

Deteksi Gestur Tangan Menggunakan *Computer Vision* Untuk Pengendalian Robot Lengan

Ananda Yoga Prasetya^{1*}, Subairi², Abd Rabi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang, Malang

*Penulis Korespondensi, email: anandayogaprasetya5@gmail.com

Received: 28/07/2025

Revised: 06/08/2025

Accepted: 07/08/2025

Abstract. In today's digital era, human-robot interaction is expected to be more intuitive and natural. One promising approach is robot control using hand gestures. This study presents the development of a robotic arm control system based on computer vision, utilizing MediaPipe to detect and track hand positions in real time. The system is designed to recognize a combination of finger gestures and hand directions, then translate them into movement commands for the robot. The experiment was divided into three stages: finger detection, directional gesture recognition, and overall robot motion toward five target positions. The results showed that the system successfully recognized all hand gestures in five test scenarios with 100% accuracy, executed eight directional commands correctly, and achieved an average movement error of 5.43% compared to the target positions. These findings indicate that the system is both accurate and responsive, offering a viable touchless interaction solution between humans and machines. It also holds potential for further development in various applications, from education to simple automation tasks in the future.

Keywords: Computer vision, Robot control, MediaPipe

Abstrak. Dalam era digital saat ini, interaksi antara manusia dan robot dituntut untuk menjadi lebih intuitif dan alami. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pengendalian robot menggunakan gestur tangan. Penelitian ini mengembangkan sistem kendali robot lengan berbasis *computer vision* dengan memanfaatkan MediaPipe sebagai alat deteksi dan pelacakan posisi tangan secara *real-time*. Sistem dirancang agar dapat mengenali kombinasi gerakan jari dan arah tangan, lalu mengubahnya menjadi perintah untuk menggerakkan robot. Tahapan pengujian meliputi identifikasi posisi jari yang terangkat, interpretasi arah gerakan tangan, serta evaluasi ketepatan pergerakan robot menuju lima titik sasaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengenali gestur tangan dengan tingkat keberhasilan 100% pada lima skenario, menjalankan delapan jenis perintah gerakan dengan baik, serta memiliki rata-rata *error* pergerakan sebesar 5,43% terhadap posisi target. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem cukup akurat dan responsif, serta dapat menjadi solusi awal untuk interaksi bebas sentuh antara manusia dan mesin. Sistem ini juga memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam berbagai aplikasi, mulai dari edukasi hingga otomasi sederhana di masa depan.

Kata Kunci: Computer vision, Kendali robot, MediaPipe

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini telah membawa manusia memasuki era baru yang dikenal sebagai *Society 5.0*. Di era ini, teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), dan *Cloud Computing* tidak hanya digunakan dalam dunia industri, tetapi juga menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari untuk mempermudah aktivitas manusia [1]. Salah satu bidang yang ikut mengalami dampak besar dari kemajuan ini adalah robotika.

Robot kini tidak hanya digunakan di pabrik atau industri besar, tetapi juga telah banyak

diaplikasikan di rumah tangga, pertanian, kesehatan, hingga pendidikan [2]. Seiring dengan berkembangnya teknologi robot, sistem kendalinya pun ikut berkembang. Jika dulu robot hanya bisa dikendalikan dari dekat menggunakan kabel atau *remote*, sekarang manusia mulai mencari cara yang lebih intuitif dan alami, salah satunya adalah melalui gestur tangan [3].

Gestur tangan merupakan bentuk komunikasi nonverbal yang sudah biasa dilakukan oleh manusia untuk menyampaikan maksud atau perintah [4]. Karena itu, menjadikan gestur tangan sebagai media kendali robot merupakan langkah yang masuk akal

dan potensial. Sayangnya, alat kendali tradisional seperti *joystick* atau *keyboard* seringkali tidak fleksibel dan memerlukan pembelajaran lebih lanjut bagi pengguna awam.

