

Pengembangan Media Pembelajaran Robotika Menggunakan Robot Manipulator Arduino untuk Deteksi Warna dan Pemindahan Objek

Teuku Zulfadli^{*1}, Yusman², Bakhtiar³, Salahuddin⁴, Fadhli⁵, Raihan Saputra⁶

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Provinsi Aceh

e-mail: *¹teukuzulfadli@pnl.ac.id,²yusman@pnl.ac.id,³bakhtiar@pnl.ac.id,⁴salahuddin.mt@pnl.ac.id,
⁵fadhli@pnl.ac.id,⁶raihan_saputra009@student.pnl.ac.id

Abstrak

Robot manipulator merupakan sistem mekanis yang didesain untuk meniru gerakan serta fungsi lengan manusia. Struktur robot ini terdiri dari beberapa segmen (link) yang saling terhubung melalui sendi (joint), dan digerakkan oleh aktuator seperti motor atau servo. Robot jenis ini dapat diprogram untuk melakukan berbagai aktivitas, seperti memindahkan, mengangkat, menyusun, maupun mengatur objek dalam beragam lingkungan, baik di bidang industri maupun pendidikan. Penelitian ini, bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan robot manipulator pemindah objek berwarna berbasis mikrokontroler Arduino sebagai media pembelajaran interaktif bagi mahasiswa di laboratorium. Metode yang digunakan adalah metode rekayasa teknologi, yang berfokus pada proses perancangan, implementasi, serta pengujian sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor proximity mampu mendeteksi objek secara optimal dengan jarak minimum 1 cm, serta membantu lengan robot mempertahankan jarak konstan pada posisi tersebut untuk memastikan pembacaan nilai warna RGB yang lebih stabil sebelum proses pengambilan objek. Selain itu, sensor warna TCS3200 terbukti mampu membedakan secara akurat nilai RGB untuk warna merah, hijau, dan biru, dengan tingkat keberhasilan deteksi mencapai 100%. Penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya khususnya dalam aspek desain sistem, karena mengintegrasikan sensor proximity dan sensor warna dalam satu sistem robot manipulator berbasis Arduino untuk tujuan media pembelajaran interaktif. Selain itu, sistem dilengkapi dengan mekanisme stabilisasi jarak 1 cm hingga 10 cm sebelum deteksi warna, sehingga meningkatkan akurasi pembacaan RGB dan keberhasilan pemindahan objek.

Kata kunci— Robot manipulator, Objek berwarna, Motor servo, Sensor, Mikrokontroler.

Abstract

A manipulator robot is a mechanical system engineered to replicate the movements and functions of a human arm. It consists of multiple segments (links) connected by joints and is actuated by components such as motors or servos. This type of robot can be programmed to perform a variety of tasks, including moving, lifting, assembling, and organizing objects, in both industrial and educational settings. The main objective of this study is to design and implement a color-based object transfer robotic arm controlled by an Arduino microcontroller, serving as an interactive learning tool for students in the laboratory. The research employs a technology engineering approach, focusing on the stages of system design, implementation, and testing. Experimental results demonstrate that the proximity sensor operates effectively, detecting objects at an optimal minimum range of 1 cm. This sensor also enables the robotic arm to maintain a stable 1 cm distance, ensuring more consistent RGB color readings before grasping an object. Additionally, the TCS3200 color sensor successfully distinguishes between Red, Green, and Blue RGB values with high precision, achieving a 100% color detection accuracy.

This research differs from previous research, particularly in its system design aspect, as it integrates proximity sensors and color sensors into a single Arduino-based robot manipulator system for interactive learning purposes. Furthermore, the system is equipped with a 1 cm to 10 cm distance stabilization mechanism before color detection, thereby improving RGB reading accuracy and object transfer success.

Keywords— Robot manipulator, Colored objects, Servo motors, Sensors, Microcontrollers.

1. 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 mikrokontroler 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 mikrokontroler Arduino, robot manipulator tidak hanya berfungsi sebagai perangkat teknis, serta dapat digunakan sebagai media edukatif yang sangat baik dalam 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 manipulator pemindah objek berwarna berbasis Arduino, yang dapat digunakan sebagai alat bantu ajar dalam mata kuliah terkait mikrokontroler, 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].

Proyek penelitian ini, bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan robot manipulator pendeteksi dan pemindah objek berwarna berbasis mikrokontroler Arduino sebagai media pembelajaran interaktif bagi mahasiswa atau sebagai alat peragaan praktikum pembelajaran robotika bagi mahasiswa.

