

# Glambot SNAFH-R1: Lengan Kamera 4-DOF Biaya Rendah untuk Photobooth Indoor Berbasis Pengolahan Citra

Sanni Oktavia <sup>1\*</sup>, Hendry <sup>2</sup>, Muhammad Naufal <sup>3</sup>, Ryan Satyawira <sup>4</sup>, Nong Anuari <sup>5</sup>, Febby Cecilia <sup>6</sup>,

Agus Suwandi <sup>7</sup>, Raymond Erz Saragih <sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup> Teknik Informatika, Universitas Universal

<sup>1</sup>\*Corresponding author E-mail: sansanzhong1@uvers.ac.id

## Article Info

### Article history:

Received 07-12-2025

Revised 17-12-2025

Accepted 27-12-2025

### Keyword:

Glambot, Kamera Robotik, Lengan Kamera 4-DOF, Pelacakan Subjek, Pengolahan Citra.

## ABSTRACT

*This paper presents the design and implementation of SNAFH-R1, a low-cost four-degree-of-freedom (4-DOF) glambot camera arm intended for indoor photobooth applications. The system integrates a Python-based image processing module on a laptop with an Arduino Uno R3 controller that drives three high-torque RDS3225MG servos and one MG995 servo via a PCA9685 PWM driver. A USB camera (Logitech C270) is used to capture video frames that are processed in real time using grayscale conversion, illumination enhancement, noise reduction, and human detection based on a cascade classifier. The centroid of the detected region of interest is then converted into position offsets and mapped to target joint angles, which are applied to the servos using clamped and interpolated commands to produce smooth camera motion. A BH1750 light sensor and relay-controlled LED lamp are employed to automatically stabilize local illumination around the subject. Experimental observations in an indoor photobooth scenario show that SNAFH-R1 can maintain the subject's head and upper body within the camera frame at short to medium distances, while producing reasonably smooth camera trajectories and operating stably during short test sessions. These results indicate that the proposed system is a feasible low-cost alternative for automated glambot-style camera movements in small to medium-scale events and as a teaching platform for robotics and computer vision.*



Copyright © 2025. This is an open access article under the [CC BY](#) license.

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kamera digital dan media sosial mendorong peningkatan kebutuhan akan konten visual yang tidak hanya berkualitas tinggi secara gambar, tetapi juga dinamis dari sisi pergerakan kamera. Kemajuan pada bidang computational photography memungkinkan perangkat bergerak seperti ponsel cerdas menghasilkan citra dengan rentang dinamis luas, stabilisasi yang baik, dan efek visual yang sebelumnya hanya dapat dicapai di lingkungan studio [1]. Pada saat yang sama, platform berbagi video pendek seperti TikTok dan Instagram mendorong kemunculan gaya narasi visual baru yang menekankan ritme gerak, sinkronisasi dengan musik, dan efek dramatis dalam durasi singkat [2], [3]. Kondisi ini membuka peluang pemanfaatan sistem kamera

otomatis berbasis robotik untuk menghasilkan pergerakan kamera yang konsisten, dapat direplikasi, dan memiliki presisi tinggi dalam mendukung produksi konten tersebut [1], [2], [3].

Salah satu implementasi populer dari tren tersebut adalah glambot, yakni sistem kamera otomatis yang bergerak mengikuti lintasan tertentu untuk menghasilkan video dramatis dalam bentuk short clip yang siap dibagikan di media sosial. Glambot mulai dikenal luas melalui penggunaannya pada karpet merah berbagai ajang penghargaan internasional, di mana kamera berkecepatan tinggi bergerak cepat mengitari subjek sebelum diproses menjadi cuplikan gerak lambat yang ikonik [4]. Berbagai penyedia jasa dan produsen peralatan sinematografi kemudian menawarkan sistem glambot berbasis lengan robot

industri atau motion control rig khusus dengan spesifikasi tinggi untuk keperluan komersial [5]. Sistem-sistem tersebut menunjukkan potensi integrasi robotik dan sinematografi dalam produksi konten visual, tetapi umumnya berbiaya tinggi, membutuhkan kru terlatih, serta bergantung pada infrastruktur studio yang kompleks sehingga kurang cocok untuk penyelenggara acara berskala kecil maupun institusi pendidikan yang memiliki keterbatasan sumber daya [4], [5].