Di sinilah teknologi *computer vision* berperan. Dengan memanfaatkan kamera dan algoritma pengolahan citra, komputer dapat "melihat" dan mengenali gerakan tangan manusia, kemudian menerjemahkannya menjadi perintah untuk robot [5]. Teknologi ini memungkinkan manusia untuk mengendalikan robot secara langsung hanya dengan menggerakkan tangan, tanpa perlu menyentuh alat fisik apa pun.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kendali robot lengan berbasis gestur tangan menggunakan pendekatan *computer vision*. Dengan sistem ini, pengguna bisa mengontrol robot secara lebih alami, efisien, dan fleksibel. Salah satu *framework* yang digunakan dalam sistem ini adalah *MediaPipe*, yang mampu mendeteksi dan melacak posisi tangan secara *real-time*. Melalui pendekatan ini, diharapkan interaksi antara manusia dan robot menjadi lebih intuitif dan mudah diakses oleh siapa saja.

II. METODOLOGI

A. Computer vision

Computer vision kini menjadi salah satu bidang penting dalam dunia teknologi dan komputasi modern. Teknologi ini merujuk pada sistem otomatis yang memungkinkan komputer untuk menganalisis gambar atau video guna memperoleh informasi serta memahami objek yang tertangkap [6]. Secara umum, *computer vision* merupakan proses terotomatisasi yang mencakup berbagai fungsi penglihatan buatan, seperti pengambilan gambar, pengolahan citra, pengenalan pola, hingga pengambilan keputusan. Dengan kata lain, *computer vision* memungkinkan komputer atau mesin untuk meniru cara kerja mata manusia dalam menangkap, merekam, menganalisis, dan memahami data visual dari lingkungan sekitar.

B. MediaPipe

MediaPipe merupakan sebuah platform yang dikembangkan oleh Google untuk memudahkan pembuatan aplikasi yang mengolah data visual

maupun audio. Meskipun baru dirilis sebagai perangkat *open source* pada tahun 2019, platform ini sebenarnya telah digunakan secara internal oleh Google sejak tahun 2012. *MediaPipe* sangat bermanfaat dalam pengembangan aplikasi berbasis kecerdasan buatan (AI), karena menyediakan berbagai solusi siap pakai di bidang *machine learning*. Beberapa fitur andalannya meliputi deteksi wajah, segmentasi rambut, hingga klasifikasi suara [7]. Selain itu, *MediaPipe* mendukung berbagai sistem operasi seperti *Android* dan *iOS*, serta kompatibel dengan sejumlah bahasa pemrograman seperti *Python*, *JavaScript*, dan *Coral*, sehingga memberikan fleksibilitas tinggi bagi para pengembang dalam mengintegrasikan teknologi *computer vision* ke dalam proyek mereka.



Gambar 1. Landmark MediaPipe

C. Motor servo

Motor *servo* merupakan aktuator yang dirancang untuk memberikan kontrol presisi terhadap posisi sudut poros outputnya. Berbeda dengan motor DC konvensional yang terus berputar, motor *servo* dapat dikendalikan agar berhenti pada sudut tertentu, sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem kendali yang membutuhkan ketepatan tinggi seperti robotika dan otomasi. Di dalamnya terdapat komponen penting seperti motor DC, *Gearbox*, sirkuit pengendali, dan potensiometer. *Gearbox* berfungsi memperlambat kecepatan dan meningkatkan torsi, sehingga motor mampu memberikan gaya besar pada posisi tertentu [8].

D. ESP32

NodeMCU ESP32 merupakan papan mikrokontroler berbasis *chip* ESP32 yang mendukung konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth* secara *onboard*. ESP32 adalah pengembangan dari chip *ESP8266* yang dirancang oleh *Espressif Systems*, dengan performa lebih tinggi dan fitur tambahan

seperti *dual-core* CPU serta lebih banyak pin GPIO. Platform ini mendukung berbagai bahasa pemrograman seperti Arduino IDE dan Lua, serta sangat cocok untuk pengembangan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) karena fleksibilitas dan kemampuannya yang luas [9].

