang memerlukan ketelitian tinggi serta prosedur penanganan khusus. Untuk meminimalkan risiko tersebut, perusahaan umumnya menerapkan *Standard Operating Procedure* (SOP) yang ketat, termasuk penggunaan Alat Pelindung Diri (APD)[1]. Namun demikian, penerapan SOP dan penggunaan APD masih memiliki sejumlah keterbatasan, seperti potensi terjadinya kontaminasi, kelelahan pekerja, tingkat kedisiplinan yang bervariasi, serta keterbatasan aksesibilitas dalam menangani objek tertentu. Kondisi ini menunjukkan bahwa pendekatan konvensional belum sepenuhnya mampu menghilangkan risiko, sehingga diperlukan solusi berbasis teknologi yang dapat meminimalkan interaksi langsung antara manusia dengan bahan berbahaya[2].

Seiring dengan perkembangan teknologi, robotika dan *Internet of Things* (IoT) telah mendorong berbagai inovasi dalam pengembangan robot manipulator untuk mendukung pekerjaan berisiko tinggi. Robot manipulator, khususnya *robot arm*, memiliki keunggulan dalam hal presisi, konsistensi, serta kemampuan bekerja secara berulang dalam berbagai kondisi lingkungan, termasuk lingkungan ekstrem[2]. Berbagai penelitian telah mengkaji penerapan robot manipulator untuk pemindahan objek dengan memanfaatkan sistem kendali berbasis mikrokontroler dan aktuator servo[2]. Selain itu, integrasi komunikasi nirkabel seperti *Bluetooth* serta teknologi IoT berbasis jaringan internet telah digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas dan jangkauan kendali sistem[3]. Pemanfaatan IoT juga memungkinkan robot dikendalikan secara *real-time* melalui perangkat seperti *smartphone*, sekaligus mendukung proses monitoring dan otomasi secara lebih efisien[2].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus pada otomatisasi umum dan pemindahan objek dalam lingkungan industri yang relatif terkontrol[4]. Kajian yang secara spesifik mengarah pada pemanfaatan robot manipulator untuk penanganan bahan berbahaya di lingkungan laboratorium masih terbatas. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian, khususnya dalam aspek penerapan sistem yang benar-benar sesuai dengan kebutuhan operasional di lapangan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan rancang bangun prototipe robot manipulator berbasis IoT yang dikendalikan melalui aplikasi berbasis Windows dengan dukungan komunikasi *Bluetooth*. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada fleksibilitas sistem kendali yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan proses, sehingga robot dapat berfungsi sebagai perpanjangan tangan operator dalam menangani bahan berbahaya. Dengan pendekatan ini, sistem tidak hanya ditujukan untuk proses pemindahan cairan berbahaya pada uji sterilitas, tetapi juga berpotensi diterapkan pada berbagai skenario lain dengan tingkat risiko serupa.

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi kinerja sistem robot manipulator dalam mengurangi interaksi langsung manusia dengan bahan berbahaya pada proses uji sterilitas di laboratorium. Dengan demikian, diharapkan sistem yang dikembangkan dapat meningkatkan tingkat keselamatan kerja sekaligus mendukung efisiensi operasional.

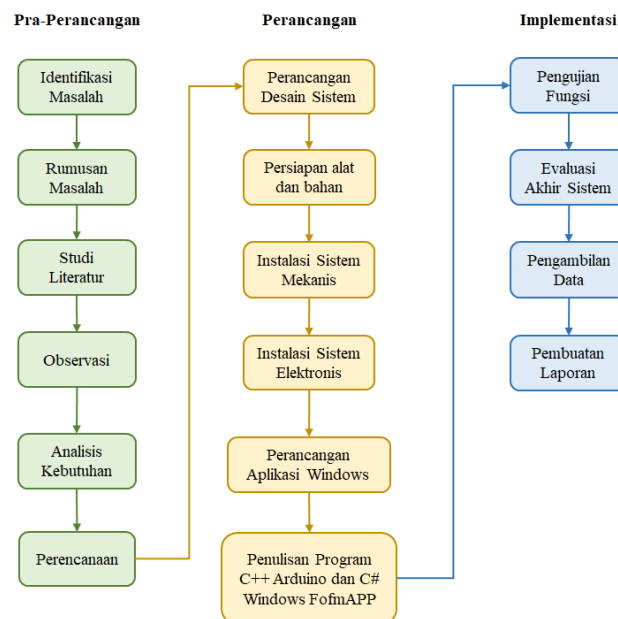
METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Prototype Evaluation* yang meliputi studi literatur, desain sistem, implementasi, dan evaluasi kinerja[5]. Evaluasi dilakukan menggunakan parameter kuantitatif berupa waktu respons, delay komunikasi, akurasi pergerakan, dan jangkauan koneksi. Waktu respons diukur sebagai selang antara input pengguna dan pergerakan servo, sedangkan delay komunikasi menunjukkan latensi transmisi data. Akurasi dihitung berdasarkan perbandingan sudut perintah dan sudut aktual, sementara jangkauan koneksi mengukur jarak efektif komunikasi Bluetooth.

Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan variasi perintah kontrol. Waktu respons diukur sejak perintah dikirim hingga servo bergerak, sedangkan akurasi dianalisis dari perbandingan sudut target dan aktual. Pengujian disimulasikan pada proses pemindahan objek cair yang diasumsikan mengandung bakteri dalam skenario uji sterilitas di laboratorium.

Desain Penelitian

Desain penelitian ini terdiri dari tiga tahap utama, yaitu pra-perancangan, perancangan, dan implementasi. Tahap pra-perancangan meliputi identifikasi dan perumusan masalah, studi literatur, observasi, serta analisis kebutuhan sebagai dasar perencanaan sistem.



Gambar 1. Desain Penelitian

Tahap perancangan mencakup pengembangan desain sistem secara menyeluruh, termasuk arsitektur dan alur kerja robot, persiapan alat dan bahan, instalasi sistem mekanis dan

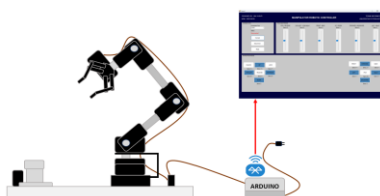
elektronis, serta pengembangan aplikasi berbasis Windows dan pemrograman Arduino untuk integrasi sistem.

Tahap implementasi difokuskan pada pengujian dan evaluasi sistem untuk memastikan kinerja sesuai desain. Data hasil pengujian dianalisis sebagai dasar penarikan kesimpulan dan penyusunan laporan. Rangkuman desain penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Desain Sistem

Sistem yang dikembangkan terdiri dari tiga komponen utama, yaitu aplikasi berbasis Windows, sistem mekanis, dan sistem elektronik yang terintegrasi. Aplikasi Windows berfungsi sebagai *user interface* untuk mengirimkan perintah pergerakan robot melalui Bluetooth (HC-05) ke Arduino Uno sebagai pengendali utama. Arduino kemudian memproses perintah tersebut menjadi instruksi untuk menggerakkan aktuator pada sistem mekanis yang dirancang menyerupai lengan manusia.

Alur kerja sistem dimulai dari input pengguna, dilanjutkan dengan transmisi data, pemrosesan oleh Arduino, hingga menghasilkan pergerakan robot secara *real-time*. Hubungan antar komponen ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Sistem

Alat dan Bahan

Berdasarkan desain sistem, diperlukan komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang saling terintegrasi untuk mendukung implementasi robot manipulator. Perangkat keras meliputi Arduino Uno sebagai pengendali, modul Bluetooth HC-05 sebagai media komunikasi, serta komponen mekanis seperti motor servo dan rangka robot sebagai aktuator dan struktur sistem. Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE dan Visual Studio untuk pengembangan program. Rincian alat dan bahan disajikan pada Tabel 1.

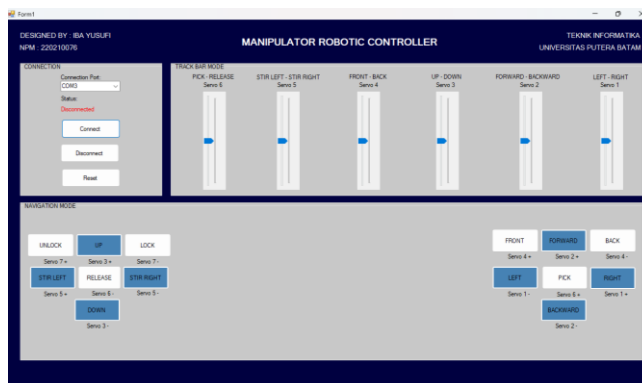
Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Komponen	Fungsi	Jumlah	Satuan
1	Arduino uno r3 DIP	Mikrokontroler	1	buah
2	Module HC-05	Modul Bluetooth	1	buah
3	Servo Bracket	Penggerak Mekanis	1	set
4	Motor Servo MG996R	Kerangka Mekanis	7	buah
5	Kabel Jumper	Connector	20	buah
6	Power Supply 5V/18A	Supply Listrik DC	1	buah
7	Kabel Stecker	Connector Listrik	1	buah
8	Papan Akrilik	Mekanik Hoslder	2	buah
9	Box Akrilik	Box Packaging	1	buah
10	Kabel DC	Connector	1	meter
11	Visual Studio 2019	Pemrogram Aplikasi	1	buah

