

Implementasi dan Evaluasi Sistem Lengan Robot Berbasis ESP32 dengan Sensor Warna TCS34725 untuk Sortasi Objek

Muhammad Prabu Dzikri¹, Silviana Windasari^{1*}, Pandu Prahmadipta¹, Aryo Santoso¹, Yogi Adi Pratama¹, Dimas Sakti Prasetyo¹, Sahrul Fatoni¹, Hadi Saputra¹

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Sains Indonesia, Bekasi, Indonesia

Penulis Korespondensi: Silviana Windasari (e-mail: silviana.windasari@lecturer.sains.ac.id)

ABSTRAK

Keberhasilan deteksi warna pada sistem sortasi otomatis belum tentu diikuti oleh keberhasilan pemindahan objek. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan dan mengevaluasi lengan robot berbasis ESP32 dengan sensor warna TCS34725 untuk menyortir objek merah, hijau, dan biru. Sistem menggunakan tiga motor servo untuk mengambil, memindahkan, dan meletakkan objek pada lokasi sesuai warnanya. Penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sistem, serta pengujian dalam enam siklus dengan total 60 percobaan. Kinerja dievaluasi melalui dua parameter terpisah, yaitu keberhasilan deteksi warna dan keberhasilan sortasi. Hasil menunjukkan bahwa seluruh objek terdeteksi sesuai warnanya (60/60; 100%) pada kondisi pengujian, sedangkan 37 dari 60 objek (61,67%) berhasil ditempatkan pada lokasi tujuan. Keberhasilan sortasi objek merah, hijau, dan biru masing-masing mencapai 60%, 60%, dan 65%. Perbedaan hasil deteksi dan sortasi menunjukkan bahwa kinerja pemindahan objek masih perlu ditingkatkan. Sistem ini dapat digunakan sebagai prototipe pembelajaran dan praktikum laboratorium; pengujian lanjutan diperlukan untuk mengidentifikasi tahap kegagalan dan menilai kestabilan sistem pada kondisi operasi yang berbeda.

KATA KUNCI: lengan robot, ESP32, sensor warna TCS34725, sortasi objek, otomasi.

ABSTRACT

Successful color detection in an automated sorting system does not necessarily lead to successful object transfer. This study aims to implement and evaluate an ESP32-based robotic arm equipped with a TCS34725 color sensor for sorting red, green, and blue objects. The system uses three servo motors to pick, move, and place objects at destinations determined by their colors. The study involved hardware and software design, system integration, and testing across six cycles comprising 60 trials. Performance was evaluated using two separate measures: the color detection success rate and the sorting success rate. All objects were detected with the correct colors (60/60; 100%) under the tested conditions, while 37 of 60 objects (61.67%) were successfully placed at their designated destinations. The sorting success rates for red, green, and blue objects were 60%, 60%, and 65%, respectively. The difference between detection and sorting results indicates that object-transfer performance requires improvement. The system can serve as an educational and laboratory prototype; further testing is needed to identify failure stages and assess system stability under different operating conditions.

KEYWORD: robotic arm, ESP32, TCS34725 color sensor, object sorting, automation.

1. PENDAHULUAN

Otomasi pemindahan dan penyortiran objek memerlukan sistem yang mampu mengenali objek serta menempatkannya sesuai kategori. Penelitian terdahulu telah mengembangkan lengan robot berbasis ESP32 untuk sortasi warna dan ukuran [1], lengan robot berbasis Arduino dengan inverse kinematics [2], serta integrasi sensor, aktuator, dan antarmuka kendali [3]–[5]. Pendekatan lain menggunakan computer vision dan pengolahan citra untuk sortasi [6], [7], pemindahan barang [8], serta pengenalan warna dan bentuk [9].

Temuan tersebut menunjukkan bahwa kinerja sortasi perlu dilihat dari dua proses yang saling berkaitan, yaitu pengenalan objek dan pemindahannya.

