

Implementasi Mikrokotroler Arduino Pada Robot Manipulator Pendeteksi dan Pemindah Objek Berwarna Sebagai Media Pembelajaran Mahasiswa di Laboratorium

Teuku Zulfadli¹, Yusman^{2*}, Bakhtiar³, Salahuddin⁴, Fadhli⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹teukuzulfadli@pnl.ac.id

^{2*}yusman@pnl.ac.id (penulis korespondensi)

Abstrak— Robot Manipulator adalah perangkat mekanis yang dirancang untuk meniru gerakan dan fungsi lengan manusia, terdiri dari beberapa segmen (*link*) yang dihubungkan oleh sendi (*joint*), serta digerakkan oleh aktuator seperti motor atau servo. Robot ini dapat diprogram untuk melakukan berbagai tugas seperti memindahkan, mengangkat, menyusun, atau mengatur objek dalam berbagai lingkungan, baik industri maupun pendidikan. Tujuan Penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan robot lengan pemindah objek berwarna berbasis mikrokotroler Arduino sebagai media pembelajaran interaktif bagi mahasiswa di Laboratorium. Metode penelitian yang digunakan adalah metode rekayasa teknologi, yang fokus pada perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor proximity mampu mendeteksi objek dengan optimal dengan jangkauan minimum 1 cm, serta dapat membantu arm robot untuk menjaga jarak konstan pada 1 cm tersebut agar pembacaan nilai warna RGB lebih stabil sebelum mengambil objek. Sensor warna TCS3200 berhasil membedakan secara jelas antara nilai RGB Merah, Hijau, dan Biru, dengan kinerja keberhasilan deteksi warna mencapai 100%.

Kata kunci— robot manipulator; objek berwarna, motor servo, sensor, mikrokotroler.

Abstract— Manipulator Robot is a mechanical device designed to mimic the movement and function of a human arm, consisting of several segments (*links*) connected by joints, and driven by actuators such as motors or servos. This robot can be programmed to perform various tasks such as moving, lifting, arranging, or arranging objects in various environments, both industrial and educational. The purpose of this research is to design and implement a colored object moving arm robot based on an Arduino microcontroller as an interactive learning medium for students in the Laboratory. The research method used is a technology engineering method, which focuses on the design, implementation, and testing of the system. The results of the study show that the proximity sensor is able to detect objects optimally with a minimum range of 1 cm, and can help the robot arm to maintain a constant distance of 1 cm so that the RGB color value reading is more stable before picking up the object. The TCS3200 color sensor successfully distinguishes clearly between Red, Green, and Blue RGB values, with a color detection success performance reaching 100%.

Keywords— robot manipulator; colored objects, servo motors, sensors, microcontrollers.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di era digital telah memberikan dampak yang signifikan terhadap dunia pendidikan, terutama dalam bidang teknik dan rekayasa. Salah satu teknologi yang mengalami peningkatan popularitas secara pesat dewasa ini adalah mikrokotroler Arduino. Arduino merupakan platform open-source yang bersifat fleksibel, mudah diprogram, dan mendukung integrasi dengan berbagai sensor serta aktuator [1][2]. Sifat terbuka dan biaya implementasinya yang rendah menjadikan Arduino sebagai sarana pembelajaran yang sangat efektif, khususnya dalam memahami sistem kendali dan robotika [3].

Dalam dunia pendidikan teknik, pemanfaatan robotika sebagai media pembelajaran interaktif telah menjadi tren yang terus berkembang. Salah satu bentuk penerapan robotika yang paling menonjol dan aplikatif adalah robot manipulator (*robotic arm*). Robot ini secara umum digunakan dalam industri manufaktur untuk memanipulasi objek, yaitu mengambil, memindahkan, menempatkan, atau melakukan operasi tertentu terhadap suatu benda atau objek [4]. Dengan menggabungkan kemampuan deteksi warna menggunakan sensor RGB dan pengendalian berbasis mikrokotroler Arduino, robot manipulator tidak hanya berfungsi sebagai perangkat teknis, tetapi juga sebagai media edukatif yang sangat baik untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap sistem kendali, sensorik, aktuator, serta logika pemrograman [5][6].