Di sisi lain, kemajuan pada bidang robotika, mikrokontroler, dan pengolahan citra membuka peluang perancangan sistem glambot yang lebih terjangkau. Mikrokontroler seperti Arduino memungkinkan pengendalian beberapa aktuator servo secara simultan pada konfigurasi lengan robot bertingkat, sebagaimana banyak diterapkan pada lengan robot empat derajat kebebasan (4-DOF) berbiaya rendah [12], [13]. Pustaka pengolahan citra pada komputer pribadi dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi keberadaan dan posisi subjek secara real-time, baik melalui pendekatan deteksi objek klasik berbasis fitur sederhana dan boosted cascade [11], maupun melalui teknik segmentasi citra yang mengisolasi objek dari latar belakang [9]. Integrasi sensor visual dengan sensor lingkungan, seperti giroskop untuk mengukur orientasi dan dinamika gerak, berpotensi meningkatkan stabilitas pergerakan dan kemampuan adaptasi sistem terhadap perubahan kondisi ruang [10]. Dengan demikian, kombinasi aktuator multi-sumbu, pengolahan citra, dan sensor inersia memberikan landasan teknis yang kuat untuk merancang sistem glambot low-cost yang tetap mampu menghasilkan pergerakan kamera yang halus dan konsisten [9], [10], [11], [12], [13].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji sistem kamera robotik dan motion control rig untuk keperluan sinematografi maupun pelacakan objek. Sejumlah karya berfokus pada perancangan lintasan gerak kamera berbasis wahana udara tak berawak atau platform robotik lain yang mempelajari prinsip-prinsip artistik sinematografi, seperti komposisi, jarak, dan sudut pandang gambar [6]. Studi lain mengeksplorasi penggunaan robot kolaboratif untuk mendukung proses produksi film, termasuk koordinasi antara pergerakan kamera dan kru manusia di lingkungan kerja profesional [7]. Di sisi lain, pengembangan sistem kamera robotik yang menggabungkan kecerdasan buatan dan antarmuka perintah suara juga mulai diusulkan untuk mendukung otomasi pengambilan gambar pada skenario produksi film masa depan [8]. Meskipun demikian, solusi-solusi tersebut umumnya masih berfokus pada lingkungan studio atau produksi berskala besar dengan perangkat keras khusus yang relatif mahal, sehingga belum sepenuhnya menjawab kebutuhan sistem glambot yang portabel dan terjangkau untuk skenario photobooth indoor dan acara berskala kecil [5], [6], [7], [8], [12], [13].

Berdasarkan telaah tersebut, masih terdapat celah penelitian pada perancangan glambot low-cost yang mengintegrasikan pengolahan citra untuk deteksi manusia, sensor lingkungan (cahaya dan orientasi), serta sistem aktuator multi-sumbu berbasis mikrokontroler yang dapat

direplikasi di lingkungan pendidikan atau acara berskala kecil. Selain itu, belum banyak laporan yang menyajikan analisis terstruktur mengenai kinerja sistem semacam ini dari sisi jangkauan deteksi, stabilitas pergerakan, dan kualitas hasil rekaman pada berbagai jarak dan kondisi pencahayaan di ruang indoor [6], [7], [9], [10], [11]. Di tengah meningkatnya pemanfaatan platform seperti Instagram sebagai media pemasaran dan penguatan citra merek [3], ketersediaan solusi glambot yang lebih terjangkau dan mudah dioperasikan menjadi relevan untuk mendukung ekosistem produksi konten digital pada skala kecil hingga menengah.

Penelitian ini merespons kebutuhan tersebut dengan merancang dan mengimplementasikan sistem glambot SNAFH-R1 berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3 dan pengolahan citra untuk mendeteksi dan mengikuti subjek manusia secara otomatis pada skenario pemotretan indoor. Sistem yang diusulkan mengombinasikan aktuator servo bertorsi tinggi sebagai penggerak multi-sumbu dengan sensor visual dan sensor lingkungan untuk menyediakan informasi yang dibutuhkan dalam pengendalian gerak dan penyesuaian pencahayaan.