Pengembangan lengan robot juga mencakup kendali Bluetooth berbasis ESP32 [10], pemilahan menggunakan computer vision dan inverse kinematics [11], serta pemilahan sampah [12]. Penelitian mengenai kendali posisi, sensor giroskop, dan kendali jarak jauh memperlihatkan beragam mekanisme pengoperasian lengan robot [13]–[16]. Untuk sortasi berdasarkan warna, penelitian sebelumnya menggunakan sensor

warna, Raspberry Pi, programmable logic controller, dan TCS3200 [17]–[21]. Keragaman perangkat dan metode tersebut menjadi dasar pengembangan prototipe dengan konfigurasi yang sesuai untuk pengujian identifikasi warna sekaligus pemindahan objek.

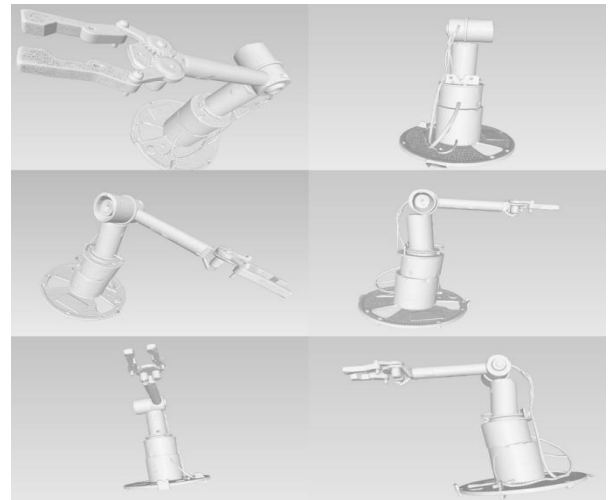
Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan untuk memproses data sensor dan mengendalikan tiga motor servo, sedangkan TCS34725 digunakan untuk membaca komponen warna objek. Kemampuan pembacaan RGB pada sensor TCS34725 telah dibahas dalam penelitian sebelumnya [22]. Penelitian terkait juga menunjukkan penerapan penginderaan warna, penginderaan visual, dan antarmuka grafis pada lengan robot [23]–[25]. Berdasarkan kajian tersebut, fokus penelitian ini adalah mengevaluasi keberhasilan deteksi warna dan keberhasilan pemindahan objek secara terpisah, karena identifikasi warna yang benar belum tentu menghasilkan sortasi yang berhasil. Pemilihan ESP32 dan TCS34725 didasarkan pada kebutuhan integrasi prototipe; penelitian ini tidak melakukan uji perbandingan langsung dengan perangkat alternatif.

Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan dan mengevaluasi sistem lengan robot berbasis ESP32, sensor TCS34725, dan tiga motor servo untuk menyortir objek merah, hijau, serta biru. Parameter yang diukur ialah tingkat keberhasilan deteksi warna dan tingkat keberhasilan pemindahan objek ke lokasi tujuan. Pengujian dilakukan dalam enam siklus dengan total 60 percobaan, masing-masing dua siklus untuk setiap warna. Sistem dikembangkan sebagai prototipe pembelajaran dan praktikum laboratorium. Penerapan lebih lanjut memerlukan pengujian kapasitas beban, ketepatan posisi, kecepatan, dan ketahanan operasi.

2. METODE

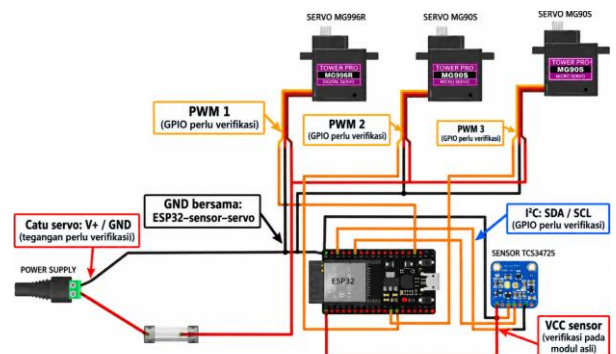
2.1 Perancangan Sistem

Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, sensor warna TCS34725, satu motor servo MG996R, dua motor servo MG90S, dan catu daya. Sensor terhubung ke ESP32 melalui I²C, sedangkan servo dikendalikan menggunakan sinyal PWM. Lengan robot dirancang dengan konfigurasi 3-DOF [jelaskan tiga sumbu geraknya; jika salah satu servo hanya menggerakkan gripper, sesuaikan penyebutan DOF]. MG996R menggerakkan [bagian], sedangkan masing-masing MG90S menggerakkan [bagian] dan [bagian/gripper]. Servo menggunakan catu daya [tegangan dan kapasitas arus], dengan ground yang terhubung bersama ESP32. Desain tiga dimensi digunakan sebagai acuan perakitan (Gambar 1), sedangkan hubungan perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Desain 3D Lengan Robot