Namun demikian, banyak mahasiswa teknik masih mengalami kesulitan dalam memahami teori-teori abstrak terkait sistem kendali dan integrasi perangkat keras. Hal ini

disebabkan oleh keterbatasan media pembelajaran yang bersifat aplikatif dan menarik. Sering kali, metode pembelajaran bersifat satu arah dan minim praktik langsung, sehingga kurang mendukung pemahaman konseptual secara utuh [7]. Salah satu pendekatan yang potensial adalah pengembangan robot lengan pemindah objek berwarna berbasis Arduino, yang dapat digunakan sebagai alat bantu ajar dalam mata kuliah terkait mikrokotroler, sistem kendali, dan robotika. Media ini dirancang agar mahasiswa dapat mengamati secara langsung hubungan antara input sensor (warna), proses kontrol, dan output aktuator (gerakan lengan), sehingga meningkatkan keterlibatan dan minat belajar [8].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan robot manipulator pendeteksi dan pemindah objek berwarna berbasis mikrokotroler Arduino sebagai media pembelajaran interaktif bagi mahasiswa atau sebagai alat peragaan praktikum pembelajaran robotika bagi mahasiswa.

Tinjauan Pustaka

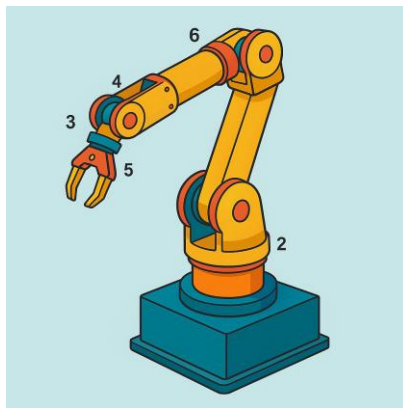
Penelitian tentang robot lengan (*manipulator*) telah dilakukan oleh Supriyono dkk yang meneliti tentang “Rancang Bangun Robot Lengan dengan Pengerak Sistem Pneumatik Menggunakan PLC”. Robot lengan yang dirancang berbasis Programmable Logic Controller memiliki 3 link dengan sudut pemindahan objek maksimum adalah 30° dan jangkauan maksimum 32 cm. Arm robot ini mampu memindahkan objek bila memiliki tekanan minimal 1,5 bar dengan rata-rata waktu pemindahan objek adalah 18 detik [9]. Muhammad Andhy Satrio Anwar dkk (2021), telah melakukan penelitian tentang “Rancang Bangun Robot Arm 4 DOF Berbasis

Mikrokontroler ATmega328". Dalam penelitian ini, arm robot digerakkan dengan motor stepper dan grippernya dengan motor servo, memiliki 4 DoF dan mampu mengangkat beban maksimum sebesar 350 gram [10]. Penelitian sejenis juga telah dilakukan oleh Rendyansyah dkk (2022), yaitu meneliti tentang "Pergerakan Robot Lengan Pengambil Objek dengan Sistem Perakam Gerak Berbasis Komputer". Robot ini dirancang memiliki 4 Degree of Freedom dengan mekanisme pengambilan objek atau benda menggunakan sistem perekam koordinat lokasi objek yang telah terprogram di dalam computer menggunakan cubic trajectory, dengan kesalahan pergerakan rata-rata $7,2^\circ$ [11].

Robot Manipulator

Robot Manipulator adalah jenis *robotic arm* yang dirancang untuk meniru gerakan lengan manusia. Robot ini terdiri dari beberapa segmen yang dihubungkan oleh sendi, memungkinkannya untuk bergerak dalam ruang tiga dimensi. Robot manipulator banyak digunakan dalam industri untuk melakukan tugas-tugas seperti perakitan, pengelasan, pengecatan, dan pemindahan barang. Komponen-komponen utama dari robot manipulator meliputi: Lengan (Arm), Sendi (Joint), Pergelangan (Wrist), End Effector, Sensor, Aktuator dan Pengendali (Controller) [12][13].