1.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang robot manipulator telah dilakukan oleh Supriyono dkk yang meneliti tentang “Rancang Bangun Robot manipulator dengan Penggerak Sistem Pneumatik Menggunakan PLC”. Robot manipulator 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 manipulator Pengambil Objek dengan Sistem Perekam Gerak Berbasis Komputer". Robot ini dirancang memiliki 4 *Degree of Freedom* dengan mekanisme pengambilan objek atau benda dengan penggunaan sistem perekam koordinat lokasi objek yang telah terprogram di dalam computer serta penggunaan *cubic trajectory*, dengan kesalahan pergerakan rata-rata $7,2^\circ$ [11]. 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*), *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, sehingga dapat bergerak ke atas-bawah, ke kiri-kanan, ke depan-belakang [14].

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*. 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) serta mikrokontroler arduino mega 2560 yang menunjukkan konfigurasi pin serta fungsi masing-masing port [15].

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. 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].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan Metode Rekayasa Teknologi. Melakukan perancangan, implementasi dan pengujian serta menganalisa unjuk kerja perangkat yang dihasilkan, baik bagian-bagian dari sistem maupun sistem secara keseluruhan. Robot lengan secara umum digunakan dalam industri manufaktur untuk memindahkan, mengatur, atau menyortir objek secara otomatis. Dengan menggabungkan kemampuan deteksi warna dengan sensor RGB dan pengendalian berbasis mikrokontroler Arduino, robot lengan juga dapat berfungsi sebagai media edukatif yang sangat baik. Selama ini mahasiswa teknik masih mengalami kesulitan dalam memahami teori-teori abstrak terkait sistem kendali dan integrasi perangkat keras Robotika. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan media pembelajaran yang bersifat aplikatif dan menarik, oleh karena itu dibutuhkan solusi suatu media pembelajaran yang bersifat praktis dan interaktif yang mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik. 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 mikrokontroler, sistem kendali, dan robotika. Untuk metode pengujian fungsional lengan robot secara keseluruhan dalam memindahkan 3 objek merah, hijau dan biru dari posisi awal ke posisi akhir, disini dilakukan total 15 kali pengujian dalam batas jangkauan jarak minimal 1 cm hingga maksimal 10 cm.

2.1 Desain Diagram Blok Sistem

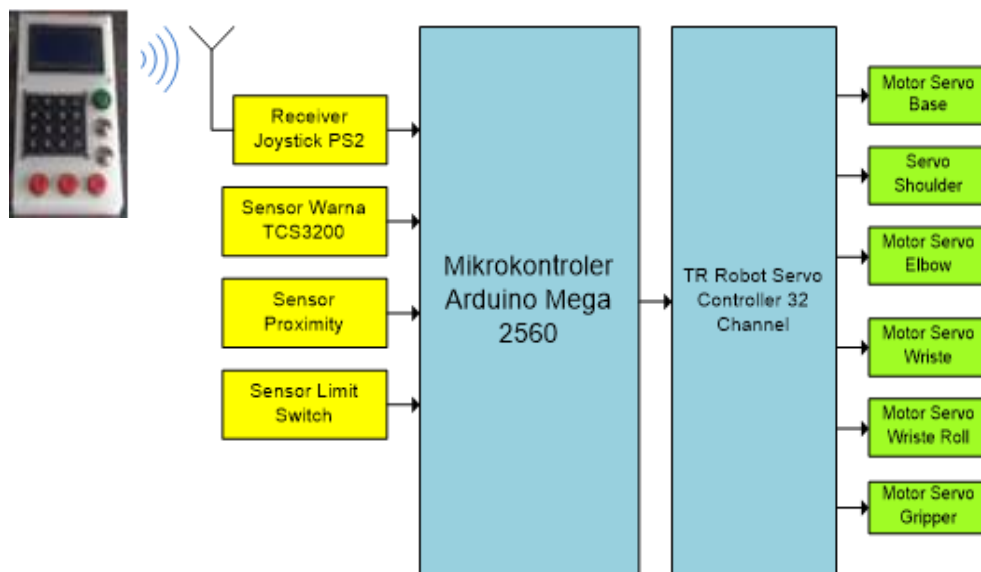
Gambar 1. menunjukkan rancangan blok diagram sistem dari robot manipulator yang dikembangkan dalam penelitian ini. Robot manipulator tersebut mempunyai enam derajat kebebasan (*Degree of Freedom/DoF*) yang digerakkan secara elektrik menggunakan aktuator motor servo pada bagian *base, shoulder, elbow, wrist, wrist Roll*, dan *gripper*.