Wiring diagram menunjukkan hubungan antara ESP32, sensor TCS34725, servo, dan catu daya sebagai acuan integrasi perangkat keras.



Gambar 2. Wiring diagram Sistem Lengan Robot

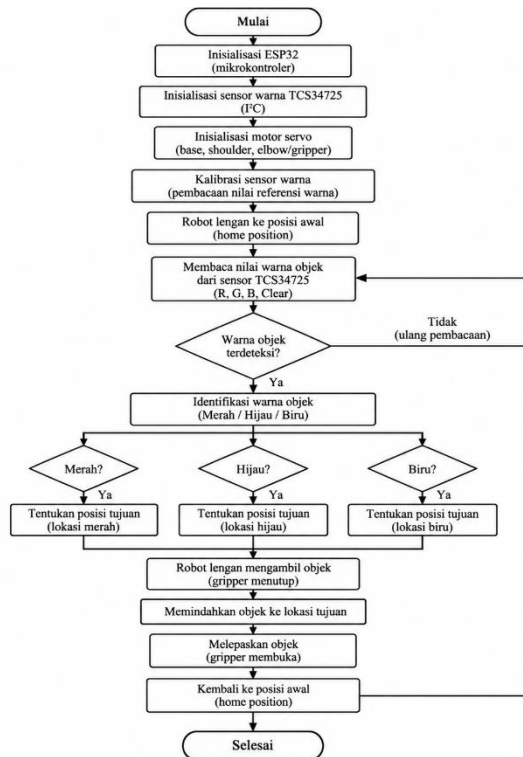
Posisi awal setiap servo ditetapkan pada [sudut masing-masing]. Urutan sudut untuk pengambilan, pemindahan ke setiap lokasi tujuan, dan pelepasan objek adalah [cantumkan sudut masing-masing tahap atau rujuk tabel sudut]. Gripper menggunakan mekanisme [jenis mekanisme] dengan bukaan [...] mm. Objek uji berupa [jenis dan bahan] berwarna merah, hijau, dan biru, dengan ukuran [...] dan massa [...]. Semua objek ditempatkan pada [posisi awal]; lokasi tujuan merah, hijau, dan biru masing-masing berada pada [rincian posisi].

2.2 Perancangan Perangkat Lunak dan Integrasi Sistem.

Program ESP32 membaca nilai R, G, dan B dari sensor TCS34725, kemudian menormalisasikannya menggunakan [rumus yang benar-benar diterapkan pada kode]. Klasifikasi warna dilakukan berdasarkan ambang ($R_{norm} > 0,4$) untuk merah, ($G_{norm} > 0,40$) untuk hijau, dan ($B_{norm} > 0,40$) untuk biru, apabila nilai tersebut sesuai dengan program yang diuji. Jika lebih dari satu ambang terpenuhi atau tidak ada ambang yang terpenuhi, program menerapkan [aturan keputusan sesuai kode].