Degree of freedom (DoF) menunjukkan jumlah gerakan independen yang dapat dilakukan oleh *end effector* robot. Robot manipulator 6 DoF memiliki enam sumbu gerakan, yang memungkinkan fleksibilitas tinggi dalam menjangkau dan memanipulasi objek, meliputi Base rotation (yaw), Shoulder (pitch), Elbow (pitch), Wrist pitch, Wrist yaw dan Wrist roll. Setiap sendi minimal terdiri dari 1 DoF. Robot manipulator mempunyai rata-rata 3 DoF sehingga dapat bergerak ke atas-bawah, ke kiri-kanan, ke depan-belakang [14]. Gambar 1 menunjukkan contoh dari robot manipulator dengan 6 DoF.

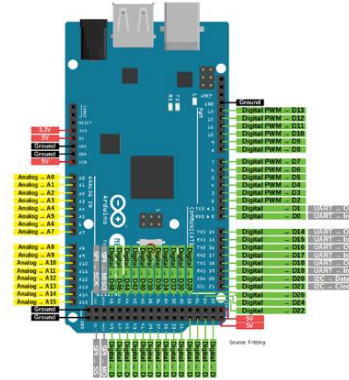


Gambar 1. Arm Robot dengan 6 DoF.

Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Mikrokontroler merupakan sebuah perangkat elektronik berbentuk chip Integrated Circuit (IC) yang berfungsi untuk mengolah dan mengendalikan data sesuai dengan instruksi atau program yang diberikan oleh programmer. Sementara Arduino adalah sebuah platform rangkaian elektronik yang bersifat open source dan mudah digunakan untuk berbagai aplikasi. Salah satu variannya adalah Arduino Mega 2560, yang merupakan hasil pengembangan dari versi Arduino Mega sebelumnya. Versi awal papan ini menggunakan chip ATmega1280, namun kemudian ditingkatkan menjadi ATmega2560. Hingga saat ini, perangkat tersebut telah mencapai versi revisi ketiga (R3). Gambar 2 memperlihatkan diagram pin dari Arduino Mega

2560 yang menunjukkan konfigurasi pin serta fungsi masing-masing port. [15].



Gambar 2. Konfigurasi pin Mikrokontroler Arduino Mega2560. Motor Servo

Motor servo merupakan jenis motor DC yang dilengkapi dengan sistem kontrol umpan balik posisi (*positional feedback control*) sehingga mampu mengatur dan mempertahankan posisi rotor dengan tingkat ketepatan yang tinggi. Komponen utama motor servo meliputi motor DC, rangkaian gear, sistem kontrol elektronik, serta potensiometer sebagai sensor posisi. Rangkaian gear yang terhubung pada poros motor berfungsi untuk menurunkan kecepatan putaran sekaligus meningkatkan torsi yang dihasilkan. Sementara itu, potensiometer digunakan untuk mendeteksi dan membatasi sudut rotasi servo agar sesuai dengan sinyal kendali yang diterima. Sudut putaran poros motor servo diatur oleh lebar pulsa (*pulse width*) yang dikirimkan melalui pin sinyal pada kabel motor [16]. Gambar 3 memperlihatkan bentuk fisik motor servo DS5160 60 KG.



