

RANCANG BANGUN ROBOT LENGAN OTOMATIS PEMINDAH OBJEK BERDASARKAN DETEKSI WARNA DAN BERAT UNTUK SISTEM OTOMASI INDUSTRI BERBASIS ARDUINO

Yusman¹, Bakhtiar², Gunawan³, Arsy Febrina Dewi⁴, Fadhli⁵, Raihan Saputra⁶

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

Email: yusman@pnl.ac.id¹, bakhtiar@pnl.ac.id², gunawanelektro@pnl.ac.id³, arsyfebrinadw@pnl.ac.id⁴, fadhli@pnl.ac.id⁵, raihansaputramm@gmail.com⁶

Corresponding Author : Yusman

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: yusman@pnl.ac.id

Abstrak – Robot Lengan merupakan sistem robotik yang mampu melakukan gerakan menyerupai lengan manusia untuk berbagai tugas dalam lingkungan industri maupun laboratorium, seperti memindahkan, menyusun, atau mengatur objek. Umumnya robot lengan hanya ditugaskan untuk mendefinisikan dan memindahkan objek berdasarkan satu kondisi parameter. Sehingga robot lengan menjadi kurang adaptif dalam memilah dan memindahkan objek berdasarkan lebih banyak kriteria. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan rancang bangun Robot Lengan yang dapat memindahkan objek berdasarkan parameter warna dan berat objek berbasis Mikrokontroler Arduino pada sistem otomasi industri, khususnya pada sistem material handling di industri manufaktur. Metode penelitian yang digunakan adalah metode rekayasa teknologi, yang fokus pada perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor proximity pada robot lengan mampu mendeteksi objek secara responsif pada jarak minimal 2 cm. Dari total 15 sampel pengujian, robot lengan berhasil menjalankan tugasnya mendeteksi dan memindahkan objek sebanyak 13 kali, dengan tingkat keberhasilan (*accuracy rate*) berdasarkan kesesuaian warna objek mencapai 86,67%. Sementara berdasarkan kesesuaian berat objek, lengan robot mampu melakukan *pick and place* objek secara tepat dengan kinerja 100%. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem secara umum andal dalam kondisi pengujian yang spesifik.

Kata-kata kunci: Robot Lengan, Pemindah Objek, Motor Servo, Sensor, Mikrokontroler.

Abstract – A robotic arm is a robotic system capable of movements resembling a human arm to perform various tasks in industrial or laboratory environments, such as moving, stacking, or arranging objects. Typically, robotic arms are tasked with identifying and moving objects based on a single parameter, limiting their adaptability when sorting and moving objects based on multiple criteria. This research aims to design and build an Arduino-based robotic arm capable of moving objects according to color and weight parameters within an industrial automation system—specifically, a material handling system in the manufacturing industry. The study employs a technology engineering methodology, focusing on system design, implementation, and testing. Results indicate that the robotic arm's proximity sensor is capable of responsive object detection at a minimum distance of 2 cm. Out of 15 test samples, the robotic arm successfully detected and moved objects 13 times, achieving an accuracy rate of 86.67% based on color matching. Regarding weight-based sorting, the robotic arm performed the "pick-and-place" task with 100% accuracy. These findings demonstrate that the system is generally reliable under the specific testing conditions.

Keywords: Robotic Arm, Object Mover, Servo Motor, Sensor, Microcontroller.

I. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi otomasi dan robotika, kebutuhan akan sistem otomatis yang efisien dan fleksibel dalam proses produksi maupun penanganan material semakin meningkat [1]. Salah satu solusi yang banyak dikembangkan adalah penggunaan *robot arm*, yaitu lengan robotik yang mampu melakukan gerakan

menyerupai lengan manusia untuk berbagai tugas seperti memindahkan, menyusun, atau mengatur objek [2]. Dalam lingkungan industri maupun laboratorium, efisiensi pemindahan objek yang cepat dan akurat menjadi sangat penting, terutama jika berkaitan dengan variasi bentuk, warna, dan berat objek [3].

Umumnya arm robot hanya ditugaskan untuk mendefinisikan dan memindahkan objek berdasarkan

satu kondisi parameter [4], [5]. Sehingga arm robot menjadi kurang adaptif dalam memilah dan memindahkan objek berdasarkan lebih banyak kriteria. Dalam proses otomasi industri, kemampuan untuk mengenali dan membedakan objek berdasarkan lebih dari satu parameter tertentu seperti warna dan berat merupakan hal yang sangat penting. Deteksi warna memungkinkan sistem untuk mengklasifikasikan objek berdasarkan ciri visualnya, sedangkan pengukuran berat memberikan informasi penting terkait jenis atau kapasitas objek yang sedang ditangani, baik dari sisi keamanan penanganan maupun ketepatan proses. Integrasi sistem deteksi warna dan berat objek ke dalam sistem lengan robot akan menghasilkan solusi yang lebih cerdas dan adaptif dalam memilah dan memindahkan objek berdasarkan kriteria tertentu, sehingga sangat mendukung proses penyortiran otomatis [6][7].