Ambang ditetapkan melalui pembacaan sampel merah, hijau, dan biru sebanyak [...] kali per warna pada

jarak sensor [...] cm dan pencahayaan [sumber serta kondisi pencahayaan]. Nilai ambang dipilih berdasarkan [rentang hasil kalibrasi dan dasar pemilihannya]. Setelah warna ditentukan, ESP32 menggerakkan servo untuk mengambil, memindahkan, dan melepaskan objek di lokasi tujuan, lalu mengembalikan lengan ke posisi awal. Alur tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart sistem identifikasi warna dan sortasi objek

Gambar 3 menunjukkan alur kerja sistem lengan root berbasis ESP32 dalam melakukan sortasi objek berdasarkan warna. Proses dimulai dengan inisialisasi ESP32, sensor TCS34725, dan motor servo, kemudian dilanjutkan dengan kalibrasi sensor serta penempatan lengan robot pada posisi awal. Sensor membaca nilai warna objek, selanjutnya ESP32 mengidentifikasi warna merah, hijau, atau biru untuk menentukan lokasi sortasi. Lengan robot kemudian mengambil, memindahkan, dan melepaskan objek pada lokasi tujuan, lalu kembali ke posisi awal untuk memproses objek berikutnya.

2.3 Prosedur Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan terhadap objek merah, hijau, dan biru dalam enam siklus, masing-masing dua siklus per warna. Apabila setiap siklus berisi sepuluh percobaan, jumlah pengujian adalah 20 percobaan per warna atau 60 percobaan keseluruhan. Pada setiap percobaan, satu objek ditempatkan pada posisi awal yang sama, dengan jarak sensor [...] cm dan pencahayaan [kondisi pengujian]. Lengan dimulai dari posisi awal yang telah ditentukan dan diarahkan ke lokasi tujuan sesuai hasil klasifikasi warna. Setiap percobaan menghasilkan dua catatan yang dievaluasi terpisah. Deteksi berhasil apabila warna keluaran sistem

sesuai dengan warna objek. Sortasi berhasil apabila objek terambil, berpindah, dan terlepas pada lokasi tujuan yang benar. Percobaan yang tidak memenuhi salah satu tahap sortasi dicatat sebagai kegagalan sortasi, disertai [tahap kegagalan jika tersedia]. Persentase keberhasilan dihitung dari jumlah percobaan berhasil dibagi jumlah percobaan yang dilakukan, kemudian dikalikan 100%. Hasil dilaporkan untuk setiap warna dan untuk keseluruhan 60 percobaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Implementasi Sistem Lengan Robot

Sistem lengan robot telah dirakit menggunakan ESP32 sebagai pengendali, sensor warna TCS34725 pada area peletakan objek, serta satu servo MG996R dan dua servo MG90S sebagai aktuator. Setelah warna objek dikenali, lengan robot mengambil objek dari posisi awal, memindahkannya ke lokasi sesuai warna, lalu kembali ke posisi awal. Proses sortasi ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan hasil perakitan sistem ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Lengan robot saat proses sortasi objek

Susunan komponen elektronik pada sistem terdiri dari ESP32 sebagai unit pengendali utama, sensor warna TCS34725 yang dipasang pada bagian tempat objek diletakkan untuk mendeteksi warna objek sebelum diambil oleh lengan robot, serta tiga motor servo (MG996R dan dua MG90S) yang masing-masing berfungsi menggerakkan sendi *base*, *shoulder/elbow*, dan *gripper*. Catu daya eksternal digunakan untuk memasok tegangan pada motor servo agar tidak membebani suplai daya ESP32 secara langsung, sehingga kestabilan sistem selama pengoperasian tetap terjaga.



Gambar 5. Hasil realisasi sistem lengan robot

Gambar 5 menunjukkan hasil realisasi lengan robot berbasis ESP32 yang telah dirakit dan diintegrasikan dengan sensor warna TCS34725 serta motor servo sebagai aktuator. Sistem ini digunakan untuk mendeteksi, memindahkan, dan menyortir objek berdasarkan warna yang telah ditentukan.