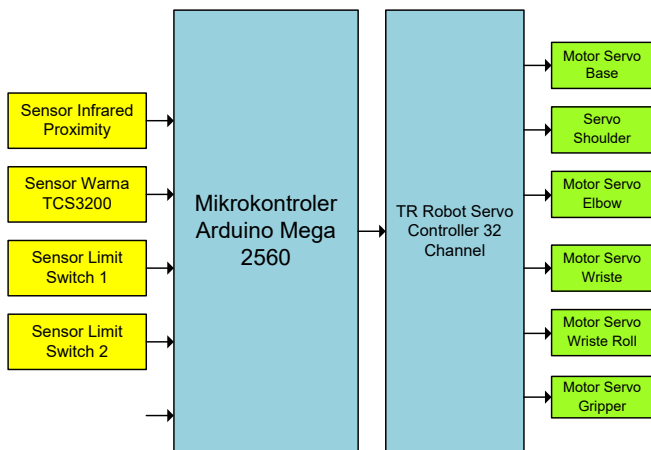
Gambar 3. Motor servo

II. METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan Diagram Blok Sistem

Gambar 4 merupakan rancangan Blok Diagram Sistem. Robot manipulator yang dirancang disini memiliki 6 Derajat Kebebasan atau *Degree of Freedom* (DoF), yang digerakkan secara elektrik dengan menggunakan aktuator motor servo, yaitu joint Base, Shoulder, Elbow dan Wristle, Wrist Roll dan Gripper. Sensor pertama yang digunakan adalah sensor proximity, yang berfungsi untuk mendeteksi jarak sensor terhadap objek. Bila antara sensor dan objek telah mencapai jarak yang ditentukan, maka gripper robot akan berhenti untuk selanjutnya membaca warna objek. Sensor kedua yang digunakan adalah sensor warna atau sensor RGB TCS3200, berfungsi untuk mendeteksi warna objek RGB (Red Blue Green) yang dipasang pada gripper. Bila gripper manipulator robot mendeteksi objek dengan salah satu warna RGB, maka robot akan mendefisikan warna tersebut untuk selanjutnya mengambil dan meletakkan objek RGB tersebut pada drop zone yang sesuai dengan warna objeknya.

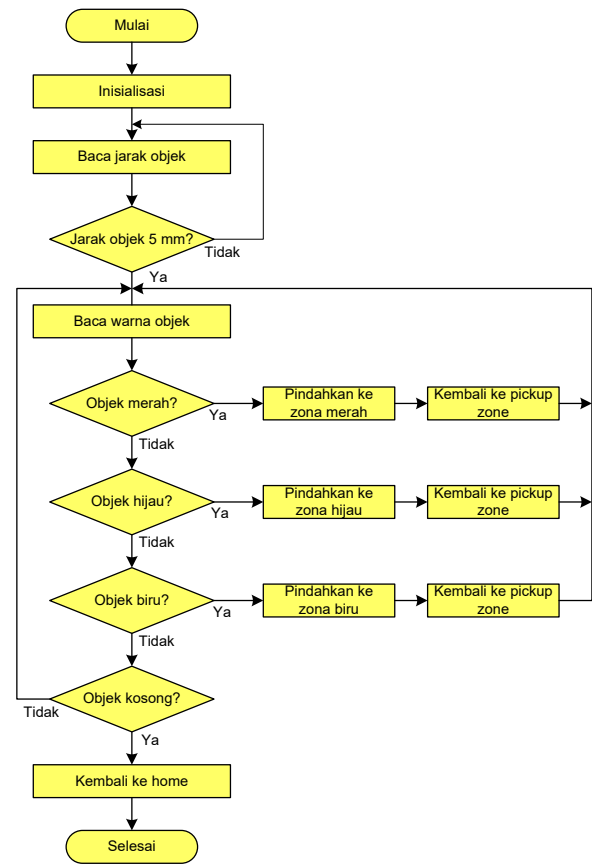
Sementara Sensor ketiga dan keempat merupakan limit switch yang berfungsi sebagai sensor pembatas maksimum gerakan arm robot ke arah kanan maupun ke kiri. Dalam hal ini sudut pergerakan arm robot dari posisi awal (home) adalah 90° ke kanan dan 90° ke kiri, jadi total pergerakan maksimum arm robot ini adalah 180°, maka sensor limit switch berfungsi untuk menjaga agar pergerakan servo base tidak melewati batas maksimumnya dan mencegah kerusakan servo. Robot dioperasikan dalam mode otomatis. Saat arm robot mulai digerakkan dan mendekati objek, maka sensor pada arm akan mendeteksi warna objek, bila jenis objek telah didefinikasikan, maka objek tersebut akan dipindahkan secara otomatis ke tempat akhir (drop zone) yang sesuai dengan warna objeknya. Selanjutnya robot akan Kembali ke zona pengambilan (pickup zone), bila tidak ada lagi objek pada zona tersebut, maka robot manipulator akan Kembali ke posisi home.