Oleh karena itu, kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada integrasi parameter ganda secara bersamaan, yaitu kriteria visual (warna) dan kriteria fisik (berat) ke dalam satu sistem kendali robot lengan 6 *Degree of Freedom (DoF)* berbasis Arduino. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya mengandalkan penyortiran parameter tunggal, pendekatan multi-kriteria pada penelitian ini menjembatani keterbatasan sistem konvensional dengan menawarkan tingkat kecerdasan dan adaptabilitas yang lebih tinggi. Penggabungan kedua parameter ini memungkinkan sistem tidak hanya memilah objek berdasarkan kategori jenisnya (melalui warna), tetapi juga memverifikasi kapasitas atau standar spesifikasinya (melalui berat), menjadikannya solusi penyortiran otomatis yang jauh lebih presisi untuk sistem *material handling* di industri manufaktur.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan rancang bangun robot lengan 6 *Degree of Freedom (DoF)* yang dapat memindahkan objek berdasarkan parameter warna dan berat objek berbasis Mikrokontroler Arduino pada sistem otomasi industri, khususnya pada sistem *material handling* di industri manufaktur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam studi yang dilakukan oleh Andrian dkk. [8] telah meneliti tentang *Arm Robot Pemindah Barang (AtwoR)* Menggunakan Motor Servo MG995 Sebagai Penggerak *Arm* Berbasis Arduino. Robot lengan dalam penelitian ini memiliki 4 DoF dan beroda, serta hanya menitikberatkan pada kemampuan pemindahan barang berdasarkan berat objeknya. Deny Hasminta Sembiring Maha dkk. [9] telah meneliti tentang Perancangan Robot Lengan Pemindah Barang Berdasarkan Ukuran Berbasis Arduino Dengan Sensor Ping Hc-Sr04 dan Sensor Inframerah. Arm robot dalam penelitian ini memiliki 5 DoF dan memfokuskan pada kemampuan robot dalam mengenali dan memindahkan objek berdasarkan ukuran atau dimensi benda.

Penelitian oleh Zhang dkk. [10] telah mengimplementasikan lengan robot 5 DoF untuk pemilahan objek berdasarkan warna, tetapi belum

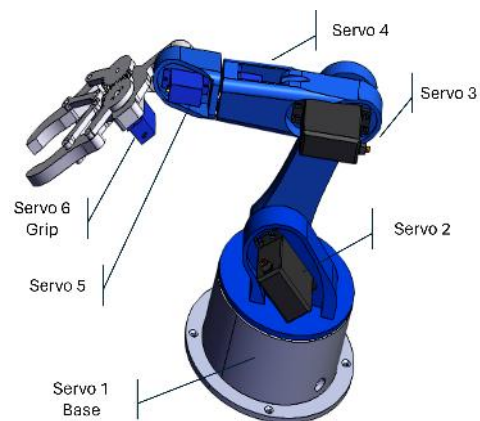
mengintegrasikan parameter berat. Penelitian yang sama juga telah dikembangkan oleh Yusman dkk. [11] yaitu Rancang Bangun Sistem Pengontrolan Arm Robot Pemindah Barang Secara Elektro Pneumatik Berbasis Arduino. Dalam penelitian ini telah dirancang dan direalisasikan arm robot 6 DoF yang mampu mendeteksi dan memindahkan objek berdasarkan warna RGB. Namun penelitian ini juga belum mengintegrasikan parameter berat dalam pemindahan objeknya.

Dengan demikian, *research gap* muncul pada aspek integrasi deteksi warna dan berat objek secara bersamaan dalam sistem robot lengan berbasis mikrokontroler Arduino. Penelitian ini berupaya menjawab tantangan tersebut dengan: Menggabungkan sensor visual (Pixy Cam) untuk identifikasi warna objek, Mengintegrasikan sensor berat (load cell + HX711) sebagai parameter seleksi atau pengambilan objek, Menerapkan sistem kendali terprogram berbasis Arduino untuk mengatur pergerakan servo motor pada lengan robot secara adaptif.

A. Robotic Arm

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

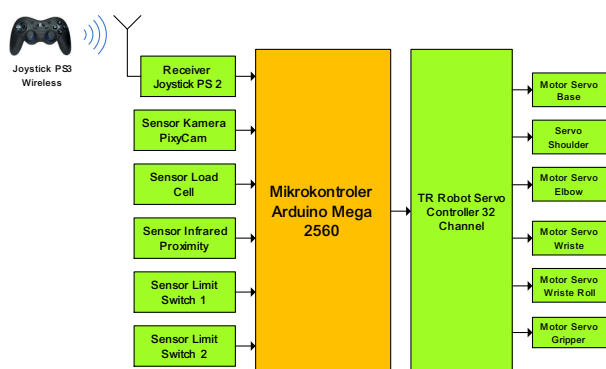
Degree of freedom (DoF) menunjukkan jumlah gerakan independen yang dapat dilakukan oleh *end effector* robot. Robot arm 6 DoF memiliki enam sumbu gerakan, mirip dengan lengan manusia, yang memungkinkan fleksibilitas tinggi dalam menjangkau dan memanipulasi objek, meliputi *Base rotation (yaw)*, *Shoulder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