3.2 Hasil Pengujian Sensor Warna TCS34725

Sensor TCS34725 membaca komponen merah (R), hijau (G), dan biru (B) untuk menentukan warna objek. Enam data pembacaan yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa seluruh contoh objek merah, hijau, dan biru dikenali sesuai warna sebenarnya. Tabel tersebut menampilkan enam data pembacaan, sedangkan rekap deteksi dari seluruh 60 percobaan disajikan pada Tabel 2. Dengan demikian, kedua tabel memiliki cakupan penyajian yang berbeda. Total nilai RGB dihitung menggunakan Persamaan (1):

Total nilai RGB:

$$T = R + G + B \quad (1)$$

Selanjutnya, setiap komponen warna dinormalisasi menggunakan Persamaan (2)-(4):

$$R_{norm} = \frac{R}{R + G + B} \quad (2)$$

$$G_{norm} = \frac{G}{R + G + B} \quad (3)$$

$$B_{norm} = \frac{B}{R + G + B} \quad (4)$$

Klasifikasi warna dilakukan berdasarkan nilai komponen warna ternormalisasi. Objek diklasifikasikan sebagai merah apabila $R_{norm} > 0,45$, hijau apabila $G_{norm} > 0,40$, dan biru apabila $B_{norm} > 0,40$. Ambang tersebut ditetapkan berdasarkan hasil kalibrasi sensor pada objek uji di bawah kondisi pencahayaan yang digunakan. Jika lebih dari satu komponen memenuhi nilai ambang, warna ditentukan berdasarkan komponen ternormalisasi dengan nilai terbesar. Hasil pembacaan dan klasifikasi warna disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pembacaan dan klasifikasi warna objek menggunakan sensor TCS34725.

Cycle	Warna objek	Nilai R	Nilai G	Nilai B	Warna dikenali	Keterangan
1	Merah	235	70	55	Merah	Sesuai
2	Hijau	82	228	52	Hijau	Sesuai
3	Biru	75	78	230	Biru	Sesuai
4	Merah	235	70	55	Merah	Sesuai
5	Hijau	82	228	52	Hijau	Sesuai
6	Biru	75	78	230	Biru	Sesuai

Berdasarkan Tabel 1, keenam data yang ditampilkan menghasilkan klasifikasi sesuai (6/6). Rekap pada Tabel 2 menunjukkan bahwa deteksi warna juga sesuai pada 60/60 percobaan (100%). Tingkat keberhasilan klasifikasi sebesar:

$$\text{Keberhasilan} = (6 / 6) \times 100\% = 100\%$$

Persentase tersebut menggambarkan hasil pada objek dan kondisi pengujian ini; kinerja sensor pada kondisi pencahayaan, jarak, atau objek yang berbeda belum diuji.

3.3 Hasil Pengujian Sortasi Objek

Pengujian sortasi dilakukan dalam enam siklus, masing-masing sepuluh percobaan. Setiap warna diuji dalam dua siklus sehingga jumlah keseluruhan mencapai 60 percobaan. Deteksi dinyatakan berhasil apabila warna objek dikenali dengan benar. Sortasi dinyatakan berhasil apabila objek terambil, berpindah, dan diletakkan pada lokasi tujuan yang sesuai.

Tabel 2. Hasil pengujian deteksi dan sortasi objek berdasarkan warna.

Cycle	Warna objek	Jumlah percobaan	Deteksi sesuai	Sortasi berhasil	Sortasi gagal	Keberhasilan sortasi
1	Merah	10	10	6	4	60%
2	Hijau	10	10	7	3	70%
3	Biru	10	10	5	5	50 %
4	Merah	10	10	6	4	60 %
5	Hijau	10	10	5	5	50 %
6	Biru	10	10	8	2	80 %
Total	Seluruh warna	60	60	37	23	61,67 %

Persentase keberhasilan sortasi dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Keberhasilan Sortasi} = \frac{\text{Jumlah objek berhasil dipindahkan}}{\text{Jumlah objek yang diuji}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{Keberhasilan deteksi} = \frac{60}{60} \times 100\% = 100\%,$$

$$\text{Keberhasilan sortasi} = \frac{37}{60} \times 100\% = 61,67\%.$$

Tingkat keberhasilan deteksi yang lebih tinggi daripada sortasi menunjukkan bahwa objek yang telah dikenali dengan benar belum tentu berhasil ditempatkan pada lokasi tujuan. Persentase deteksi objek dihitung dengan:

$$\text{Deteksi} = \frac{\text{Jumlah objek terdeteksi}}{\text{Jumlah objek yang diuji}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{Deteksi} = (60 / 60) \times 100\% = 100\%$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh 60 objek berhasil dikenali sesuai warnanya pada kondisi pengujian, sedangkan 37 objek berhasil ditempatkan pada lokasi tujuan. Berdasarkan warna, keberhasilan sortasi objek merah mencapai 12 dari 20 percobaan (60%), objek hijau 12 dari 20 percobaan (60%), dan objek biru 13 dari 20 percobaan (65%). Perbedaan hasil antarwarna relatif kecil, dengan tingkat keberhasilan tertinggi diperoleh pada objek biru. Perbedaan antara keberhasilan deteksi sebesar 100% dan keberhasilan sortasi sebesar 61,67% menunjukkan bahwa objek yang

telah dikenali dengan benar belum selalu berhasil ditempatkan pada lokasi tujuan. Oleh karena itu, tahap pengambilan, pemindahan, dan peletakan objek perlu dievaluasi lebih lanjut untuk menentukan sumber kegagalan sortasi.

3.3 Evaluasi Kinerja Sistem

Sebanyak 23 dari 60 percobaan tidak berhasil menyelesaikan proses sortasi, terdiri atas delapan kegagalan pada objek merah, delapan pada objek hijau, dan tujuh pada objek biru. Data yang tersedia belum memisahkan kegagalan pada tahap pengambilan, pemindahan, dan peletakan. Oleh karena itu, penyebab kegagalan belum dapat dipastikan berasal dari servo, gripper, atau komponen mekanik tertentu. Untuk menentukan penyebabnya, setiap kegagalan perlu dicatat berdasarkan tahap terjadinya dan didukung pengamatan selama pengujian. Waktu pengambilan, pemindahan, dan satu siklus sortasi dapat dilaporkan apabila datanya tersedia. Pengujian pada variasi pencahayaan dan jumlah percobaan yang lebih besar diperlukan untuk menilai kestabilan sistem lebih lanjut.

3.4 Evaluasi Kinerja Sistem

Sebanyak 23 dari 60 percobaan tidak berhasil menyelesaikan proses sortasi, terdiri atas delapan kegagalan pada objek merah, delapan pada objek hijau, dan tujuh pada objek biru. Data yang tersedia belum memisahkan kegagalan pada tahap pengambilan, pemindahan, dan peletakan. Oleh karena itu, penyebab kegagalan belum dapat dipastikan berasal dari servo, gripper, atau komponen mekanik tertentu. Untuk menentukan penyebabnya, setiap kegagalan perlu dicatat berdasarkan tahap terjadinya dan didukung pengamatan selama pengujian. Waktu pengambilan, pemindahan, dan satu siklus sortasi dapat dilaporkan apabila datanya tersedia. Pengujian pada variasi pencahayaan dan jumlah percobaan yang lebih besar diperlukan untuk menilai kestabilan sistem lebih lanjut.

4. KESIMPULAN

Sistem lengan robot berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor warna TCS34725 dan tiga motor servo telah berhasil diimplementasikan untuk menyortir objek merah, hijau, dan biru. Berdasarkan enam siklus pengujian dengan total 60 percobaan, sistem berhasil mengenali warna seluruh objek pada kondisi pengujian dengan tingkat keberhasilan deteksi sebesar 100% (60/60). Namun, hanya 37 objek yang berhasil ditempatkan pada lokasi tujuan sehingga tingkat keberhasilan sortasi mencapai 61,67% (37/60). Berdasarkan warna, keberhasilan sortasi objek merah dan hijau masing-masing mencapai 60% (12/20), sedangkan objek biru mencapai 65% (13/20). Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan deteksi warna belum selalu diikuti oleh keberhasilan mekanisme sortasi secara keseluruhan. Kegagalan pada 23 percobaan menunjukkan bahwa kinerja mekanis pada tahap pengambilan, pemindahan, dan peletakan objek masih perlu dievaluasi. Dalam cakupan pengujian ini, sistem dapat digunakan sebagai prototipe pembelajaran dan praktikum laboratorium. Pengembangan selanjutnya