Gambar 4. Rancangan Diagram Blok Sistem

Perancangan Diagram Alir Sistem

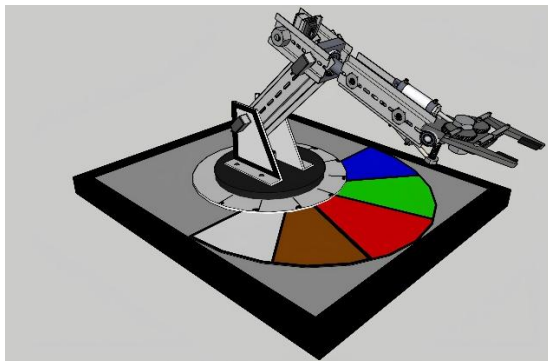
Perancangan diagram alir atau flowchart dari sistem robot manipulator ini ditunjukkan dalam Gambar 5. Pada kondisi awal, arm robot berada di posisi home. Ketika arm robot mulai diaktifkan, maka arm robot bergerak ke posisi pickup zone (zona awal peletakan objek) dan sensor proximity aktif membaca jarak antar sensor dengan objek. Bila jarak telah mencapai batas proximity, maka arm robot berhenti sesaat untuk mengaktifkan sensor warna dan membaca level warna. Kemudian nilai RGB warna akan dibandingkan dengan kadar warna di sistem yang telah deprogram dalam mikrokontroler Arduino. Bila warna yang dideteksi adalah merah, maka arm robot akan mendefinikan bahwa objek tersebut berwarna merah, selanjutnya gripper aktif dan objek akan akan diambil dan dipindahkan ke zona merah. Begitu juga hal nya bila objek yang terdeteksi adalah berwarna hijau dan biru, maka akan dibawa dan dipindahkan satu persatu ke zona warna yang sesuai. Jika tidak ada objek sama sekali pada pickup zone, berarti sensor tidak mendefinisikan warna merah, hijau maupun biru, maka arm robot akan Kembali ke home dan proses selesai.



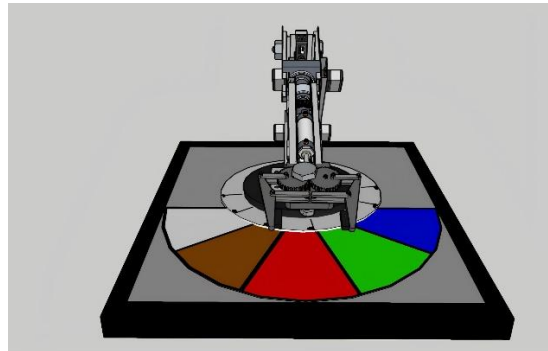
Gambar 5 Diagram alir sistem

Perancangan Mekanik 3-D

Robot manipulator yang dirancang pada penelitian ini dibuat dengan enam derajat kebebasan (Degree of Freedom / DoF). Seluruh pergerakan pada masing-masing DoF dikendalikan secara elektrik menggunakan motor servo. Keenam derajat kebebasan tersebut terdiri atas joint Base, Shoulder, Elbow, Wrist, Wrist Rotation, dan Gripper. Dari segi dimensi fisik, robot manipulator ini memiliki tinggi base sebesar 110 mm dan diameter base 80 mm. Bagian lengan bawah memiliki panjang 250 mm dengan lebar 60 mm, sedangkan lengan atas berukuran 210 mm dengan lebar 50 mm. Adapun *end effector* memiliki panjang 45 mm. Untuk base platform tempat objek diletakkan, dimensinya meliputi diameter 750 mm, ukuran area berwarna untuk objek 55 mm × 55 mm, dengan sudut tiap zona 45°, serta ketebalan papan 35 mm. Robot manipulator memiliki sudut gerak maksimum 180°, yang terdiri atas 90° ke kanan dan 90° ke kiri dari posisi awal (home position). Batas pergerakan tersebut dikendalikan oleh sensor limit switch yang berfungsi menjaga agar motor servo tidak melampaui batas maksimal gerakannya, sehingga kerusakan pada komponen servo dapat dihindari. Gambar 6 menampilkan desain mekanik 3D robot manipulator dari tampak samping, sedangkan Gambar 7 memperlihatkan desain mekanik 3D robot manipulator dari tampak depan.