12	Arduino IDE	Pemrograman Arduino	1	buah
13	Laptop	Programming	1	unit

Desain Aplikasi

Desain aplikasi pada penelitian ini difokuskan sebagai antarmuka kendali (*controller interface*) yang memungkinkan pengguna mengoperasikan robot manipulator secara interaktif. Aplikasi dikembangkan berbasis Windows menggunakan *Windows Form Application* dan berfungsi sebagai media utama dalam mengirimkan perintah kendali ke sistem melalui komunikasi Bluetooth. Tampilan antarmuka aplikasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Aplikasi Controller

Desain aplikasi difokuskan sebagai *controller interface* berbasis Windows (*Windows Form Application*) yang memungkinkan pengendalian robot manipulator melalui komunikasi Bluetooth[6]. Aplikasi berfungsi untuk mengirim perintah sekaligus memantau posisi aktuator secara *real-time*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Antarmuka terdiri dari tiga panel utama, yaitu *Connection*, *Trackbar Mode*, dan *Navigation Mode*. Panel *Connection* digunakan untuk mengelola koneksi Bluetooth[7], memilih port, serta melakukan *connect*, *disconnect*, dan *reset* posisi servo ke sudut awal (90°). Panel *Trackbar Mode* menyediakan enam *trackbar* dengan rentang 0°–180° untuk mengatur dan memantau posisi sudut servo secara presisi. Sementara itu, panel *Navigation Mode* berisi tombol navigasi untuk mengendalikan gerakan robot secara langsung melalui penyesuaian sudut servo secara bertahap[8].

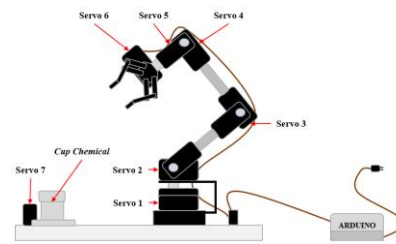
Integrasi ketiga panel tersebut memungkinkan pengendalian robot yang fleksibel, baik secara presisi maupun cepat, sehingga mendukung operasional sistem yang responsif dan mudah digunakan.

Desain Sistem Mekanis

Desain sistem mekanis dirancang untuk mendukung fleksibilitas dan presisi gerakan robot manipulator dalam pemindahan objek. Sistem terdiri dari mekanik statis sebagai kerangka penopang dan mekanik dinamis sebagai bagian yang bergerak.

Robot menggunakan konfigurasi 6-DOF, di mana setiap sumbu dikendalikan oleh motor servo MG996R untuk menghasilkan gerakan seperti rotasi dan elevasi yang menyerupai lengan manusia[9]. Setiap servo ditempatkan pada titik sendi untuk memastikan koordinasi gerakan yang terintegrasi.

Selain itu, sistem dilengkapi aktuator tambahan sebagai mekanisme pengunci objek guna menjaga stabilitas selama proses manipulasi. Secara keseluruhan, desain ini mengadopsi konsep *human-like manipulator* yang terintegrasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



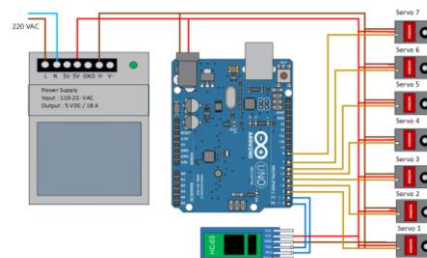
Gambar 4. Desain Sistem Mekanis

Desain Sistem Elektronis

Desain sistem elektronis berfungsi sebagai pusat kendali yang mengintegrasikan komunikasi, pemrosesan data, dan aktuasi pada robot manipulator. Sistem menggunakan Arduino Uno yang terhubung dengan tujuh motor servo sebagai aktuator serta modul Bluetooth HC-05 sebagai media komunikasi.

Setiap servo dihubungkan ke pin digital Arduino (pin 2–8) melalui sinyal PWM untuk mengatur posisi sudut secara independen. Komunikasi antara Arduino dan HC-05 menggunakan antarmuka serial (UART) yang memungkinkan pertukaran data dua arah secara *real-time*.

Seluruh komponen memperoleh catu daya 5 VDC dengan konfigurasi *common ground* untuk menjaga kestabilan sistem. Secara keseluruhan, desain ini mendukung kinerja robot yang stabil dan responsif, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain Sistem Elektronis