Gbr. 1 Robot Lengan dengan 6 DoF

warna dan berat objek yang sesuai sebagaimana diprogramkan. Robot memiliki 6 masukan, yang terbagi dalam 1 masukan dari joystick PS3 *wireless* dan 5 masukan dari sensor, yaitu 1 masukan dari sensor kamera Pixy smart vision, 1 masukan dari sensor *load cell*, 1 masukan dari sensor proximity infra red dan 2 masukan dari sensor limit *switch*. Joystick PS3 berfungsi untuk mengontrol arm robot secara manual untuk mengangkat dan memindahkan objek, sensor kamera pixy sebagai pendeteksi warna objek beresolusi tinggi, sensor proximity berfungsi untuk mendeteksi batas jarak objek terhadap arm ketika akan melakukan pembacaan jenis warna, serta sensor limit *switch* membatasi gerakan arm robot ke kanan dan kiri, dimana dalam hal ini base servo dikondisikan pada pergerakan maksimum 180°.

Mikrokontroler Arduino Mega 2560 adalah sebagai pusat pengendali sistem yang memproses data dari masukan sensor maupun perintah joystick. Selanjutnya mendefinisikan data masukan tersebut untuk memerintahkan aktuator robot lengan untuk melakukan aksi gerakan sesuai perintah inputnya. Robot Lengan ini dapat dioperasikan dalam mode manual maupun otomatis. Dalam mode auto, Saat arm robot mulai dijalankan, maka arm robot akan ke *pick zone* (zona pengambilan) untuk mengambil objek. Arm robot terlebih dahulu akan mendeteksi warna, selanjutnya objek akan diangkat ke zona timbangan *load cell* untuk menimbang berat objek. Warna objek yang akan dideteksi terdapat 3 warna, meliputi Red Green Blue (RGB), sementara berat objek dalam 2 kategori. Warna objek yang dideteksi yang akan digabungkan kategori berat yang terdeteksi, sehingga setiap warna merah, hijau dan biru masing-masing akan memiliki 2 zona *drop zone* (tempat peletakan) dengan 2 kategori berat. Dalam mode manual, maka operator dapat memilih sembarang objek menggunakan kontroler joystick PS3 secara *wireless* dan menempatkannya pada sembarang *drop zone* yang diinginkan.

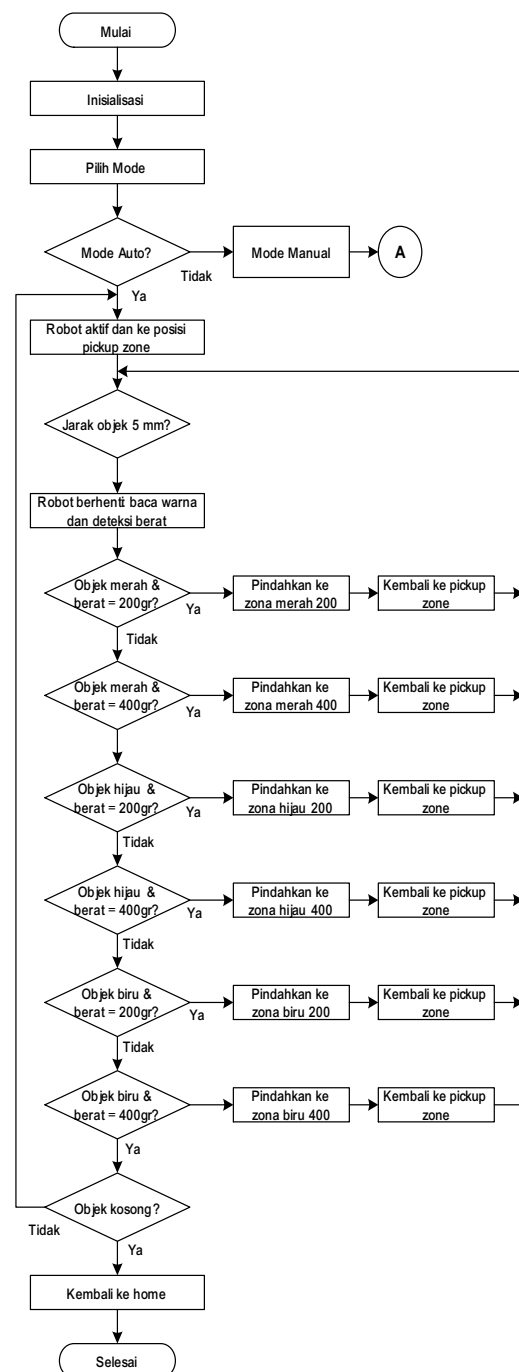


Gbr. 5 Rancangan Diagram Blok Sistem

B. Perancangan Diagram Alir Sistem

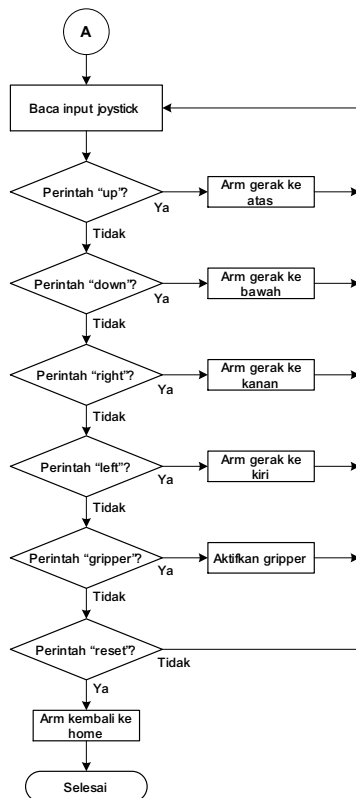
Pada kondisi awal, jika user memilih mode auto, maka robot lengan mulai aktif bergerak ke posisi pickup zone (zona awal peletakan objek) dan sensor proximity aktif membaca jarak antara sensor dengan objek. Bila jarak telah mencapai batas proximity, maka robot lengan