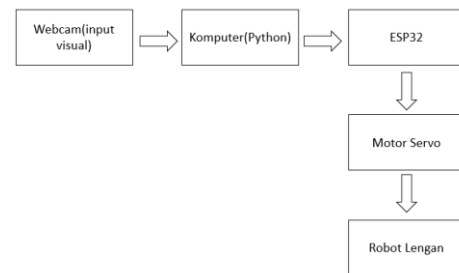
E. Robot lengan

Robot lengan adalah sistem mekanik yang dirancang untuk meniru pergerakan lengan manusia dengan memanfaatkan aktuator, sensor, dan sistem kendali. Robot jenis ini banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti industri, penelitian, otomasi, dan aplikasi medis. Fungsinya mencakup pemindahan objek, perakitan, pengelasan, hingga manipulasi benda dalam lingkungan ekstrem yang sulit dijangkau oleh manusia [10].

Salah satu jenis robot lengan yang umum digunakan adalah robot dengan 3 *Degrees of Freedom* (3 DOF), yang memungkinkan pergerakan dalam tiga arah atau sumbu. Sistem kendali pada robot ini biasanya menggunakan mikrokontroler seperti *Arduino* atau ESP32, yang menerima *input* dari sensor maupun antarmuka pengguna. Salah satu pendekatan yang sering diterapkan untuk mengatur posisi dan orientasi lengan robot secara presisi adalah metode *inverse kinematics*, yang menghitung sudut sendi berdasarkan koordinat posisi akhir yang diinginkan [11].

F. Blok diagram

Blok diagram sistem menggambarkan alur keseluruhan dari proses yang berlangsung dalam sistem ini. Dalam penelitian ini, sistem bekerja dengan menerima *input* dari sensor (dalam hal ini kamera/webcam), kemudian data tersebut diproses dan diteruskan ke pengguna untuk tujuan monitoring. Gambar 1 menunjukkan blok diagram yang merepresentasikan dua proses utama dari sistem.

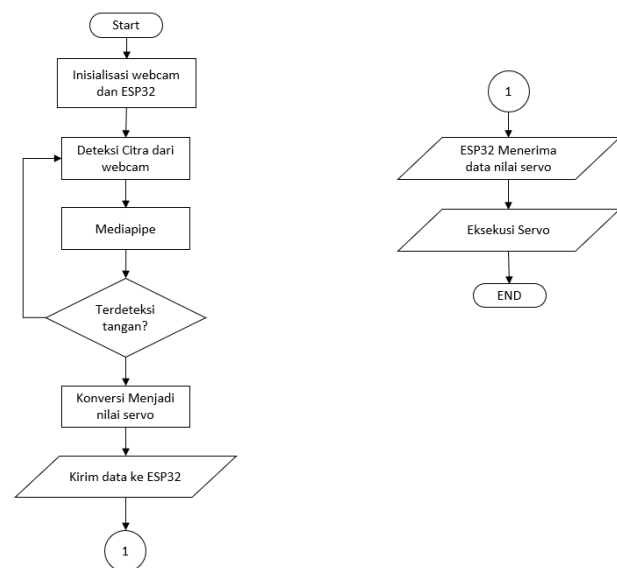


Gambar 2. Blok Diagram

Gambar 2 menjelaskan sisi perangkat lunak (*software*) yang berbasis *Python*, kamera akan menangkap citra secara *real-time* yang kemudian diproses menggunakan *MediaPipe*. *MediaPipe* bertugas mendeteksi dan melacak posisi tangan serta jari pengguna, yang direpresentasikan sebagai titik-titik yang disebut *Landmark*. Hasil dari proses ini akan dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi *UART* (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*).

Di sisi ESP32, data yang diterima akan diolah kembali untuk mengenali *gesture* tangan yang sesuai. Setelah proses pengenalan selesai, sistem akan menerjemahkan *gesture* tersebut menjadi perintah yang dikonversi ke dalam bentuk variabel kontrol untuk menggerakkan motor *servo* pada robot lengan.

G. Flowchart proses sistem



Gambar 3. Flowchart Proses Sistem

Gambar 3 menggambarkan proses sistem pengendalian robot lengan berbasis *hand gesture*

secara menyeluruh. Proses dimulai dari inisialisasi *webcam* dan ESP32, yang bertugas menyiapkan perangkat keras dan koneksi komunikasi. Setelah inisialisasi berhasil, sistem akan menjalankan proses deteksi citra dari *webcam*, yaitu mengambil gambar secara *real-time* sebagai *input* utama untuk analisis *gesture*.