Gambar 6. Rancangan mekanik 3-D robot lengan tampak samping



Gambar 7. Rancangan mekanik 3-D robot lengan tampak depan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang telah dicapai dalam penelitian ini mencakup beberapa kondisi pengujian atau pengukuran parameter terhadap alat robot lengan pemindah objek berwarna sebagai media pembelajaran. Pengujian yang dilakukan yaitu Pengujian kondisi pembacaan objek terhadap jaraknya dengan sensor proximity dan pengujian nilai RGB objek berwarna merah, hijau dan biru.

A. Pengujian kondisi pembacaan sensor proximity

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sensor proximity dalam mendeteksi objek pada batas jarak ideal sebelum melakukan deteksi warna objek hingga mengangkat atau memindahkan objek tersebut. Sensor proximity merupakan sensor yang mampu mendeteksi objek tanpa bersentuhan langsung, namun jarak objek yang dideteksi relatif dekat. Sensor proximity yang digunakan adalah tipe reflektif dengan jangkauan sangat pendek, maksimal 10 cm, yang ideal untuk mendeteksi apakah objek sudah sangat dekat dan siap diambil dan sudut deteksi sekitar 15°, maka disini penting untuk diketahui berapa jarak efektif antara sensor dengan objek, sehingga sensor masih mampu mendeteksi suatu objek secara optimal. Hasil pengujian kondisi pembacaan sensor proximity terhadap perubahan jarak dengan objek ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian deteksi objek dengan sensor proximity

Data Ke-	Jarak Objek aktual (cm)	Jarak baca Sensor (cm)	Galat Pengukuran (cm)	Keterangan Status
1	2.0	2.1	0.1	Terdeteksi
2	4.0	3.9	-0.1	Terdeteksi
3	6.0	5.8	-0.2	Terdeteksi
4	8.0	8.1	0.1	Terdeteksi
5	10.0	9.9	-0.1	Terdeteksi
6	3.0	3.2	0.2	Terdeteksi
7	5.0	5.0	0.0	Terdeteksi
8	7.0	6.9	-0.1	Terdeteksi

9	9.0	9.1	0.1	Terdeteksi
10	1.0	1.1	0.1	Terdeteksi
Rata-rata	-	-	$\approx \pm 0.12$	-

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sensor proximity beroperasi dengan akurasi dan presisi tinggi dalam batas jangkauan pendek 1.0 cm hingga 10.0 cm. Rata-rata kesalahan pengukuran berada di sekitar ± 0.12 cm, yang merupakan angka yang relatif kecil. Akurasi ini sangat penting karena sensor proximity di sini berfungsi sebagai trigger akhir (pemicu akhir) untuk memberitahu robot bahwa lengan telah berada pada posisi optimal untuk deteksi warna dan *grasping* (pengambilan). Dalam penerapannya pada robot lengan, sensor ini memastikan bahwa objek tidak terlalu jauh (sehingga *gripper* tidak bisa mengambil) dan tidak terlalu dekat (sehingga objek tidak menabrak sensor atau *gripper*). Akurasi 0.1 hingga 0.2 cm sudah memadai untuk tugas presisi ini.