Kontribusi utama penelitian ini dapat dirangkum sebagai berikut:

- Merancang prototipe glambot SNAFH-R1 empat derajat kebebasan (4-DOF) berbasis Arduino Uno R3 untuk menghasilkan gerakan kamera multi-sumbu pada aplikasi photobooth indoor.
- Mengintegrasikan sensor visual, sensor gyro, dan sensor cahaya dalam satu arsitektur sistem sebagai dasar pengambilan keputusan gerak dan penyesuaian pencahayaan secara otomatis.
- Mengimplementasikan pipeline pengolahan citra untuk mendeteksi keberadaan dan posisi subjek manusia secara real-time sehingga kamera dapat diarahkan mengikuti subjek secara otomatis.
- Mengevaluasi kinerja sistem dari aspek jangkauan deteksi, stabilitas pergerakan kamera, dan kualitas hasil rekaman pada beberapa jarak dan kondisi pencahayaan di lingkungan indoor yang merepresentasikan skenario penggunaan nyata.

Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan alternatif rancangan glambot yang lebih terjangkau dan mudah direplikasi, sehingga mendukung ekosistem produksi konten digital pada skala kecil hingga menengah serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya manusia maupun perangkat [1], [2], [3]. Struktur paper ini disusun sebagai berikut: Bagian II menjelaskan metode dan perancangan sistem, Bagian III menyajikan hasil pengujian dan pembahasan, dan Bagian IV memuat kesimpulan serta arah penelitian lanjut.

## II. METODE

Bagian ini menjelaskan metode yang digunakan dalam perancangan dan implementasi sistem glambot SNAFH-R1. Metode dibagi menjadi empat bagian utama, yaitu analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur dan perangkat,

metode pengolahan citra serta kendali lengan robot, dan prosedur pengujian.

#### A. Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan dilakukan untuk memastikan rancangan sistem sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu menghasilkan prototipe glambot low-cost yang mampu mendekripsi dan mengikuti subjek manusia pada skenario photobooth indoor. Kebutuhan dibagi menjadi kebutuhan fungsional, nonfungsional, serta kebutuhan perangkat keras dan lunak.

- 1) *Secara fungsional, sistem SNAFH-R1 diharapkan mampu:*
  - a) Mendekripsi keberadaan wajah dan/atau tubuh manusia pada citra kamera secara real-time di lingkungan indoor.
  - b) Menentukan posisi subjek relatif terhadap bidang pandang kamera dan menghitung simpangan terhadap titik pusat komposisi.
  - c) Menggerakkan kamera melalui lengan robot empat derajat kebebasan (4-DOF) agar sudut pandang tetap berfokus pada subjek.
  - d) Menyesuaikan gerakan secara dinamis ketika subjek berpindah posisi di dalam area jangkauan tertentu.
  - e) Mengaktifkan lampu bantu secara otomatis ketika intensitas cahaya ruangan berada di bawah ambang batas.
  - f) Menyediakan komunikasi data dua arah yang andal antara komputer pemroses citra dan mikrokontroler pengendali aktuator.
- 2) *Kebutuhan nonfungsional utama meliputi:*
  - a) Biaya rendah: penggunaan komponen off-the-shelf yang mudah diperoleh dan terjangkau, sehingga prototipe dapat direplikasi di lingkungan pendidikan atau penyelenggara acara berskala kecil.
  - b) Portabilitas: dimensi dan bobot sistem dijaga agar mudah dipindahkan dan dipasang ulang pada lokasi yang berbeda.
  - c) Keandalan: sistem harus stabil beroperasi dalam durasi acara yang panjang tanpa kegagalan komponen kritis.
  - d) Keamanan: gerakan lengan robot dibatasi pada rentang sudut aman, dan konsumsi daya tidak melebihi kapasitas catu daya.
  - e) Kemudahan operasional: antarmuka dan alur kerja dirancang sederhana sehingga pengguna non-teknis dapat mengoperasikan sistem dengan pelatihan minimal.
- 3) *Berdasarkan kebutuhan tersebut, ditetapkan konfigurasi perangkat keras sebagai berikut:*