berhenti sesaat untuk mengaktifkan sensor warna dan membaca level warna RGB. Setelah warna telah terdefinisi, maka objek diangkat ke *weighting zone* untuk menimbang. Sensor *load cell* akan membaca berat. Bila warna diketahui berwarna “merah” dengan berat 200 gram, maka objek akan diletakkan pada zona peletakan (*drop zone*) merah 200 gram, bila berwarna “merah” namun memiliki berat yang berbeda yaitu 400 gram, maka objek akan diletakkan ke *drop zone* merah 400 gram. Hal yang sama akan terjadi pada warna objek yang lain (hijau dan biru), dimana masing-masing warna memiliki 2 zona peletakan untuk berat objek yang berbeda. Selengkapnya untuk operasional robot lengan secara auto dapat dilihat pada flowchart dalam Gambar 6.



Gbr. 6 Diagram Alir Sistem Mode Otomatis

Kemudian jika *user* memilih mode manual, maka kontrol pergerakan robot lengan sepenuhnya beralih ke *joystick* PS3. User dapat melakukan pergerakan lengan robot sesuai dengan kebutuhannya menggunakan kontroler *joystick*, dapat memilih dan menempatkan semua objek pada sembarang zona yang diinginkan. Prosedur mode kerja manual ditunjukkan pada *flowchart* dalam Gambar 7.



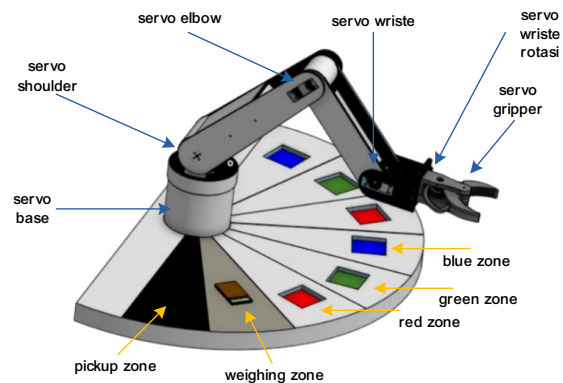
Gbr. 7 Diagram Alir Sistem Mode Manual

C. Perancangan Mekanik 3-D

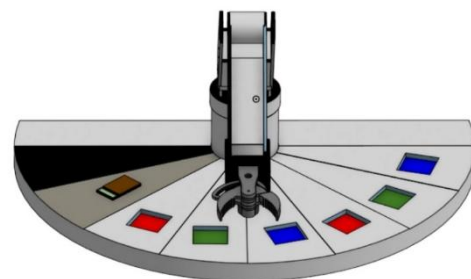
Robot Lengan yang dirancang disini memiliki 6 Derajat Kebebasan atau *Degree of Freedom* (DoF), dimana kesemua DoF digerakkan secara elektrik dengan motor servo, yaitu *Joint Base*, *Shoulder*, *Elbow* dan *Wristle*. *Wristle* Rotasi dan *Gripper*. Untuk dimensi robot lengan meliputi: tinggi *base* 112 mm, diameter *base* 86 mm, panjang lengan bawah 270 mm, lebar lengan bawah 65 mm, panjang lengan atas 220 mm, lebar lengan atas 56 mm, panjang lengan *gripper* 50 mm dan panjang *gripper* 50 mm. Untuk dimensi dari base platform tempat peletakan objek meliputi: diameter *base* 800 mm, panjang area berwarna objek 60 mm, lebarnya 60 mm, sudut masing-masing zona 22,5°, dan tebal papan *base* platform 35 mm.

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°. Batas pergerakan ini akan dijaga kestabilannya dengan menambahkan 2 sensor limit *switch* berfungsi untuk menjaga agar pergerakan *servo base* tidak melewati batas maksimumnya dan mencegah kerusakan servo. Gambar

8 menunjukkan desain 3-D mekanik dari arm robot tampak samping, sementara Gambar 9 merupakan desain 3-D mekanik arm robot tampak depan. Tempat objek terbagi dalam 8 zona, meliputi tempat atau zona pengambilan, zona timbangan, zona merah 200 gram, zona hijau 200 gram, zona biru 200 gram, zona merah 400 gram, zona hijau 400 gram, dan zona biru 400 gram.