perlu meningkatkan ketepatan gerakan servo, kemampuan cengkeraman gripper, dan kestabilan mekanik serta melakukan pengujian dengan variasi pencahayaan dan jumlah percobaan yang lebih besar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. G. S. Adiguna, M. Saleh, and E. D. Marindani, "Color and size sorting system with an ESP32-based robot arm," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 11, no. 2, pp. 73–83, 2023, doi: 10.26418/j3eit.v11i2.68483.
- [2] S. I. Afi, "Robot lengan 5-DOF dengan invers kinematik berbasis Arduino," undergraduate thesis, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia, 2022. <https://eprints.ums.ac.id/102864/1/Naskah%20Publikasi.pdf>.
- [3] S. I. Afi, "Robot lengan 5-DOF dengan invers kinematik berbasis Arduino," undergraduate thesis, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Indonesia, 2022. [Online]. Available: <https://eprints.ums.ac.id/102864/1/Naskah%20Publikasi.pdf>.
- [4] S. Suhaeb and A. Risal, "Implementation of ESP32-based web host for control and monitoring of robotic arm," *Journal of Embedded Systems, Security and Intelligent Systems*, vol. 5, no. 3, Nov. 2024, doi:10.59562/jessi.v5i3.5184.
- [5] ATHO'ILLAH, M. W. Atho'illah, "Pengembangan robot arm untuk pemrosesan gesture tangan secara real-time di Laboratorium FTI Universitas Dinamika," undergraduate thesis, Universitas Dinamika, Surabaya, Indonesia, 2025. <http://repository.dinamika.ac.id/id/eprint/8109>.
- [6] C. D. Vo, D. A. Dang, and P. H. Le, "Development of multi-robotic arm system for sorting system using computer vision," *Journal of Robotics and Control*, vol. 3, no. 5, pp. 690–698, Sep. 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i5.15661.
- [7] K. Darson, A. Rabi', and Y. S. A. Gumilang, "Robot lengan pemindah barang berbasis pengolahan citra warna," *Energy: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, vol. 13, no. 1, pp. 44–49, 2023, doi: 10.51747/energy.v13i1.1454.
- [8] M. Fathurizy and A. Santosa, "Perancangan robot lengan bergerak otomatis untuk proses pemindahan barang pada bagian line produksi," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 13, no. 1, pp. 1–10, 2025, doi: 10.23887/jptm.v13i1.91401.
- [9] J. Francis, K. A. Harikrishnan, K. R. Narayan, R. Prasad, and S. T. R., "Robotic arm for object sorting based on colour and shape," *International Journal of Science, Engineering and Technology*, vol. 12, no. 4, 2024. [Online]. Available: <https://www.ijset.in/volum-12-issue-4/>.
- [10] D. L. Gaol, M. O. Sihotang, A. S. Siahaan, E. D. Suryanto, and D. P. Saragi, "Perancangan dan evaluasi lengan robot 4-DOF berbasis ESP32 dengan kendali manual menggunakan aplikasi Bluetooth