Sensor pertama yang digunakan adalah sensor proximity, yang berfungsi untuk mendeteksi jarak antara sensor dan objek. Ketika jarak antara sensor dan objek mencapai nilai yang telah ditentukan, gripper akan berhenti bergerak dan sistem kemudian melakukan proses pembacaan warna objek.

Sensor kedua adalah sensor warna TCS3200, yang berfungsi mendeteksi warna dasar objek berupa komponen *RGB (Red, Green, Blue)* [17][18] dan mengembangkan sistem robot berbasis sensor warna dan Arduino untuk klasifikasi objek secara otomatis [19][20][21][22][23]. Sensor ini terpasang pada bagian gripper, setelah mendeteksi warna tertentu, sistem akan mengenali jenis warna tersebut dan secara otomatis mengarahkan robot untuk mengambil serta menempatkan objek ke drop zone yang sesuai dengan warnanya.

Selain itu, digunakan sensor ketiga dan keempat berupa limit switch yang berfungsi sebagai pembatas gerakan maksimum lengan robot ke arah kanan maupun kiri. Dalam sistem ini, sudut pergerakan lengan robot dari posisi awal (*home position*) dibatasi sebesar 90° ke kanan dan 90° ke kiri, sehingga total sudut gerak maksimum adalah 180° . Limit switch ini berperan penting untuk mencegah pergerakan berlebih pada servo *base* yang dapat menyebabkan kerusakan.

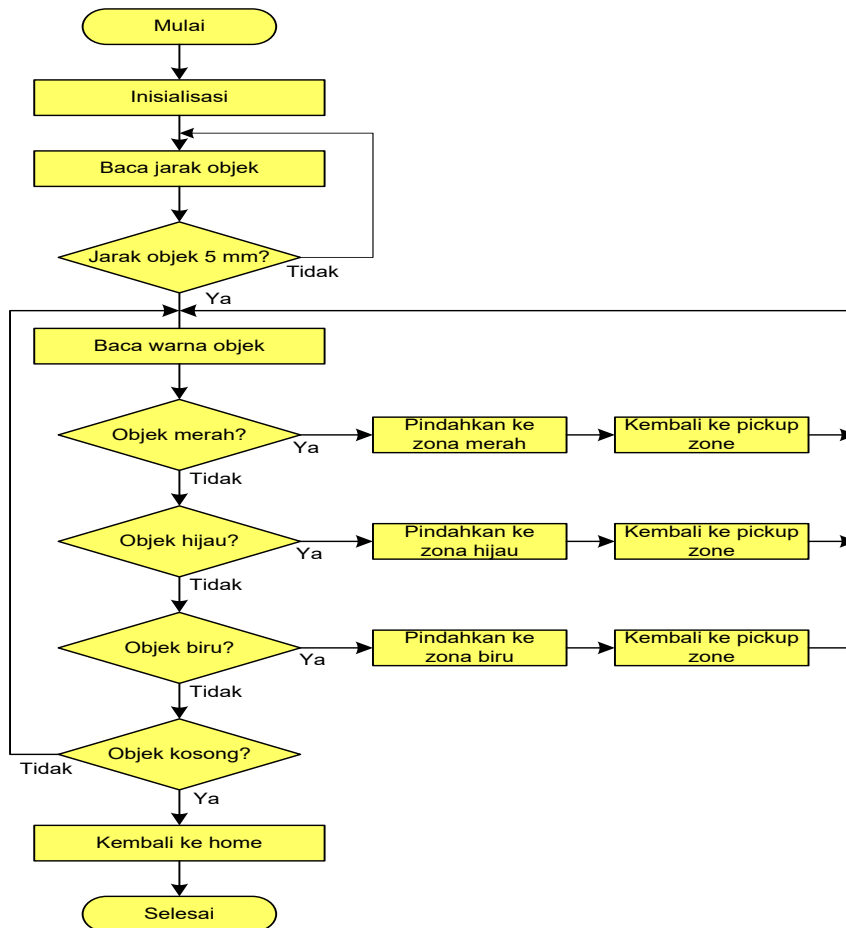
Robot ini dapat dioperasikan dalam mode manual maupun otomatis. Dalam mode auto, Saat arm robot mulai digerakkan dan mendekati objek, maka sensor pada arm akan mendeteksi warna objek, bila jenis objek telah didefinisikan, maka objek tersebut akan dipindahkan secara otomatis ke tempat akhir (*drop zone*) yang sesuai dengan warna objeknya. Dalam mode manual, maka operator dapat memilih sembarang objek menggunakan kontroler *joystick PS2* secara wireless dan menempatkannya pada sembarang *drop zone* yang diinginkan. Setelah itu, robot kembali ke *pickup zone* untuk mengambil objek berikutnya. Apabila tidak ada lagi objek yang terdeteksi, maka lengan robot akan kembali ke posisi awal (*home position*).