Gbr. 8 Rancangan Mekanik 3-D Robot Lengan Tampak Samping



Gbr. 9 Rancangan Mekanik 3-D Robot Lengan Tampak Depan

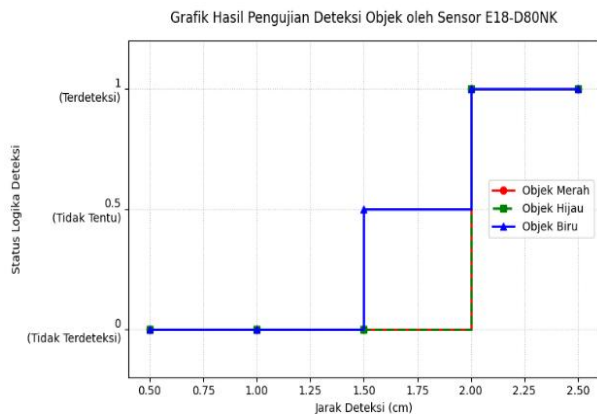
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian ini yaitu: Pengujian kondisi pembacaan objek terhadap jaraknya dengan sensor proximity, Pengujian pembacaan nilai RGB objek dengan sensor Pixycam, dan pengujian fungsional robot lengan secara keseluruhan.

A. Pengujian kondisi pembacaan sensor proximity

Sensor proximity yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis reflektif yaitu E18-D80NK *Adjustable Infrared Proximity Distance Sensor Switch* AI2. Sensor ini memancarkan sinyal infra red, bila mengenai objek maka akan dipantulkan kembali ke sensor melalui penerima infra red nya. Jarak deteksi sensor dengan range 2 – 80 cm dan sudut deteksi sekitar 15°. Dalam hal ini sensor diatur pada jarak maksimal sekitar 2,5 cm terhadap objek, agar cukup dekat dengan pembacaan objek, serta menyesuaikan jarak *gripper* arm robot dengan objek. Disini penting untuk diketahui berapa jarak efektif antara sensor dengan objek, sehingga sensor masih mampu mendeteksi suatu objek. Hasil pengujian kondisi pembacaan sensor proximity terhadap perubahan

jarak dengan objek ditunjukkan dalam bentuk representasi grafis sebagaimana dalam Gambar 10.



Gbr. 10 Hasil Pengujian Deteksi Objek dengan Sensor Proximity

Hasil pengujian dalam Gambar 9 telah memberikan gambaran yang jelas mengenai karakteristik pembacaan sensor *proximity* infra merah yang diaplikasikan pada *end effector* lengan robot 6-DoF. Data grafis tersebut menunjukkan bahwa pada jarak 0,5 cm hingga 1,0 cm, seluruh objek (merah, hijau, dan biru) tidak terdeteksi oleh sensor. Hal ini mengonfirmasi adanya *blind spot* (titik buta) mekanis pada sensor E18-D80NK. Pada jarak yang terlalu dekat, sudut pantulan sinar infra merah dari objek terlalu tajam sehingga luput atau tidak masuk secara optimal ke bagian *receiver* (*photo diode*) pada sensor. Sensor mulai mendeteksi objek secara konsisten dengan status "terdeteksi" untuk semua warna pada jarak 2,0 cm dan berlanjut stabil pada jarak 2,5 cm. Hasil ini secara empiris membuktikan bahwa spesifikasi minimum rentang deteksi sensor (2 cm) adalah akurat. Lengan robot akan mendapatkan sinyal digital (HIGH/LOW) yang relatif stabil saat posisi *gripper* berada minimal 2 cm di atas permukaan objek.

Terdapat anomali pembacaan ("Tidak tentu") pada objek berwarna biru saat berada pada jarak kritis 1,5 cm, sementara objek merah dan hijau konsisten "tidak terdeteksi" pada jarak yang sama. Secara fisika optik, warna mempengaruhi tingkat pantulan (*reflectance*) cahaya infra merah. Warna biru cenderung menyerap (mengabsorpsi) lebih banyak spektrum cahaya dibandingkan warna cerah atau warna dengan spektrum panjang seperti merah. Pada jarak 1,5 cm (batas ambang transisi *blind spot*), intensitas cahaya yang dipantulkan oleh objek biru menjadi sangat lemah atau berada tepat di batas ambang toleransi logika sensor (*threshold*). Akibatnya, sensor mengalami keraguan (sinyal berfluktuasi/*bouncing*), menghasilkan status "Tidak tentu".

B. Pengujian deteksi nilai RGB objek dengan sensor Pixycam

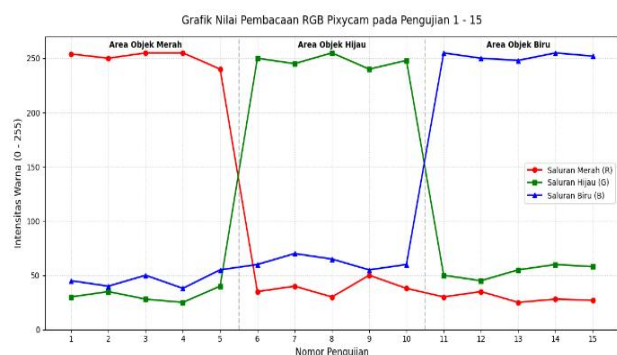
Pengujian pembacaan nilai RGB pada objek adalah untuk mengetahui kinerja sensor smart camera pixycam dalam mendeteksi objek berwarna RGB, meliputi nilai desimal RGB 8-bit objek yang terbaca, kecepatan waktu

deteksi objek RGB, dan kesesuaian warna yang dideteksi. 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 1.