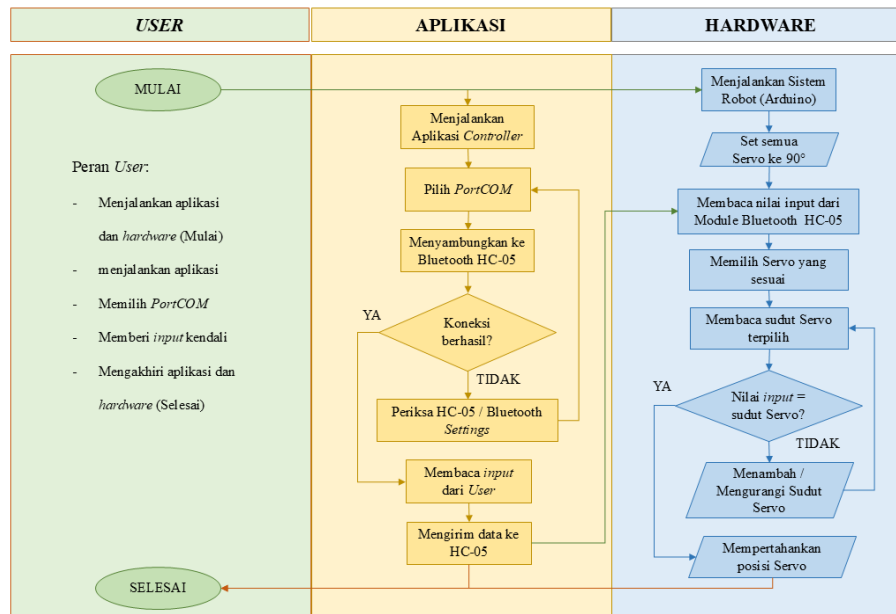
Flow Chart

Alur kerja sistem robot manipulator digambarkan melalui flowchart yang menunjukkan interaksi antara pengguna, aplikasi, dan perangkat keras. Proses dimulai dari pengguna menjalankan aplikasi, memilih port komunikasi, dan melakukan koneksi dengan modul Bluetooth HC-05. Jika koneksi berhasil, sistem membaca input pengguna; jika gagal, dilakukan pengecekan ulang koneksi.

Perintah kemudian dikirim ke Arduino untuk diproses menjadi instruksi pergerakan servo. Sistem akan menyesuaikan sudut servo sesuai perintah atau mempertahankan posisi jika tidak ada perubahan.

Secara keseluruhan, sistem bekerja secara interaktif dan *real-time* melalui komunikasi dua arah antara aplikasi dan perangkat keras. Alur lengkap ditunjukkan pada Gambar 6, dan

digunakan sebagai dasar pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem dari aspek komunikasi, respons, dan akurasi pergerakan



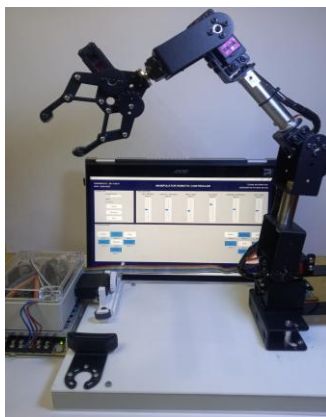
Gambar 6. Flowchart Sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sistem robot manipulator berbasis IoT yang dibangun menggunakan Arduino Uno, motor servo MG996R sebagai aktuator, serta modul Bluetooth HC-05 sebagai media komunikasi antara robot dan aplikasi berbasis Windows. Sistem dikembangkan melalui tahap perancangan, integrasi, dan pengujian untuk mensimulasikan pemindahan objek cair berbahaya.

Hasil Perancangan Sistem

Robot manipulator dirancang menyerupai lengan manusia (*human-like manipulator*) dengan enam motor servo sebagai penggerak utama dan satu servo tambahan sebagai mekanisme pengunci untuk menjaga stabilitas objek selama manipulasi. Struktur mekanik menggunakan kombinasi *servo mounting*, pipa aluminium, dan akrilik, sehingga menghasilkan konstruksi yang cukup kokoh dan ringan. Hasil perakitan menunjukkan bahwa robot mampu melakukan gerakan dasar serta menjepit pipet untuk proses pemindahan cairan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Struktur Mekanik

Integrasi sistem elektronis dilakukan dengan menghubungkan Arduino, motor servo, dan modul Bluetooth sesuai dengan skematik, disertai penataan komponen untuk menjaga kestabilan sistem. Dari sisi perangkat lunak, aplikasi GUI dikembangkan sebagai antarmuka kendali yang terdiri dari tiga fungsi utama, yaitu pengelolaan koneksi, kontrol navigasi, dan pengaturan sudut servo. Integrasi ini memungkinkan robot dikendalikan secara interaktif dan responsif.

Pengujian Operasional Memindah Objek Cair

Pengujian operasional dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan robot manipulator dalam memindahkan objek cair sebagai simulasi penanganan bahan berbahaya. Pengujian menggunakan pipet yang dijepit oleh gripper untuk mengambil dan memindahkan cairan antar wadah.

Hasil menunjukkan bahwa robot mampu merespons perintah dari aplikasi dengan baik dan melakukan rangkaian gerakan secara tepat, mulai dari mendekati objek, menjepit, mengangkat, hingga memindahkan cairan. Sistem juga menunjukkan koordinasi gerak yang stabil tanpa kegagalan mekanis signifikan, serta kemampuan gripper yang cukup presisi.