Gambar 1. Rancangan Blok Diagram Sistem

2.2 Desain Diagram Alir Sistem

Desain diagram alir/flowchart pada sistem robot manipulator ini ditunjukkan dalam Gambar 2. 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 mendefinisikan bahwa objek tersebut berwarna merah, selanjutnya gripper aktif dan objek akan diambil dan dipindahkan ke zona merah. Begitu juga halnya 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.

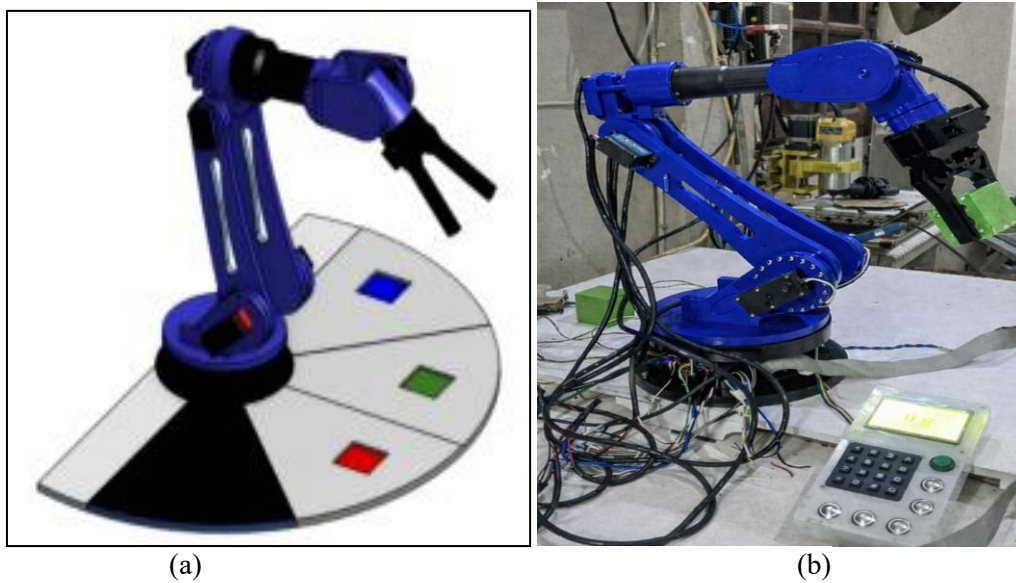


Gambar 2. Diagram alir sistem

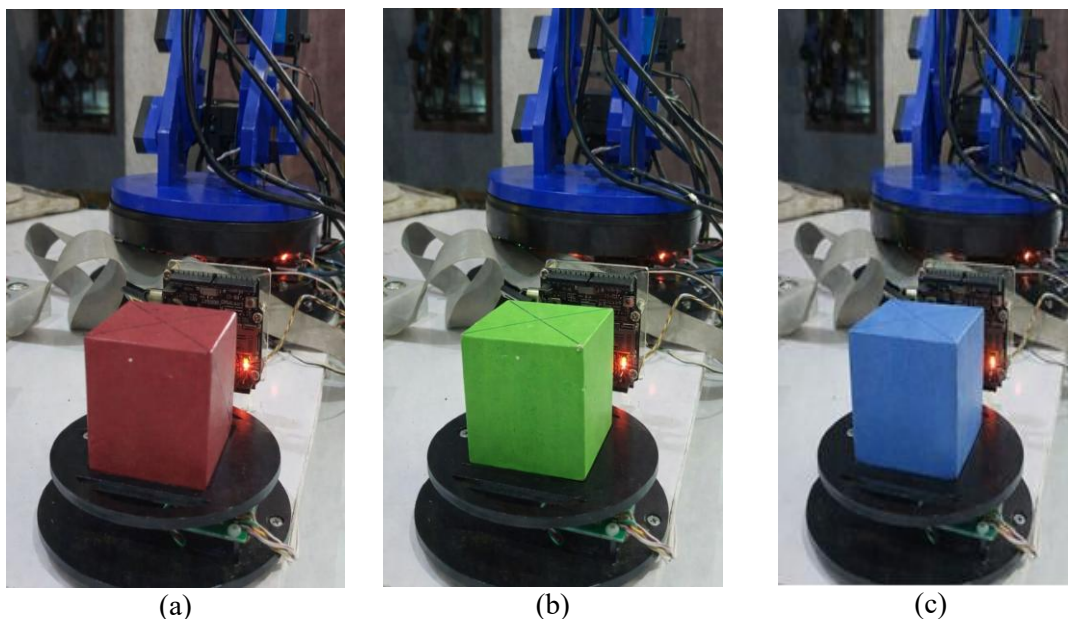
2.3 Desain Mekanik 3-D Robot Manipulator