B. Pengujian deteksi nilai RGB objek dengan sensor TCS3200

Pengujian pembacaan nilai RGB pada objek disini bertujuan untuk mengetahui kinerja sensor warna TCS3200 dalam mendeteksi objek berwarna RGB, meliputi kadar abu-abu (grayscale) 8-bit objek yang terbaca dan kesesuaian warna yang deteksi. Hasil pembacaan nilai grayscale RGB diharapkan dapat ditentukan batasan minimum dan maksimum nilai RGB suatu warna tertentu, yaitu warna-warna merah, hijau dan biru. Hasil pengujian nilai RGB terhadap perubahan jarak sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengukuran nilai RGB objek dengan sensor TCS3200

Data Ke-	Nilai R	Nilai G	Nilai B	Hasil Deteksi Sistem
1	210	45	38	Merah
2	215	50	42	Merah
3	208	48	40	Merah
4	220	52	44	Merah
5	212	46	39	Merah
6	48	200	55	Hijau
7	52	210	60	Hijau
8	50	205	58	Hijau
9	46	198	54	Hijau
10	54	215	62	Hijau
11	42	60	190	Biru
12	45	65	200	Biru
13	44	63	195	Biru
14	40	58	185	Biru
15	47	67	205	Biru

Tabel 2 merupakan hasil pembacaan data serial monitor dari nilai-nilai RGB yang ditampilkan pada IDE Arduino. Sampel data yang diambil dari serial monitor sebanyak 5 sampel untuk masing-masing warna RGB. Pengujian ini dilakukan dengan membuat jarak yang sama antara objek dengan sensor untuk semua data pengujian, yaitu pada jarak 1 cm, karena jarak ini merupakan jarak antara objek dengan sensor yang optimal untuk pembacaan warna dan untuk mencengkram objek.

Hasil Pengujian objek merah (Data 1 - 5) menunjukkan bahwa nilai Red (210–220) selalu jauh lebih tinggi dibanding Green (45–52) dan Blue (38–44). Hal ini menandakan bahwa sensor TCS3200 berhasil mendeteksi dominasi komponen merah. Variasi nilai R juga tidak terlalu besar (selisih ± 10),

artinya pembacaan sensor relatif stabil dan konsisten untuk objek merah. Sementara Nilai G dan B tetap rendah, menunjukkan gangguan atau noise warna lain cukup kecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa warna merah dapat dideteksi dengan baik, karena komponen merah dominan secara konsisten.

Pada hasil Uji objek hijau (Sampel 6 - 10) menunjukkan nilai Green (198–215) yang selalu dominan, sedangkan Red (46–54) dan Blue (54–62) berada di kisaran rendah hingga menengah. Meskipun ada sedikit variasi nilai G (selisih ± 17), hasil deteksi tetap mengarah ke warna hijau. Nilai B agak lebih tinggi dibandingkan nilai R, namun tidak mengganggu hasil deteksi karena kanal hijau masih jauh lebih besar. Hal ini bisa disebabkan oleh refleksi cahaya atau sensitivitas sensor pada panjang gelombang tertentu. Maka dapat disimpulkan bahwa warna hijau juga terdeteksi dengan akurat, meski terdapat sedikit *overlap* dengan komponen biru.

Sementara untuk pengujian objek biru (Sampel 11–15) menunjukkan nilai Blue (185–205) yang dominan, sedangkan Red (40–47) dan Green (58–67) berada pada nilai rendah. Variasi nilai B cukup kecil (selisih ± 20), masih dalam batas wajar untuk pembacaan sensor. Nilai G sedikit lebih tinggi daripada R, hal ini umum terjadi karena sensor TCS3200 memiliki sensitivitas cukup besar terhadap cahaya hijau. Walaupun ada pengaruh komponen hijau, dominasi biru tetap jelas terlihat. Dapat disimpulkan bahwa warna biru dapat dikenali dengan baik, namun terdapat kecenderungan bias ke hijau yang bisa memengaruhi ketepatan pada kondisi cahaya tertentu.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancangan dan realisasi sistem mekatronik robot lengan untuk media pembelajaran ini dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu: Sensor proximity mampu mendeteksi objek dengan optimal dengan jangkauan minimum 1 cm, yang menunjukkan akurasi tinggi pada jarak tersebut, serta dapat membantu arm robot untuk jarak konstan pada jarak 1 cm agar pembacaan nilai warna RGB lebih stabil sebelum mengambil objek. Sensor warna TCS3200 berhasil membedakan secara jelas antara nilai RGB Merah, Hijau, dan Biru. Pola data menunjukkan bahwa logika *thresholding* yang diterapkan Arduino cukup efektif untuk mendiskriminasi ketiga warna dasar tersebut.