- a) Unit pemroses citra: sebuah laptop dengan sistem operasi Windows 11, prosesor multi-inti, dan kamera USB sebagai sumber citra. Laptop menjalankan modul pengolahan citra dan antarmuka pengguna.
  - b) Mikrokontroler: Arduino Uno R3 sebagai pengendali utama aktuator dan pembaca sensor. Arduino menerima perintah sudut dari komputer melalui komunikasi serial dan meneruskannya ke driver servo.
  - c) Aktuator servo: Tiga buah servo torsi tinggi RDS3225MG ( $\pm 25 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ , sudut kerja hingga  $270^\circ$ ) sebagai aktuator utama lengan kamera; Satu buah servo MG995 ( $\pm 10-11 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ , sudut kerja  $180^\circ$ ) sebagai aktuator tambahan untuk derajat kebebasan yang mengatur kemiringan kamera.
  - d) Driver servo – modul PWM 16-kanal PCA9685 untuk menghasilkan sinyal PWM presisi ke seluruh servo dengan beban pemrosesan minimum pada Arduino.
  - e) Sensor lingkungan: Sensor cahaya BH1750 berbasis I<sup>2</sup>C untuk mengukur intensitas cahaya ruangan dan memicu lampu bantu bila diperlukan; Sensor IMU 9-sumbu MPU GY-9250 untuk memperoleh informasi orientasi dan dinamika gerak lengan kamera, data ini digunakan untuk pemantauan stabilitas dan menjadi dasar pengembangan skema kompensasi getaran [10].
  - f) Pencahayaan tambahan: satu set lampu LED putih 5 W yang dikendalikan melalui modul relay 1 kanal, sehingga dapat diaktifkan atau dimatikan secara otomatis oleh mikrokontroler.
  - g) Catu daya: catu daya utama 12 V 15 A (180 W) untuk menyuplai servo dan beban lain, dilengkapi modul step-down DC-DC guna menyediakan tegangan 5 V bagi Arduino, driver servo, dan sensor. Berdasarkan arus nominal komponen, kebutuhan daya maksimum sistem berada pada kisaran  $\pm 75$  W sehingga masih terdapat margin keamanan yang memadai.
  - h) Struktur mekanik: rangka dan dudukan lengan yang dirancang untuk menopang kamera, lampu, dan rangkaian servo secara kokoh, sekaligus menyediakan ruang gerak yang cukup tanpa tumbukan antar komponen.
- Spesifikasi utama perangkat keras yang digunakan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi utama perangkat keras prototipe glambot SNAFH-R1

Komponen	Model/tipe	Spesifikasi utama	Peran dalam sistem
Unit pemroses citra	Laptop (Windows 11) + kamera USB	Prosesor multi-inti, kamera USB 640×480 fps real-time	Menjalankan modul pengolahan citra dan antarmuka pengguna
Mikrokontroler	Arduino Uno R3	ATmega328P, 16 MHz, 14 pin digital I/O	Kendali utama servo, pembacaan sensor, dan kendali relay
Driver servo	PCA9685 16-channel PWM	16 kanal PWM, antarmuka I <sup>2</sup> C	Menghasilkan sinyal PWM presisi untuk seluruh servo
Servo torsi tinggi (pan/ elevasi)	3× RDS3225MG G	Torsi ±25 kg·cm, sudut kerja hingga 270°, tegangan 6–7,4 V	Menggerakkan tiga derajat kebebasan utama lengan kamera
Servo tilt kamera	1× MG995	Torsi ±10–11 kg·cm, sudut kerja 180°, tegangan 4,8–7,2 V	Mengatur kemiringan (tilt) kamera pada ujung lengan
Sensor cahaya	BH1750	Pengukuran intensitas 1–65535 lux, antarmuka I <sup>2</sup> C	Mengukur intensitas cahaya ruangan untuk pemicu lampu LED
IMU orientasi	GY-9250	Gyro 3-sumbu, akselerometer 3-sumbu, kompas 3-sumbu, I <sup>2</sup> C	Memantau orientasi dan dinamika gerak lengan kamera
Modul relay	Relay 1 kanal	Tegangan kendali 5 V, kontak beban AC/DC	Mengaktifkan dan memutus daya lampu LED
Lampu bantu	Lampu LED putih 5 W	Daya 5 W, spektrum putih, pemasangan dekat kamera	Menstabilkan pencahayaan area photobooth
Catu daya utama	PSU 12 V 15 A (180 W)	Keluaran 12 V hingga 15 A, dilengkapi step-down ke 5 V	Menyuplai servo, driver PWM, mikrokontroler, dan sensor
Struktur mekanik lengan	Lengan kamera 4-DOF	Rangka dan engsel untuk 4 derajat kebebasan + dudukan kamera	Menopang kamera, lampu, dan servo; menyediakan ruang gerak