Robot manipulator yang didesain 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 3 menampilkan desain mekanik 3D robot manipulator dengan 6 DoF. Sedangkan Gambar 4 menampilkan desain objek pengujian.



Gambar 3. Desain mekanik robot dengan 6 DoF (a) Desain 3-D (b) Produk Penelitian



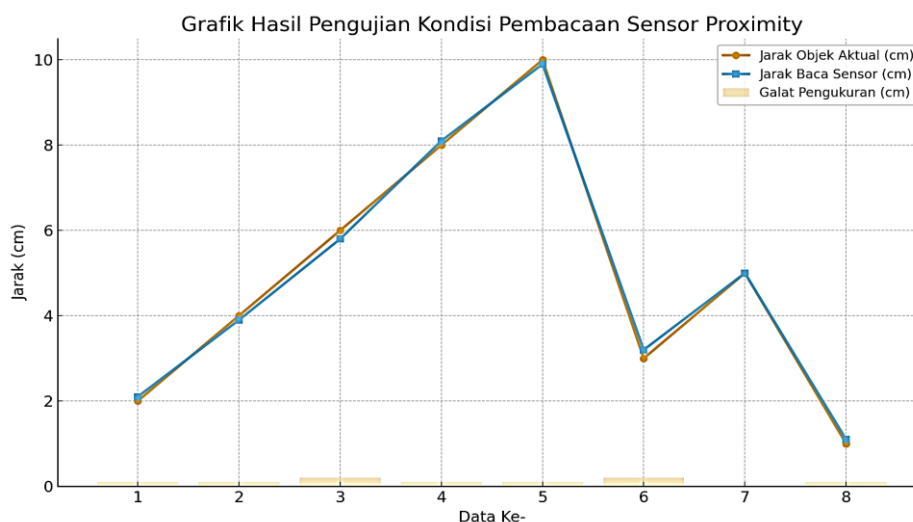
Gambar 4. Desain Objek pengujian (a) Objek merah (b) Objek hijau (c) Objek biru

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini mencakup berbagai kondisi pengujian dan pengukuran parameter pada alat robot manipulator pemindah objek berwarna yang dirancang sebagai media pembelajaran. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian pembacaan jarak objek terhadap sensor proximity serta pengujian nilai RGB untuk objek dengan warna merah, hijau, dan biru.

A. Pengujian kondisi pembacaan sensor proximity

Pengujian ini dilakukan, bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor proximity dalam mendeteksi keberadaan objek pada jarak ideal sebelum dilakukan proses deteksi warna hingga tahap pengambilan atau pemindahan objek. Sensor proximity yang digunakan merupakan jenis reflektif, yaitu sensor yang dapat mendeteksi objek tanpa kontak langsung, namun dengan jarak deteksi yang relatif dekat. Sensor ini memiliki jangkauan maksimal sekitar 10 cm dan sudut deteksi sekitar 15° , sehingga penting untuk menentukan jarak efektif antara sensor dan objek agar sensor dapat beroperasi secara optimal. Hasil pengujian pembacaan sensor proximity terhadap variasi jarak antara sensor dan objek disajikan pada gambar 4.