TABEL I
Hasil Pengukuran Nilai RGB Objek dengan Sensor Pixycam

Uji ke-	Warna objek	RGB terbaca	Waktu deteksi (ms)	Status deteksi
1	Merah	(254, 30, 45)	45	Sesuai
2	Merah	(250, 35, 40)	47	Sesuai
3	Merah	(255, 28, 50)	46	Sesuai
4	Merah	(255, 25, 38)	44	Sesuai
5	Merah	(240, 40, 55)	43	Sesuai
6	Hijau	(35, 250, 60)	48	Sesuai
7	Hijau	(40, 245, 70)	49	Sesuai
8	Hijau	(30, 255, 65)	50	Sesuai
9	Hijau	(50, 240, 55)	52	Sesuai
10	Hijau	(38, 248, 60)	51	Sesuai
11	Biru	(30, 50, 255)	46	Sesuai
12	Biru	(35, 45, 250)	47	Sesuai
13	Biru	(25, 55, 248)	50	Tdk Sesuai
14	Biru	(28, 60, 255)	45	Sesuai
15	Biru	(27, 58, 252)	46	Sesuai

Tabel 1 menunjukkan 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 2 cm. Representasi hasil pengujian ini dalam bentuk data grafis ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gbr. 11 Hasil pembacaan nilai RGB objek dengan sensor Pixycam

Untuk pengujian objek (kubus) berwarna merah, komponen R (*red*) adalah paling dominan, dengan rata-rata nilai RGB untuk 5 kali pengujian yaitu (251, 32, 46), dengan waktu deteksi objek berkisar 43 sampai 47 ms dan waktu rata-rata deteksi 45 ms. Pada pengujian objek (kubus) berwarna hijau, komponen G (*green*) terlihat yang paling dominan dibanding "*red*" dan "*blue*". Rata-

rata nilai RGB untuk 5 kali pengujian objek hijau adalah (39, 248, 62) dan waktu rata-rata deteksi objek hijau sebesar 50 ms. Sedangkan untuk pengujian objek kubus biru, berdasarkan data yang diperoleh diketahui komponen B (*blue*) adalah yang paling dominan dengan nilai RGB nya dirata-rata (29, 54, 252). Waktu respon deteksi objek biru berkisar 45 sampai dengan 50 ms, dengan rata-rata waktu deteksi 47 ms.

Berdasarkan hasil pengamatan ini menunjukkan bahwa Objek merah dan hijau dapat terdeteksi oleh sensor dengan akurasi 100%, menunjukkan signature warna yang stabil dan mudah dikenali oleh Pixy Cam. Pengujian objek biru mengalami 1 kali kegagalan yang bisa diakibatkan oleh intensitas cahaya yang berubah saat pengamatan atau karena efek pantulan dari warna biru tersebut. Untuk kecepatan respon sensor mendeteksi warna yang spesifik, warna merah merespon paling cepat dengan waktu deteksi tertinggi sebesar 47 ms, dan nilai rata-rata deteksi warna merah juga paling cepat yaitu 45 ms. Warna hijau merespon sedikit lebih lama diantara semua warna RGB, dengan waktu rata-rata deteksi warna di 50 ms. Kondisi ini bisa dipengaruhi oleh faktor *signature* lebih dekat ke warna-warna sekitarnya, misal daun dan *background* hijau. Semua warna memiliki waktu respon atau deteksi di bawah 52 ms, kondisi ini memenuhi kriteria untuk aplikasi robotik secara *real-time*, karena sinkron dengan kecepatan sensor kamera dan sesuai dengan siklus kontrol dari Mikrokontroler Arduino.

C. Pengujian fungsional robot lengan secara keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja atau kemampuan robot lengan dalam menjalankan tugas memindahkan objek dari posisi awal (*pick zone*) ke zona timbangan, hingga ke tempat penampung (*drop zone*) yang sesuai dengan warna dan beratnya masing-masing.

Jarak Awal pada data hasil pengujian dalam Tabel 3 adalah jarak horizontal dari titik referensi pusat lengan robot ke posisi awal objek berwarna yang akan diambil hingga diletakkan pada zona peletakan. Terdapat korelasi positif yang sangat kuat antara Jarak Awal (cm) objek dan Waktu Siklus (detik). Pada jarak awal 15 cm (objek merah 200 gram), diketahui rata-rata waktu siklus proses 7,07 detik. Sedangkan pada jarak terjauh (objek biru 400 gram) diperoleh rata-rata siklus mencapai 12,25 detik. Waktu siklus proses robot lengan disini sudah termasuk durasi waktu menimbang berat objek di *load cell*. Semakin jauh posisi objek dari posisi pengambilan (*pickup zone*) hingga ke zona peletakan (*dropzone*), maka semakin lama waktu yang dibutuhkan robot, karena motor servo harus bergerak pada sudut yang lebih besar dan/atau waktu tempuh yang lebih panjang untuk meregangkan lengan. Hal ini membuktikan bahwa algoritma kinematika terbalik dan perencanaan gerakan servo telah diimplementasikan dengan benar pada Arduino, memastikan robot dapat menjangkau seluruh area kerja yang diuji.