Gambar yang ditangkap kemudian diproses menggunakan *MediaPipe*, yaitu *framework* pemrosesan visual yang mampu mengenali *Landmark* tangan secara akurat. Setelah itu, sistem akan mengevaluasi apakah tangan berhasil terdeteksi atau tidak. Jika tangan tidak terdeteksi, maka sistem akan kembali ke proses pengambilan citra dan melakukan *loop* hingga tangan terdeteksi. Apabila *gesture* tangan berhasil dikenali, maka proses selanjutnya adalah mengonversi hasil deteksi *gesture* ke dalam bentuk nilai sudut *servo*. Nilai ini akan menjadi instruksi spesifik untuk menggerakkan motor *servo* pada robot. Nilai-nilai sudut tersebut kemudian dikirim ke ESP32 untuk diproses lebih lanjut.

Bagian kedua dari *Flowchart* menggambarkan pada sisi ESP32, yang dimulai ketika ESP32 menerima data sudut *servo* dari komputer. Data ini kemudian diproses dan langsung dieksekusi oleh sistem dengan mengatur posisi motor *servo* sesuai instruksi *gesture* tangan yang telah dikonversi sebelumnya. Setelah perintah *servo* dijalankan, sistem dapat kembali ke awal untuk mendeteksi *gesture* berikutnya, atau berhenti jika sistem dihentikan.

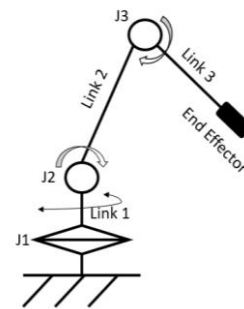
H. Perancangan mekanik



Gambar 4. Desain Mekanik

Gambar 4 menunjukkan sebuah model 3D dari robot lengan (*robotic arm*) yang memiliki struktur mekanik lengkap dengan beberapa bagian penting. Robot ini terdiri dari beberapa lengan (*link*) dan

sendi (*joint*) yang saling terhubung, serta menggunakan motor *servo* sebagai aktuator untuk menggerakkan masing-masing bagian. Pada bagian ujung lengan terdapat *gripper* atau *end-effector* yang berfungsi untuk mengambil dan memindahkan objek. Untuk memahami bagaimana struktur tersebut bekerja secara teknis dan matematis, dapat digunakan model kinematika yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram Kinematik

Gambar 5 merupakan diagram kinematika dari robot lengan dengan tiga derajat kebebasan (3-DOF). Diagram ini menjelaskan hubungan antar komponen robot. J1 adalah sendi pertama yang terletak di dasar dan memungkinkan rotasi horizontal. Link 1 menghubungkan J1 ke J2, yang merupakan sendi kedua yang memungkinkan gerakan naik turun atau rotasi vertikal. Link 2 kemudian menghubungkan J2 ke J3, yang merupakan sendi terakhir dan mendukung rotasi tambahan pada ujung lengan. Terakhir, Link 3 menghubungkan J3 ke *end-effector*, yaitu alat di ujung robot yang berfungsi untuk melakukan tugas manipulasi.

Dengan demikian, kedua gambar saling melengkapi: model mekanik memberikan visualisasi nyata dari struktur dan aktuator robot, sedangkan diagram kinematika membantu menjelaskan bagaimana masing-masing bagian bergerak dan saling berhubungan dalam sistem robotik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian *mediapipe* untuk deteksi tangan

Dilakukan pengujian terhadap performa sistem deteksi tangan menggunakan *MediaPipe* sebagai

pustaka utama dalam pelacakan titik-titik kunci (*Landmark*) pada tangan. *MediaPipe* merupakan *framework open-source* yang dikembangkan oleh Google, yang mampu mendeteksi hingga 21 titik *Landmark* pada setiap tangan secara *real-time*. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem dalam mengenali berbagai kombinasi posisi jari, baik dari tangan kanan maupun tangan kiri.