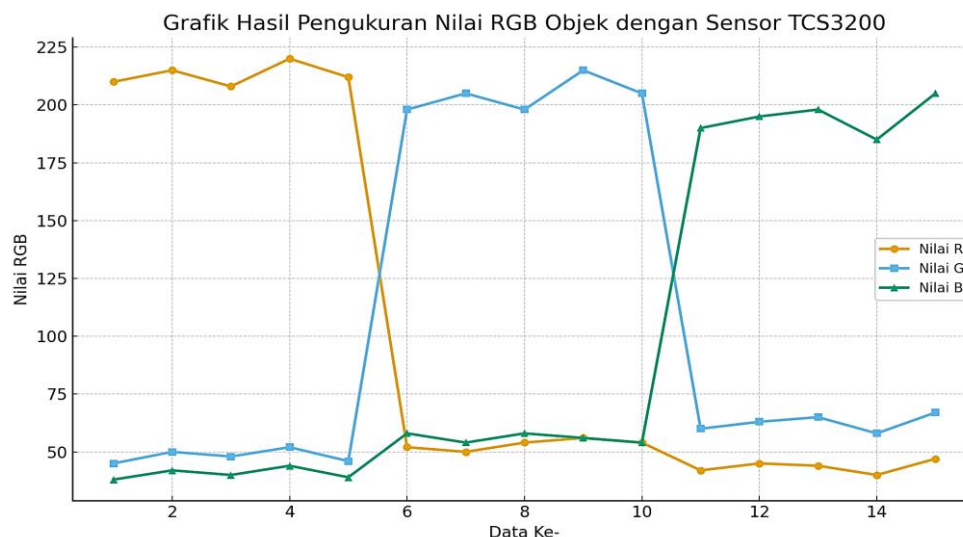
Gambar 4. Grafik hasil pengujian kondisi pembacaan sensor proximity

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sensor proximity mampu bekerja dengan tingkat akurasi dan presisi yang tinggi pada rentang jarak pendek antara 1,0 cm hingga 10,0 cm. Rata-rata kesalahan pengukuran tercatat sekitar $\pm 0,12$ cm, yang tergolong sangat kecil. Tingkat akurasi tersebut penting karena sensor proximity berperan sebagai *final trigger* (pemicu akhir) yang memberi sinyal kepada robot bahwa posisi lengan sudah optimal untuk melakukan deteksi warna dan proses *grasping* (pengambilan objek). Dalam aplikasi pada robot manipulator, sensor ini memastikan objek berada pada jarak ideal — tidak terlalu jauh sehingga gripper gagal mengambil, dan tidak terlalu dekat sehingga berisiko menabrak sensor atau gripper. Akurasi pada kisaran 0,1 hingga 0,2 cm dinilai sudah sangat memadai untuk mendukung tugas dengan tingkat presisi tinggi.

B. Pengujian deteksi nilai RGB objek dengan sensor TCS3200

Pengujian pembacaan nilai RGB pada objek ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor warna TCS3200 dalam mendeteksi objek berwarna dasar RGB, termasuk tingkat intensitas abu-abu (*grayscale*) 8-bit yang terbaca serta kesesuaian hasil deteksi warna. Melalui

hasil pembacaan nilai grayscale RGB, diharapkan dapat ditetapkan rentang batas minimum dan maksimum untuk masing-masing warna utama, yaitu merah, hijau, dan biru. Hasil pengujian nilai RGB terhadap variasi jarak ditampilkan pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik hasil pengukuran nilai RGB objek dengan sensor TCS3200

Gambar 5. menampilkan hasil pembacaan data dari *serial monitor* yang menunjukkan nilai-nilai RGB pada IDE Arduino. Sebanyak lima sampel data diambil untuk masing-masing warna RGB. Seluruh pengujian dilakukan dengan menjaga jarak antara sensor dan objek tetap konstan pada 1 cm, karena jarak ini terbukti paling optimal untuk pembacaan warna dan proses penjepitan objek oleh robot.

Pada pengujian terhadap objek berwarna merah (Data 1–5), nilai komponen **Red** (210–220) selalu jauh lebih tinggi dibanding **Green** (45–52) dan **Blue** (38–44). Hal ini menunjukkan bahwa sensor TCS3200 mampu mendeteksi dominasi warna merah dengan baik. Variasi nilai Red yang relatif kecil (± 10) menandakan hasil pembacaan yang stabil dan konsisten. Nilai Green dan Blue yang tetap rendah juga menunjukkan minimnya gangguan warna lain, sehingga dapat disimpulkan bahwa warna merah terdeteksi secara akurat dan konsisten.