TABEL II
Hasil Pengujian Fungsional Sistem Secara Keseluruhan

Data ke-	Warna Objek Sebenarnya	Jarak Awal (cm)	Berat Objek (gram)	Aksi Robot (Pindah ke)	Status Keberhasilan	Waktu Siklus (detik)
1	Merah	15	200	Zona Merah	Berhasil	7.0
2	Merah	15	200	Zona Merah	Berhasil	7.1
3	Merah	15	200	Zona Merah	Berhasil	7.1
4	Merah	30	400	Zona Merah	Berhasil	10.6
5	Merah	30	400	Zona Biru	Gagal	N/A
6	Hijau	20	200	Zona Hijau	Berhasil	8.2
7	Hijau	20	200	Zona Hijau	Berhasil	8.2
8	Hijau	20	200	Zona Hijau	Berhasil	8.3
9	Hijau	35	400	Zona Merah	Gagal	N/A
10	Hijau	35	400	Zona Hijau	Berhasil	11.4
11	Biru	25	200	Zona Biru	Berhasil	9.0
12	Biru	25	200	Zona Biru	Berhasil	9.0
13	Biru	25	200	Zona Biru	Berhasil	9.1
14	Biru	40	400	Zona Biru	Berhasil	12.2
15	Biru	40	400	Zona Biru	Berhasil	12.3

Untuk pengujian fungsional lengan robot secara keseluruhan dalam memindahkan objek dari posisi awal ke posisi akhir, disini dilakukan total 15 kali pengujian, Dimana masing-masing warna RGB diuji 5 kali, dengan tiap objek 200 gram dan 400 gram masing-masing warna diuji 3 kali dan 2 kali. Dari total 15 sampel pengujian tersebut, robot lengan berhasil menjalankan tugasnya sebanyak 13 kali. Dengan Tingkat Keberhasilan (*Accuracy Rate*) berdasarkan deteksi warna mencapai 86,67%, angka ini menunjukkan bahwa sistem secara umum andal dalam kondisi pengujian yang spesifik, namun masih dimungkinkan untuk dilakukan perbaikan sehingga dapat mencapai akurasi 100%.

Kegagalan pada pengujian ke-5 dimungkinkan terjadi karena pembacaan nilai *Red* (R) sensor turun drastis yang bisa diakibatkan oleh efek bayangan atau sensor yang tidak tegak lurus, sementara nilai *Blue* (B) secara kebetulan sedikit lebih tinggi dari nilai *Red*, sehingga memenuhi kriteria *threshold* untuk Biru. Ini menunjukkan bahwa *threshold* warna Biru mungkin terlalu sensitif atau ambang batas Merah terlalu longgar pada ujung bawahnya. Sementara pada pengujian ke-9 adalah dimana nilai *Green* (G) dari objek Hijau dapat berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, dan pada

saat yang sama, nilai *Red* (R)-nya relatif tinggi. Hal ini sering terjadi pada objek Hijau Gelap (*Dark Green*) yang memiliki refleksi merah yang signifikan, atau jika objek tersebut diletakkan di bawah sumber cahaya yang sedikit kemerahan, dari kondisi ini logika *threshold*.

Kegagalan pada kedua pengujian ini semata-mata karena kesalahan pembacaan warna karena faktor pencahayaan. Sementara berdasarkan deteksi berat objek, lengan robot telah bekerja melakukan *pick and place* objek sesuai dengan berat objek masing-masing (tingkat keberhasilan 100%).

V. 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 2 cm, yang menunjukkan akurasi tinggi pada jarak tersebut, serta dapat membantu arm robot untuk jarak konstan pada jarak 2 cm agar pembacaan nilai warna RGB lebih stabil sebelum mengambil objek; Sensor Pixycam berhasil membedakan secara jelas antara nilai frekuensi Merah, Hijau, dan Biru. Pola data menunjukkan bahwa logika *thresholding* yang diterapkan Arduino cukup efektif untuk mendiskriminasi ketiga warna dasar tersebut. Hasil pengujian fungsional robot lengan secara keseluruhan menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan (*accuracy rate*) berdasarkan kesesuaian warna objek mencapai 86,67%. Sementara berdasarkan kesesuaian berat objek, lengan robot mampu melakukan *pick and place* objek secara tepat dengan kinerja 100%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem robot lengan yang telah dibangun secara umum andal dalam kondisi pengujian yang spesifik.