Gambar 6. Pengujian Angkat Jari Telunjuk



Gambar 7. Pengujian Angkat 3 Jari

Setiap pengujian dirancang untuk merepresentasikan kondisi nyata penggunaan, seperti tangan dalam keadaan semua jari terlipat, sebagian jari diangkat, maupun seluruh jari terbuka. Sistem diuji untuk mendeteksi jumlah jari yang terangkat serta mengidentifikasi jenis jari (jempol, telunjuk, tengah, manis, dan kelingking) yang aktif. Selain itu, pengujian juga memperhatikan kemampuan sistem dalam membedakan tangan kiri dan tangan kanan, yang penting dalam konteks interaksi dua tangan atau perintah gestur yang berbeda antar sisi.

Tabel 1. Pengujian *MediaPipe*

No.	Kondisi Jari	Jari Teridentifikasi	Tangan	Total jari	Keterangan
1	Semua jari dilipat	Tidak ada	Kanan	0	Berhasil
2	Jari telunjuk diangkat	Telunjuk	Kanan	1	Berhasil
3	Jari tengah, telunjuk, dan manis diangkat	Telunjuk, tengah, manis	kanan	3	Berhasil
4	Semua jari diangkat	Jempol, telunjuk, tengah, manis, kelingking	kanan	5	Berhasil
5	Semua jari diangkat	Jempol, telunjuk, tengah, manis, kelingking	Kiri	5	berhasil

Tabel 1 merupakan pengujian terhadap sistem pengenalan gestur tangan untuk mendeteksi jumlah dan jenis jari yang terangkat. Pengujian dilakukan dalam lima skenario berbeda, dengan berbagai kombinasi posisi jari dan tangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengidentifikasi kondisi jari secara akurat pada seluruh skenario, dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%.

Pada pengujian pertama, ketika seluruh jari dalam posisi terlipat, sistem mampu mendeteksi bahwa tidak ada jari yang terangkat. Pada pengujian kedua, ketika hanya jari telunjuk yang diangkat, sistem secara tepat mengenali satu jari aktif, yaitu telunjuk. Pengujian ketiga menunjukkan kompleksitas yang lebih tinggi, yakni ketika tiga jari (telunjuk, tengah, dan manis) diangkat. Sistem mampu mengidentifikasi ketiga jari tersebut tanpa kekeliruan.

Selanjutnya, pada pengujian keempat dan kelima, seluruh jari tangan (jempol, telunjuk, tengah, manis, dan kelingking) diangkat. Sistem berhasil mendeteksi semua jari dengan akurasi tinggi, serta membedakan tangan kanan dan kiri secara konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengenalan memiliki sensitivitas yang baik terhadap orientasi tangan serta posisi relatif dari masing-masing jari.

B. Pengujian gesture gerak robot

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah sistem dapat mengenali gestur tangan pengguna dengan baik dan mengubahnya menjadi gerakan robot sesuai perintah. Dalam pengujian ini, digunakan delapan jenis gestur tangan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Masing-masing gestur mewakili arah atau aksi tertentu, misalnya maju, mundur, ke kanan, ke kiri, naik, turun, serta membuka dan menutup *gripper*.



Gambar 8. Percobaan Gestur Bergerak Kekiri



Gambar 9. Percobaan Gestur *Gripper* Membuka

Tabel 2. Daftar Gestur

No	Nama Gestur	Deskripsi gerakan
1	Kanan	Telapak Tangan Bergerak ke Kanan kamera
2	Kiri	Telapak Tangan Bergerak ke kiri kamera
3	Atas	Telapak Tangan Bergerak ke atas kamera
4	Bawah	Telapak Tangan Bergerak ke bawah kamera
5	Maju	Telapak Tangan Bergerak mendekat ke kamera
6	Mundur	Telapak Tangan Bergerak menjauh dari kamera
7	Buka	Jari telunjuk dan jempol membuka
8	Tutup	Jari telunjuk dan jempol menutup

Tabel 2 merupakan pengujian setiap gestur dikenali berdasarkan arah gerak telapak tangan terhadap kamera. Untuk perintah buka dan tutup *gripper*, digunakan kombinasi gerakan jari telunjuk dan jempol. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali semua gestur yang diberikan dengan tepat. Gerakan robot pun sesuai dengan yang diharapkan dari masing-masing perintah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem deteksi gestur berbasis *MediaPipe* berjalan dengan baik dan responsif terhadap gerakan tangan yang dilakukan secara langsung di depan kamera.