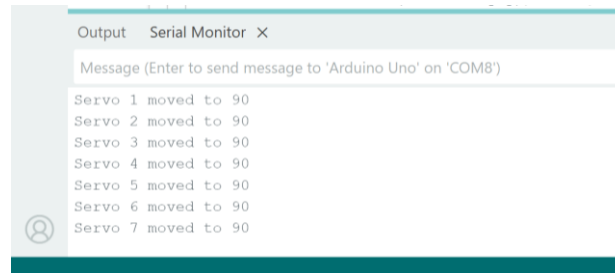


Gambar 8. Hasil Pengujian Operasional

Berdasarkan Gambar 8 maka secara keseluruhan, sistem mampu menjalankan fungsi pemindahan objek cair secara semi-otomatis, meskipun hasil pengujian masih bersifat kualitatif dan memerlukan evaluasi kuantitatif lebih lanjut untuk mengukur kinerja secara komprehensif.

Pengujian sinkronisasi sudut servo dengan instruksi dari aplikasi.

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi tingkat sinkronisasi antara instruksi yang diberikan melalui aplikasi pengendali dengan respons aktual pergerakan sudut pada masing-masing motor servo. Proses pengujian dilakukan dengan mengirimkan perintah sudut tertentu melalui aplikasi, kemudian memantau nilai sudut yang diterima dan dieksekusi oleh Arduino melalui serial monitor, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pembacaan Sudut *Servo* Pada Serial Monitor

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, seluruh motor servo memiliki posisi awal sebesar 90° , yang berfungsi sebagai titik netral (default position) sebelum sistem menerima perintah lanjutan. Setelah dilakukan pengujian, masing-masing servo menunjukkan rentang sudut aktual yang berbeda-beda. Perbedaan ini dipengaruhi oleh faktor mekanis dan konfigurasi struktur robot manipulator.

Beberapa servo, seperti Servo 2, Servo 3, dan Servo 6, mampu mencapai rentang sudut mendekati penuh (0° – 180°), yang menunjukkan bahwa tidak terdapat hambatan signifikan pada pergerakan mekanisnya. Sebaliknya, servo lainnya, seperti Servo 4, Servo 5, dan Servo 7, memiliki keterbatasan dalam rentang sudut gerak. Hal ini disebabkan oleh adanya batasan fisik pada struktur mekanik, seperti posisi pemasangan, panjang lengan, serta potensi terjadinya interferensi antar komponen saat bergerak.

Selain itu, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem mampu mengembalikan posisi seluruh servo ke sudut awal (90°) melalui fungsi reset, yang menandakan bahwa mekanisme kontrol dan komunikasi antara aplikasi dan perangkat keras berjalan dengan baik. Secara keseluruhan, pengujian ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki tingkat sinkronisasi yang baik antara perintah input dan respons aktuator, meskipun masih terdapat keterbatasan pada aspek jangkauan gerak akibat desain mekanis. Perbedaan antara sudut perintah dan sudut aktual yang dihasilkan juga dapat digunakan sebagai indikator awal untuk mengukur tingkat akurasi sistem, yang pada penelitian selanjutnya dapat dianalisis secara kuantitatif.

Tabel 2. Pengujian Sudut Servo

Nomor Servo	Posisi Awal	Actual Angle Range	Reset
Servo 1	90	0-177	90
Servo 2	90	0-180	90
Servo 3	90	0-180	90
Servo 4	90	0-137	90
Servo 5	90	62-139	90
Servo 6	90	0-180	90
Servo 7	90	0-131	90

Pengujian Jarak Koneksi Bluetooth

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi jangkauan efektif komunikasi Bluetooth antara aplikasi pengendali dan sistem robot manipulator. Pengujian dilakukan dengan meningkatkan jarak secara bertahap antara perangkat pengendali dan robot, kemudian mengamati status koneksi serta respons sistem terhadap perintah yang diberikan.

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 3, sistem menunjukkan bahwa koneksi Bluetooth tetap stabil hingga jarak 12 meter. Pada rentang jarak tersebut, robot masih mampu menerima dan mengeksekusi perintah dari aplikasi tanpa menunjukkan penurunan respons yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa performa komunikasi sistem mampu melampaui spesifikasi umum modul Bluetooth HC-05 yang umumnya memiliki jangkauan efektif sekitar 10 meter.