Untuk pengujian objek berwarna hijau (Sampel 6–10), nilai **Green** (198–215) selalu menjadi komponen dominan, sedangkan **Red** (46–54) dan **Blue** (54–62) berada pada kisaran rendah hingga sedang. Walaupun terdapat sedikit variasi pada nilai Green (sekitar ± 17), hasil pembacaan tetap menunjukkan dominasi warna hijau. Nilai Blue yang sedikit lebih tinggi daripada Red kemungkinan disebabkan oleh pantulan cahaya atau sensitivitas sensor terhadap panjang gelombang tertentu. Dengan demikian, warna hijau juga dapat dikenali dengan baik meskipun terdapat sedikit tumpang tindih dengan komponen biru.

Sementara itu, pengujian terhadap objek berwarna biru (Sampel 11–15) memperlihatkan bahwa nilai **Blue** (185–205) menjadi komponen utama, dengan **Red** (40–47) dan **Green** (58–67) berada pada rentang yang lebih rendah. Variasi nilai Blue yang kecil (± 20) menunjukkan kestabilan pembacaan sensor. Nilai Green yang sedikit lebih tinggi daripada Red merupakan hal yang wajar, mengingat sensor TCS3200 memiliki sensitivitas yang cukup tinggi terhadap cahaya hijau. Meskipun terdapat sedikit pengaruh dari komponen hijau, dominasi warna biru tetap jelas terlihat. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sensor mampu mendeteksi warna biru dengan baik, meskipun ada sedikit bias terhadap warna hijau yang dapat memengaruhi akurasi dalam kondisi pencahayaan tertentu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi sistem mekatronika pada robot manipulator sebagai media pembelajaran, dapat disimpulkan beberapa hal berikut: Sensor proximity bekerja secara optimal dalam mendeteksi objek pada jarak minimum 1 cm, menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi pada jarak tersebut. Sensor ini juga membantu robot manipulator mempertahankan jarak konstan 1 cm agar pembacaan nilai warna RGB menjadi lebih stabil sebelum proses pengambilan objek. Selain itu, sensor warna TCS3200 mampu membedakan dengan jelas nilai RGB untuk warna Merah, Hijau, dan Biru. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan logika *thresholding* pada Arduino cukup efektif dalam mengklasifikasikan ketiga warna dasar tersebut.

5. SARAN

Penelitian ini masih memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikan sistem kendali cerdas, seperti *fuzzy logic* atau kecerdasan buatan (AI), guna meningkatkan ketepatan deteksi serta efisiensi pergerakan robot manipulator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Lhokseumawe telah mendanai penelitian ini dengan nomor SPK:3953/PL20/PT.01.03/2025, menggunakan dana DIPA PNL tahun anggaran 2025 serta kepada teman-teman dan orang-orang yang terlibat dalam penelitian baik langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [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 Giroskop*. *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.
- [18] Al-Farisi, M., & Rahman, F. (2024). Integration of IoT and Arduino in Robotic Arm Systems for Smart Laboratory Applications. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 14(6), 6021–6030. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i6>.
- [19] Zhang, Y., Liu, H., & Chen, X. (2024). Design and Implementation of an Intelligent Robotic Arm Based on Arduino and Machine Vision. *IEEE Access*, 12, 45678–45689. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024>.
- [20] Santos, D., Ferreira, M., & Costa, R. (2024). Low-Cost Educational Robotics Platform for Engineering Learning Using Arduino. *Education Sciences*, 14(3), 215. <https://doi.org/10.3390/educsci14030215>.
- [21] Chen, L., Wang, Z., & Li, J. (2025). Adaptive Control of Robotic Manipulators Using Embedded Microcontrollers for Educational Applications. *Robotics and Autonomous Systems*, 178, 104756. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2025.104756>.
- [22] Pratama, R., Hidayat, T., & Nugroho, A. (2025). Implementation of Smart Robotic Arm for Object Classification Using RGB Sensor and Arduino Mega. *Journal of Mechatronics and Intelligent Systems*, 9(1), 45–55.
- [23] Pratama, R., Hidayat, T., & Nugroho, A. (2025). Implementation of Smart Robotic Arm for Object Classification Using RGB Sensor and Arduino Mega. *Journal of Mechatronics and Intelligent Systems*, 9(1), 45–55.
-