REFERENSI

- [1] Prabowo, N. K., & Irwanto, I. (2023). *Bibliometric Analysis: Arduino dalam Pendidikan Sains 2008–2022*. arXiv:2312.10840.
- [2] Ferreira, F. H., et al. (2023). *Evaluation of student performance in robotics with Arduino for interactive robot development*. ResearchGate.
- [3] Cengiz, C. (2020). *The effect of Arduino-based educational robot applications on students' computational thinking skills*. ResearchGate.
- [4] Gómez de Gabrielli, E., et al. (2023). *UMIRobot: An open-source low-cost educational robotic manipulator*. arXiv:2301.06668.
- [5] Komninos, A. (2020). *Color detection and sorting robot using Arduino and TCS3200 sensor*. Applied Sciences, MDPI.
- [6] Garcia-Cabot, A., et al. (2022). *Effectiveness of active methodologies using Arduino for engineering education*. Education Sciences, MDPI.
- [7] Andrade, R. A., & Petry, C. (2021). *Educational robotic arm using Arduino for developing control systems teaching*. ResearchGate.
- [8] Redo, J., et al. (2021). *Arduino-assisted robotics coding integrated into the 5E learning model in science teaching*. International Journal of Technology and Design Education.
- [9] Supriyono, Muhamad Yusuf, dan Arif Ainur Rafiq. (2017). "Rancang Bangun Robot Lengan dengan Penggerak Sistem Pneumatik Menggunakan PLC". Jurnal Ecotipe Vol. 4 No. 1, Hal. 7-10, April 2017. <https://doi.org/10.33019/ecotipe.v4i1.12>
- [10] Muhammad Andhy Satrio Anwar, Maya Mirna, Muh. Rifaldi, Muhammad Nur, dan Ishak. (2021). "Rancang Bangun Robot Arm 4 DOF Berbasis Mikrokontroler ATmega328". Jurnal MAPLE Vol. 3 Edisi 2, Hal. 59-63, 2021.
- [11] Rendyansyah, Aditya P. P. Prasetyo, Kemahyanto Exaudi, Sarmayanta Sembiring, Brema Alfaretz, dan Monica Ayu Amaria, (2022). "Pergerakan Robot Lengan Pengambil Objek Dengan Sistem Perekam Gerak Berbasis Komputer". JTEV Vol. 8 No. 2, Hal. 230-240, 2022. <https://doi.org/10.24036/jtev.v8i2.113147>
- [12] Wahyu, T. (2021). Penggunaan Sensor Warna TCS3200 untuk Pendeteksi Warna Otomatis pada Lengan Robotik. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 10(2), 45-52. [DOI:10.1234/jtek.2021.045].
- [13] Siregar, L. A., Ananda, Y., Munthasar Adha, A., & Iqbal, M. (2025). *Rancang Bangun Lengan Robot Berbasis Arduino Menggunakan Sistem Kontrol Sensor Girokop*. Journal of Electrical and System Control Engineering, 8(2).
- [14] Febrianto, R. (2024). *Desain dan Pengembangan Lengan Robot SCARA 5-DOF untuk Pendidikan Robotika di Laboratorium STEM*. The Indonesian Journal of Computer Science, 13(5)
- [15] Awang, N. B. (2020). Development of Arduino Controlled Robotic Arm. *Education and Social Sciences Review*, 7. <https://doi.org/10.29210/07essr55700>.
- [16] Chenchireddy, K., Dora, R., & Gouse, B. (2024). Development of Robotic Arm Control Using Arduino Controller. *IAES International Journal of Robotics and Automation*, 13(3), 264–271. <https://doi.org/10.11591/ijra.v13i3>.
- [17] Rahmawati, A. & Budi, S. (2022). *Implementasi Sensor TCS3200 untuk Deteksi Warna pada Sistem Sortir Barang*. Jurnal Riset Robotika dan Otomasi, 5(1), 22–30.