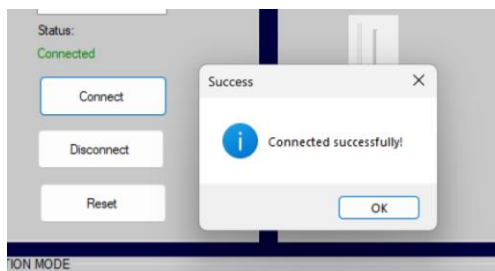
Namun, pada jarak 13 meter, koneksi antara aplikasi dan robot tidak lagi dapat dipertahankan, sehingga sistem tidak mampu menerima perintah kendali. Kondisi ini menandakan batas maksimum jangkauan komunikasi efektif pada lingkungan pengujian yang digunakan. Faktor lingkungan seperti adanya hambatan fisik, interferensi sinyal, serta kondisi ruang pengujian juga berpotensi mempengaruhi stabilitas koneksi Bluetooth.

Tabel 3. Hasil Pengujian Respon Gerak

No	Jarak (Meter)	Status Koneksi
1	1	Terhubung
2	2	Terhubung
3	3	Terhubung
4	4	Terhubung
5	5	Terhubung
6	6	Terhubung
7	7	Terhubung
8	8	Terhubung
9	9	Terhubung
10	10	Terhubung
11	11	Terhubung
12	12	Terhubung
13	13	Tidak Terhubung

Selain itu, status koneksi antara aplikasi dan robot dapat dimonitor secara langsung melalui antarmuka aplikasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 10, yang menampilkan indikator keberhasilan koneksi (*connected successfully*).

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem memiliki jangkauan komunikasi yang cukup baik untuk kebutuhan operasional jarak dekat, meskipun masih memiliki keterbatasan pada jarak tertentu yang perlu dipertimbangkan dalam implementasi di lingkungan nyata. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi yang digunakan cukup andal untuk skenario pengendalian dalam ruang terbatas, namun untuk pengembangan lebih lanjut dapat dipertimbangkan penggunaan teknologi komunikasi dengan jangkauan yang lebih luas seperti Wi-Fi atau LoRa.



Gambar 10. Status Koneksi

Analisis Kinerja Aplikasi

Aplikasi berbasis Windows pada sistem ini berfungsi sebagai pengirim perintah kendali ke robot manipulator melalui komunikasi Bluetooth. Data yang dikirimkan berupa kombinasi string dan nilai numerik (integer) yang merepresentasikan identitas servo dan sudut pergerakan dalam format “S x Ay”.

Analisis kinerja aplikasi dilakukan dengan mengukur waktu respons sistem, yaitu selang waktu antara perintah yang diberikan melalui aplikasi hingga servo mulai bergerak. Untuk menjaga konsistensi pengujian, setiap percobaan diberikan parameter delay tetap sebesar 3000 ms sebagai acuan waktu pengiriman perintah.

Berdasarkan hasil pengujian sebanyak 10 kali yang disajikan pada Tabel 4, diperoleh nilai waktu respons yang bervariasi untuk setiap jenis perintah. Rata-rata waktu respons sistem dihitung dari seluruh hasil pengujian dan diperoleh nilai sebesar 140,8 ms.

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan respons yang relatif cepat, dengan waktu respons berada di bawah 200 ms. Hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi mampu mengirimkan perintah kendali secara near real-time, sehingga mendukung pengoperasian robot manipulator secara interaktif.

Tabel 4. Hasil Pengujian Respon Gerak

No	Tombol/Trackbar	Kode Serial	Waktu Kirim (ms)	Delay (ms)	Respon (ms)
1	Button Right	S1A+	3130	3000	130
2	Button Forward	S2A+	3145	3000	145
3	Button Up	S3A+	3120	3000	120
4	Button Front	S4A+	3160	3000	160
5	Button Stir Right	S5A+	3140	3000	140
6	Button Pick	S6A+	3150	3000	150
7	Button Lock	S7A+	3135	3000	135
8	Trackbar Right	S1A+	3155	3000	155
9	Button Reset	S1-7A	3125	3000	125
10	Button Left	S1A-	3148	3000	148
Rata-Rata					1408

Analisis Kinerja Modul Bluetooth HC-05

Modul Bluetooth HC-05 pada sistem ini digunakan sebagai media komunikasi antara aplikasi berbasis Windows dan mikrokontroler Arduino. Modul ini dikonfigurasi menggunakan baud rate sebesar 9600 bps, yang merupakan kecepatan standar untuk komunikasi serial pada sistem berbasis mikrokontroler. Data yang dikirimkan dalam setiap

perintah relatif kecil, yaitu berupa kombinasi karakter yang merepresentasikan identitas servo dan nilai sudut pergerakan.

Berdasarkan karakteristik tersebut, waktu transmisi data yang terjadi pada modul Bluetooth tergolong sangat singkat dan tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap keterlambatan (delay) sistem secara keseluruhan. Hal ini disebabkan oleh ukuran data yang kecil serta kecepatan transmisi yang memadai untuk kebutuhan pengendalian robot manipulator.