Gambar 10. Percobaan Pendeteksian Gestur

Tabel 3. Percobaan Gestur Tangan

NO	Jumlah Percobaan	Servo X		Servo Y	
		Kanan	Kiri	Atas	Bawah
1	5	5	5	5	5
2	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian performa sistem pengendalian robot lengan 3 DOF berdasarkan *gesture* tangan menggunakan *MediaPipe*. Setiap pengujian dilakukan sebanyak lima kali pada masing-masing arah gerakan untuk setiap sumbu *servo*, yaitu gerakan kanan dan kiri untuk *Servo X*, atas dan bawah untuk *Servo Y*, maju dan mundur untuk *Servo Z*, serta buka dan tutup untuk *servo gripper*.

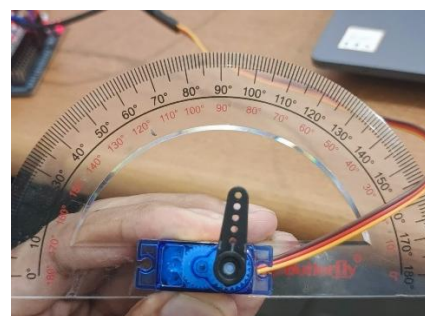
Hasil dari keempat sesi percobaan menunjukkan bahwa seluruh gerakan berhasil dieksekusi dengan tingkat konsistensi 100%. Ini menandakan bahwa sistem *gesture* recognition dan pengendalian *servo* bekerja dengan stabil dan akurat untuk seluruh jenis perintah gerakan yang diuji.

C. Pengujian delay gerak robot

Pengujian ini untuk memastikan apakah robot benar-benar bisa bergerak ke posisi yang diinginkan sesuai perintah gestur tersebut. Pada pengujian ini, robot diarahkan menuju sepuluh posisi target yang berbeda dalam ruang 3 dimensi (X, Y, dan Z). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4

[1] Posisi: (44,46,92,0) -> Delay: 105.04 ms
[2] Posisi: (177,96,108,0) -> Delay: 114.89 ms
[3] Posisi: (123,61,58,0) -> Delay: 101.91 ms
[4] Posisi: (59,81,96,0) -> Delay: 107.07 ms
[5] Posisi: (9,136,43,0) -> Delay: 102.00 ms
[6] Posisi: (167,128,92,0) -> Delay: 115.10 ms
[7] Posisi: (106,41,64,0) -> Delay: 114.10 ms
[8] Posisi: (73,90,135,0) -> Delay: 114.58 ms
[9] Posisi: (26,67,126,0) -> Delay: 100.10 ms
[10] Posisi: (100,35,140,0) -> Delay: 114.94 ms

Gambar 11. Pengujian Delay



Gambar 12. Pengujian Derajat Servo

Tabel 4. Pengujian *Delay* Gerak Robot

No	Posisi Target			Delay
	X	Y	Z	
1	44	22	163	100,36
2	177	96	108	100,63
3	123	61	58	100,78
4	59	11	96	101,42
5	9	136	43	101,46
6	167	128	92	100,66
7	106	41	64	100,8
8	73	90	135	100,35
9	26	67	126	100,83
10	100	35	140	100,77

Tabel 4 merupakan hasil pengujian waktu *delay* saat sistem pengenalan *gesture* tangan (*hand gesture recognition*) digunakan untuk menggerakkan robot lengan menuju titik-titik target tertentu. Setiap baris dalam tabel merepresentasikan satu percobaan, di mana tangan pengguna melakukan *gesture* yang dikenali oleh sistem, kemudian robot lengan merespons dengan bergerak ke posisi X, Y, dan Z yang telah ditentukan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa waktu *delay* dari pengenalan *gesture* hingga pergerakan selesai dengan konsisten, dengan kisaran antara 100,35 detik hingga 101,46 detik. Rata-rata *delay*-nya sekitar 100,8 detik.