REFERENSI

- [1] Sutisna, N. A., & Satria, M. I. (2022). Development of Robotic Arm Controller using Arduino Microcontroller and Mobile Device Application. *Rotasi*, 24(2), 76-86. <https://doi.org/10.14710/rotasi.24.2.76-86>.
- [2] Awang, N. B. (2020). Development of Arduino Controlled Robotic Arm. *Education and Social Sciences Review*, 1(2), 37-41. <https://doi.org/10.29210/07essr55700>.
- [3] Chenchireddy, K., Dora, R., Mulla, G. B., Jegathesan, V., & Sydu, S. A. (2024). Development of Robotic Arm Control using Arduino Controller. *IAES International Journal of Robotics and Automation (IJRA)*, 13(3), 264. <http://doi.org/10.11591/ijra.v13i3.pp264-271>.
- [4] Zulfadli, T., Yusman, Y., Bakhtiar, B., Salahuddin, S., Fadli, F., & Saputra, R. (2026). Pengembangan Media Pembelajaran Robotika Menggunakan Robot Manipulator Arduino untuk Deteksi Warna dan Pemindahan Objek. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, 12(1), 109-118. <https://doi.org/10.35308/jmkn.v12i1.15054>.
- [5] Nu'man, H. S., Sofyan, Y., & Al Tahtawi, A. R. (2020, November). Pengendalian Robot Lengan Pemilah Benda Berdasarkan Bentuk Menggunakan Teknologi Computer Vision. In *SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)* (Vol. 2, pp. 42-48).
- [6] Nugroho, E. A., Setiawan, J. D., & Munadi, M. (2023). Handling Four DOF Robot to Move Objects Based on Color and Weight using Fuzzy Logic Control. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 4(6), 769-779. <https://doi.org/10.18196/jrc.v4i6.20087>.
- [7] Oyekan, J., Farnsworth, M., Hutabarat, W., Miller, D., & Tiwari, A. (2020). Applying a 6 DoF Robotic Arm and Digital Twin to Automate Fan-Blade Reconditioning for Aerospace Maintenance, Repair, and Overhaul. *Sensors*, 20(16), 4637. <https://doi.org/10.3390/s20164637>.
- [8] Andrian, A., Rahmadewi, R., & Bangsa, I. A. (2020). Arm Robot Pemindah Barang (AtwoR) menggunakan Motor Servo Mg995 sebagai Penggerak Arm Berbasis Arduino. *Jurnal Electro Luceat*, 6(2), 142-155. <https://doi.org/10.32531/jelekn.v6i2.226>.
- [9] Maha, H. S., Thantowi, Y. D., & Tamba, C. A. S. (2021). Perancangan Robot Lengan Pemindah Barang Berdasarkan Ukuran Berbasis Arduino dengan Sensor Ping Hc-Sr04 dan Sensor Inframerah. *Jurnal Teknik Informatika UNIKA Santo Thomas*, 6(1), 70-78. <https://doi.org/10.54367/jtiust.v6i1.1289>.
- [10] Mujiarto, A. D., Komaro, M., Mohamed, M. A., Rahayu, D. S., Sanjaya, W. S. M., Mamat, M., & Sambas, A. (2019). Colored Object Detection using 5 Dof Robot Arm Based Adaptive Neuro-Fuzzy Method. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(1), 293-299. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v13i1.pp293-299>.
- [11] Yusman, Y., Dewi, A. F., Sulaiman, A., & Hafid, Y. (2025). Rancang Bangun Sistem Pengontrolan Arm Robot Pemindah Barang secara Elektro Pneumatik berbasis Arduino. *Jurnal Litek : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 22(1), 24-31. <https://doi.org/10.30811/litek.v22i1.60>.
- [12] Satrio, M. A., Mirna, M., Rifaldi, M., Nur, M., & Ishak, I. (2021). Rancang Bangun Robot Arm 4 DOF Berbasis Mikrokontroler ATmega328. *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur*, 3(2), 59-63. <https://doi.org/10.61141/maple.v3i2.289>.
- [13] Nurkholik, Z., Fiolana, F. A., & Kusumastutie, D. A. W. (2022). Rancangan Bangun Lengan Robot Arm untuk Menggambar Menggunakan Invers

- Kinematik: Rancangan Robot Lengan, Invers Kinematik, 3-DOF. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 1(3), 59-68. <https://doi.org/10.51903/juisi.v1i3.413>.
- [14] Rahmawan, A., Munadi, M., & Prahasto, T. (2013). Optimasi Gripper Dua Lengan dengan Menggunakan Metode Genetic Algorithm pada Simulator Arm Robot 5 DOF (Degree of Freedom). *JURNAL TEKNIK MESIN*, 1(2), 9-16. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/5559>.
- [15] Prastyo, E., A. (2023). Review Arduino Mega 2560: Fitur dan Kinerja. *Arduino Indonesia*. <https://www.arduinoindonesia.id/2024/06/review-arduino-mega-2560-fitur-dan-kinerja.html>.
- [16] Perkasa, S. D., Megantoro, P., & Winarno, H. A. (2021). Implementation of a Camera Sensor Pixy 2 CMUcam5 to A Two Wheeled Robot to Follow Colored Object. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2(6), 469–501. <https://doi.org/10.18196/jrc.26128>.
- [17] Hartanto, S., & Saputra, A. (2024). Rancang Bangun Timbangan Digital Load Cell Berkapasitas 20 kg Berbasis Modul HX711. *Jurnal Elektro (JETRO)*, 12(2), 104-108. <https://doi.org/10.61488/jetro.v12i2.561>.