Namun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa delay total sistem tidak hanya dipengaruhi oleh waktu transmisi data. Faktor lain yang berkontribusi terhadap keterlambatan sistem meliputi proses pairing antara perangkat, mekanisme buffering pada komunikasi serial, serta waktu pemrosesan perintah oleh mikrokontroler Arduino. Selain itu, eksekusi pergerakan aktuator juga turut mempengaruhi waktu respons sistem secara keseluruhan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa performa komunikasi Bluetooth pada sistem ini sudah cukup optimal, dan keterlambatan yang terjadi lebih banyak disebabkan oleh faktor pemrosesan dan eksekusi sistem, bukan oleh keterbatasan media komunikasi itu sendiri.

Analisis Logika Program Arduino

Pada sistem ini, Arduino berfungsi untuk menerima data perintah dalam bentuk karakter dari aplikasi, kemudian menerjemahkannya menjadi instruksi sudut pergerakan pada motor servo menggunakan fungsi `servo.write()`. Nilai sudut yang diberikan ke servo berada pada rentang 0° hingga 180° , sedangkan nilai input dari aplikasi (melalui *trackbar*) berada pada rentang 0 hingga 100. Oleh karena itu, dilakukan proses konversi nilai input menjadi sudut servo secara proporsional agar sesuai dengan rentang kerja aktuator. Proses konversi ini bersifat linier, sehingga perubahan nilai input akan menghasilkan perubahan sudut servo secara proporsional.

Untuk mengevaluasi akurasi sistem, dilakukan perbandingan antara sudut perintah yang diberikan oleh aplikasi dengan sudut aktual yang dihasilkan oleh servo. Sebagai contoh, pada perintah sudut 180° , servo menghasilkan sudut aktual sebesar 177° . Berdasarkan hasil pengujian sebanyak 10 kali, diperoleh rata-rata selisih sudut sebesar $\pm 2,8^\circ$.

Nilai error tersebut masih berada dalam batas toleransi motor servo MG996R, yaitu berkisar antara 2° hingga 5° , sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengimplementasikan perintah sudut.

Dari sisi logika program, Arduino menggunakan struktur kontrol *conditional (if-else)* untuk mengidentifikasi setiap perintah yang masuk dan mengarahkannya ke servo yang sesuai. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap perintah hanya memengaruhi satu aktuator tertentu, sehingga dapat mengurangi potensi konflik antar servo dan menjaga kestabilan sistem secara keseluruhan.

Analisis Kinerja Sistem Mekanik

Motor servo MG996R yang digunakan pada sistem ini memiliki kemampuan torsi maksimum sekitar 11 kg-cm pada tegangan kerja 5V. Pada konfigurasi robot manipulator

yang dirancang, titik beban terbesar berada pada servo ke-3, karena posisi ini menanggung beban kumulatif dari bagian lengan dan objek yang diangkat.

Dengan mempertimbangkan panjang lengan dari titik beban ke posisi servo sekitar 20 cm, kemampuan angkat sistem secara teoritis berada pada kisaran $\pm 0,55$ kg. Nilai ini menunjukkan kapasitas maksimum yang dapat ditangani oleh sistem dalam kondisi ideal.

Dalam implementasi penelitian ini, beban objek cair yang digunakan hanya sekitar 0,02 kg, sehingga masih berada jauh di bawah batas maksimum kemampuan servo. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja dalam kondisi aman dan tidak mendekati batas kritis kinerja aktuator.

Namun demikian, hasil pengamatan menunjukkan bahwa performa servo cenderung mengalami penurunan ketika mendekati batas torsi maksimum, yang ditandai dengan berkurangnya kestabilan gerakan dan potensi terjadinya deviasi posisi. Oleh karena itu, dalam perancangan sistem manipulator, penting untuk mempertimbangkan faktor beban kerja agar tetap berada dalam rentang operasional yang optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa desain mekanik yang digunakan memiliki faktor keamanan (*safety factor*) yang cukup untuk mendukung operasional sistem secara berkelanjutan.

Pembahasan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem robot manipulator berbasis IoT mampu beroperasi secara efektif dengan waktu respons rata-rata 140,8 ms, yang termasuk kategori *near real-time*. Kinerja ini dipengaruhi oleh kecepatan pemrosesan mikrokontroler dan latensi komunikasi, sebagaimana juga dilaporkan pada penelitian sebelumnya [10]

Dari sisi mekanis, konfigurasi 6-DOF memberikan fleksibilitas gerakan yang cukup baik, meskipun beberapa keterbatasan muncul akibat desain struktur dan distribusi beban. Temuan ini sejalan dengan studi[4] yang menekankan pentingnya desain mekanik dalam performa manipulator.

Pada aspek komunikasi, modul Bluetooth HC-05 mampu bekerja stabil hingga jarak 12 meter, namun mengalami penurunan kinerja pada jarak lebih jauh, sesuai dengan karakteristik komunikasi jarak dekat yang dilaporkan oleh[2].