- Android,” Jurnal Sains Student Research, vol. 4, no. 2, pp. 255–268, Apr. 2026, doi: 10.61722/jssr.v4i2.9485.
- [11] R. Prayoga, R. P. M. D. Labib, and A. Soetedjo, “Implementasi inverse kinematic pada lengan robot untuk proses pemilahan barang berdasarkan objek menggunakan computer vision,” El Sains: Jurnal Elektro, vol. 7, no. 2, pp. 15–20, Nov. 2025, doi: 10.30996/elsain.s.v7i2.13024.
- [12] M. H. A. Razaq, S. Sendari, M. L. Nardo, and A. P. Alvina, “Penggunaan robot arm sebagai upaya otomasi dan optimalisasi pemilahan sampah pada industri sirkular ekonomi,” Journal of Sciencetech Research and Development, vol. 6, no. 1, pp. 1774–1783, 2024, doi: 10.56670/jsrd.v6i1.493.
- [13] M. Irwan and A. Y., “Sistem kendali lengan robot 4-DOF untuk pemindah barang,” Jurnal Mosfet, vol. 2, no. 2, pp. 16–25, 2022, doi: 10.31850/jmosfet.v2i2.1981.
- [14] L. A. Siregar, Y. Ananda, A. M. Adha, and M. Iqbal, “Rancang bangun lengan robot berbasis Arduino menggunakan sistem kontrol sensor giroskop,” Journal of Electrical and System Control Engineering, vol. 8, no. 2, pp. 201–206, 2025.
- [15] Z. Nurkholik, F. A. Fiolana, and D. A. W. Kusumastutie, “Robotik arm: Rancang bangun lengan robot arm untuk menggambar menggunakan invers kinematik,” Jurnal Ilmiah Sistem Informasi, vol. 1, no. 3, pp. 59–68, Nov. 2022, doi: 10.51903/juisi.v1i3.413.
- [16] L. Mudihartini et al., “Rancang bangun robot arm dengan kontrol jarak jauh berbasis radio frequency untuk peningkatan efisiensi pertanian padi,” Jurnal Teknologi Terpadu, vol. 13, no. 2, pp. 131–139, 2025, doi: 10.32487/jtt.v13i2.2453.
- [17] S. Krishnakumar, K. Sneha, and A. Reethika, “Review on sensor-based colour sorting robot for candy manufacturing,” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1084, no. 1, Art. no. 012094, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1084/1/012094.
- [18] T. Raintung, “Robot lengan beroda pemindah barang berdasarkan warna dengan menggunakan Raspberry Pi,” Jurnal Ilmiah Informatika Mulia, vol. 1, no. 2, pp. 31–39, 2024. [Online]. Available: <https://journal.universitasmulia.ac.id/index.php/sarjana/article/view/904/428>.
- [19] K. Wulandari, A. K. Saputro, M. F. Fahmi, A. F. Ibadillah, M. Hardiwansyah, and D. N. Purnamasari, “Otomatisasi sistem sortir benda berdasarkan warna berbasis programmable logic controller menggunakan metode KNN,” SinarFe7, vol. 7, no. 1, pp. 76–87, 2025. [Online]. Available: <https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/763>.
- [20] R. Wahyudi, K. Ramadhani, L. Armanda, and M. A. Anugrah, “Lengan robot pemilah barang berdasarkan warna menggunakan sensor TCS3200,” Neptunus: Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, vol. 4, no. 1, pp. 76–95, 2026, doi: 10.61132/neptunus.v4i1.1474.
- [21] B. Sugandi, R. Iriansyah, P. Afriadi, J. Michael, and J. S. Silitonga, “Sistem penyortiran objek berdasarkan tinggi dan warna,” Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, vol. 19, no. 1, pp. 8–18, Jan. 2025, doi: 10.23960/elcv19n1.2737.
- [22] Ta’ali, A. V. Wati, Habibullah, and J. Sardi, “Pembacaan RGB warna terhadap lima warna yang berbeda pada sensor TCS34725,” JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, vol. 4, no. 1, pp. 84–90, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.352.
- [23] A. M. Nazeer, S. Sasikala, A. Kamalabharathy, S. D. K. Dharshni, M. N. Lakshmi, and K. S. Dharshini, “Colour sensing using robotic arm,” International Journal of Scientific Research in Science and Technology, vol. 7, no. 4, pp. 104–109, 2020, doi: 10.32628/IJSRST207430.
- [24] A. R. Chaidir, D. W. Herdiyanto, and K. Anam, “Integrasi robot lengan beroda holonomic dan pengindraan visual menggunakan YOLOv5 untuk pemilah sampah,” IJEIS: Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems, vol. 15, no. 1, pp. 13–24, Apr. 2025, doi: 10.22146/ijeis.103301.
- [25] G. S. Putra and Risfendra, “Sistem kontrol lengan robot berbasis Arduino dengan aplikasi GUI,” JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, vol. 3, no. 2, pp. 387–398, 2022, doi: 10.24036/jtein.v3i2.270.
- [26] S. Windasari and Abdurrohman, “Designing an omni wheel robot,” Jurnal Ekselenta: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik, vol. 1, no. 1, pp. 40–48, Dec. 2024. [Online]. Available: <https://ojs.sains.ac.id/index.php/ekselenta/article/view/24>.