Hasil ini juga mengindikasikan bahwa sistem pengenalan *gesture* yang digunakan memiliki performa yang baik dalam hal kecepatan respons dan akurasi interpretasi *gesture*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pengendalian robot lengan berbasis *gesture* tangan menggunakan *computer vision* dengan bantuan *MediaPipe* dan ESP32 sebagai pengolah gerakan. Sistem mampu mendeteksi berbagai kombinasi posisi jari serta arah pergerakan tangan, lalu menerjemahkannya menjadi perintah gerak untuk robot lengan.

Dari hasil pengujian, sistem menunjukkan performa yang baik dengan tingkat akurasi deteksi *gesture* mencapai 100% pada lima skenario

berbeda. Selain itu, delapan jenis *gesture* berhasil dikenali dan dijalankan oleh robot sesuai dengan perintah yang diberikan. Pengujian *delay* pada pergerakan menuju target juga menunjukkan hasil yang konsisten, dengan rata-rata waktu respons sekitar 100,8 detik dan rentang waktu yang sangat sempit, menandakan sistem bekerja secara stabil dan responsif.

REFERENSI

- [1] K. Sato, "Society 5.0: A People-Centered Super-Smart Society," *Japan SPOTLIGHT*, vol. 3, pp. 47–50, 2017.
- [2] B. Siciliano and O. Khatib, "Robotics: Modelling, Planning and Control," *Springer*, 2009.
- [3] G. A. Bekey, "Current Trends in Robotics: Technology and Applications," *IEEE Robot Autom Mag*, vol. 12, no. 1, pp. 20–23, 2005, doi: 10.1109/MRA.2005.141.
- [4] R. Szeliski, "Computer vision: Algorithms and Applications," *Springer*, 2010.
- [5] V. I. Pavlovic, R. Sharma, and T. S. Huang, "Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction," in *Proceedings of the IEEE*, 1997, pp. 1371–1394. doi: 10.1109/5.598984.
- [6] J. Qi, L. Ma, Z. Cui, and Y. Yu, "Computer vision-based hand gesture recognition for human-robot interaction: a review," *Complex and Intelligent Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 1581–1606, Feb. 2024, doi: 10.1007/s40747-023-01173-6.
- [7] S. Nur Budiman, S. Lestanti, S. Marselius Evvandri, and R. Kartika Putri, "PENGENALAN GESTUR GERAKAN JARI UNTUK MENGONTROL VOLUME DI KOMPUTER MENGGUNAKAN LIBRARY OPENCV DAN MEDIAPIPE," *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, vol. 16, no. 2, pp. 223–232, Nov. 2022, doi: 10.35457/antivirus.v16i2.2508.
- [8] M. Anwar and D. Suryana, "Implementasi Inverse Kinematics pada Robot Lengan 3 DOF Berbasis Arduino," *Jurnal Robotika dan Kontrol Otomatis*, vol. 7, no. 2, pp. 15–22,

2021, [Online]. Available:
<https://example.com/inverse-kinematics-jurnal>

- [9] Y. Susanthi, A. Darmawan, and S. B. Suryadi, "Alat Pengenal Gerakan Tangan Menggunakan Algoritma Artificial Neural Network Berbasis ESP32 dan Platform Edge Impulse."
- [10] B. Setiawan and R. Maulana, "Perancangan dan Implementasi Robot Lengan untuk Aplikasi Otomasi Industri," *Jurnal Teknik Elektro dan Otomasi*, vol. 9, no. 1, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: <https://example.com/robot-lengan-jurnal>
- [11] G. A. Bekey, "Current Trends in Robotics: Technology and Applications," *IEEE Robot Autom Mag*, vol. 12, no. 1, pp. 20–23, 2005, doi: 10.1109/MRA.2005.141.
- [12] W. Kim, H. Park, and B.-J. Lee, "Gesture-Based Robot Arm Control Using Deep Learning and Hand Tracking," *Sensors*, vol. 21, no. 1, p. 304, 2021, doi: 10.3390/s21010304.