Secara keseluruhan, sistem efektif sebagai solusi semi-otomatis untuk mengurangi interaksi langsung dengan bahan berbahaya. Namun, pengembangan lebih lanjut diperlukan pada aspek akurasi kontrol, jangkauan komunikasi, dan otomatisasi berbasis sensor untuk meningkatkan kinerja sistem.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem robot manipulator berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan struktur mekanik menyerupai lengan manusia menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan motor servo MG996R sebagai aktuator. Integrasi sistem dengan aplikasi kontrol berbasis Windows melalui modul Bluetooth HC-05 menunjukkan kinerja yang baik, di mana robot dapat dikendalikan secara nirkabel dengan waktu respons yang relatif cepat (*near real-time*).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem komunikasi mampu bekerja secara stabil pada jarak operasional hingga lebih dari 12 meter, sehingga cukup memenuhi kebutuhan pengendalian dalam lingkungan laboratorium skala terbatas. Selain itu, robot manipulator mampu menjalankan fungsi utamanya dalam proses pemindahan objek cair sebagai simulasi penanganan bahan berbahaya pada uji sterilisasi.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan menunjukkan potensi sebagai solusi alternatif untuk mengurangi interaksi langsung manusia dengan bahan berbahaya, sehingga dapat meningkatkan aspek keselamatan kerja di lingkungan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. U. Mustari, E. S. Rahman, and Z. Zulhajji, "Analisis Implementasi Sistem Manajemen K3 Pada Laboratorium Teknik Instalasi Tenaga Listrik Sekolah Menengah Kejuruan Negeri di Kabupaten Gowa," *J. MEDIA Elektr.*, vol. 19, no. 2, pp. 120–126, 2022, doi: 10.59562/metrik.v19i2.5458.
- [2] S. Alam, G. Tjahjadi, N. R. Yenita, and S. Supriyadi, "Rancang Bangun Prototype Pengendalian Lengan Robot (Robotic Arm) Sebagai Pemindah Barang Berbasis Internet of Things," *Fakt. Exacta*, vol. 14, no. 3, p. 140, 2021, doi: 10.30998/faktorexacta.v14i3.9807.
- [3] H. Nurfaizal and Y. M. Djaksana, "Prototype Sistem Kendali Robot ARM Gripper Manipulator menggunakan Flex Sensor Dan MPU6050 Berbasis Internet of Things," vol. 13, no. 4, 2021, doi: 10.30998/faktorexacta.v13i4.6598.
- [4] A. Latifah and D. Irawan, "Simulasi dan Analisa Time Motion Robot Lengan 6-Axis Pada Proyek Otomasi Heating Line untuk Manufaktur Pegas Daun di PT. XYZ," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 11–22, 2025, doi: 10.30595/jrre.v7i1.26451.
- [5] A. Chairany, R. Buaton, and R. Puspadini, "Penerapan Internet of Things pada Mekanik Prototipe Robot Pengaduk Gabah," *Repeater Publ. Tek. Inform. dan Jar.*, vol. 3, no. 4, pp. 49–61, 2025, doi: 10.62951/repeater.v3i3.617.
- [6] M. F. Alfi Yasien and S. A. Sukarno, "Rancangan Sistem Kendali Nirkabel Lengan RObot Lima Derajat Kebebasan Berbasis Android dan Arduino UNO dengan Fitur Rekaman Gerakan," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 13, no. 1, pp. 1517–1522, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5987.
- [7] F. Nabila, "Implementasi Sistem Pintu Otomatis Berbasis Bluetooth Pada Lab CBT," *J. Inov. dan Kaji. Multidisiplin*, vol. 1, no. 1, pp. 19–30, 2025, doi: 10.62710/h5ze2779.
- [8] D. A. Patriawan, B. P. Natakusuma, A. A. Arifin, H. S. Maulana, H. Irawan, and B. Setyono, "Uji Presisi dari Nonholonomic Mobile Robot pada Rancang Bangun Sistem Navigasi," *J. Mech. Eng. Sci. Innov.*, vol. 1, no. 1, pp. 28–37, 2021, doi: 10.31284/j.jmesi.2021.v1i1.1760.
- [9] F. M. Tanzil Huda, Y. A. Riza Pratama, F. R. Saputra, R. Hadiazzaka, and A. S. Priambodo, "Penerapan Kinematika Terbalik Pada RObot Lengan Lima Sendi (5 DOF) Dengan Citra Digital," *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 13, no. 1, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5564 PENERAPAN.
- [10] P. Paryanto, C. D. Saputra, and R. Rusnaldy, "Analisis Keterlambatan Gerak Lengan RObot Manipulator Berbasis Internet of Things," *Rotasi - Media Komun. Ilmu dan Profesi Bid. Tek. Mesin*, vol. 26, no. 1, pp. 78–90, 2024, doi: 10.14710/rotasi.26.1.%25p.