4) *Perangkat lunak yang digunakan meliputi:*

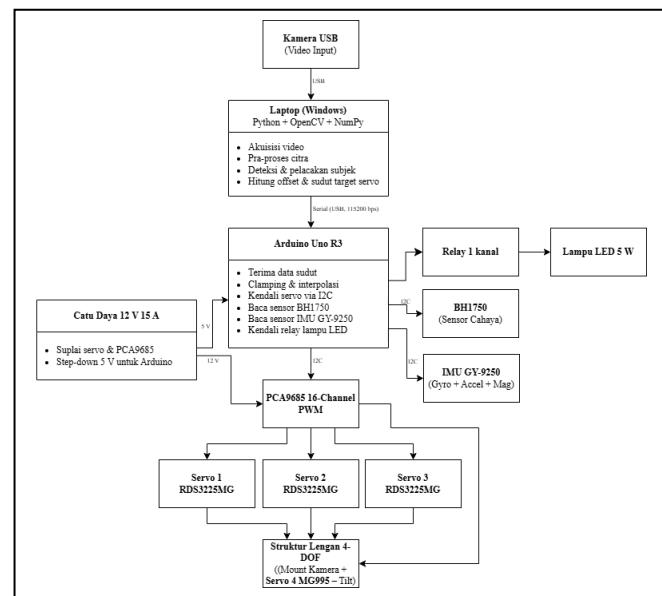
- Arduino IDE untuk pemrograman Arduino Uno R3 dalam bahasa C/C++.
- Python 3.x sebagai bahasa utama pemrosesan citra pada laptop.
- Python: OpenCV untuk akuisisi citra, praproses, dan deteksi objek/wajah [11]; NumPy untuk operasi numerik dan manipulasi array citra; PySerial untuk komunikasi serial antara Python dan Arduino;

Pustaka visualisasi seperti Matplotlib untuk debugging dan analisis hasil.

Kombinasi kebutuhan di atas menjadi dasar perancangan arsitektur sistem serta algoritma pengolahan citra dan kendali robot pada subbagian berikutnya.

### B. Perancangan Arsitektur Sistem

Perancangan arsitektur SNAFH-R1 dibagi menjadi tiga lapisan utama, yaitu lapisan akuisisi dan pemrosesan citra, lapisan kendali gerak, dan lapisan aktuasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok arsitektur sistem glambot SNAFH-R1 yang menunjukkan aliran data dan daya antara modul pengolahan citra, mikrokontroler, sensor, serta aktuator lengan kamera.

#### 1) Lapisan akuisisi dan pemrosesan citra

Lapisan ini dijalankan pada laptop dan bertanggung jawab untuk:

- Mengambil aliran video dari kamera USB,
- Melakukan praproses citra,
- Mendeteksi dan melacak posisi subjek,
- Mengubah posisi subjek menjadi perintah gerak yang akan dikirim ke mikrokontroler.

Keluaran lapisan ini berupa koordinat target atau offset posisi relatif terhadap pusat bidang pandang kamera.

#### 2) Lapisan kendali gerak

Lapisan kendali gerak dijalankan pada Arduino Uno R3 dan mencakup:

- Penerimaan paket data sudut atau offset dari laptop melalui antarmuka serial,
- Konversi perintah menjadi sudut target untuk masing-masing servo,

- c. Interpolasi sudut target menjadi langkah-langkah kecil agar gerakan terlihat halus dan mengurangi hentakan mekanis,
  - d. Pengiriman sinyal PWM ke servo melalui driver PCA9685,
  - e. Pembacaan sensor BH1750 dan IMU untuk mendukung fungsi bantu (misalnya pemicu lampu dan pemantauan orientasi lengan) [10], [12], [13].
- 3) *Lapisan aktuasi dan lingkungan*

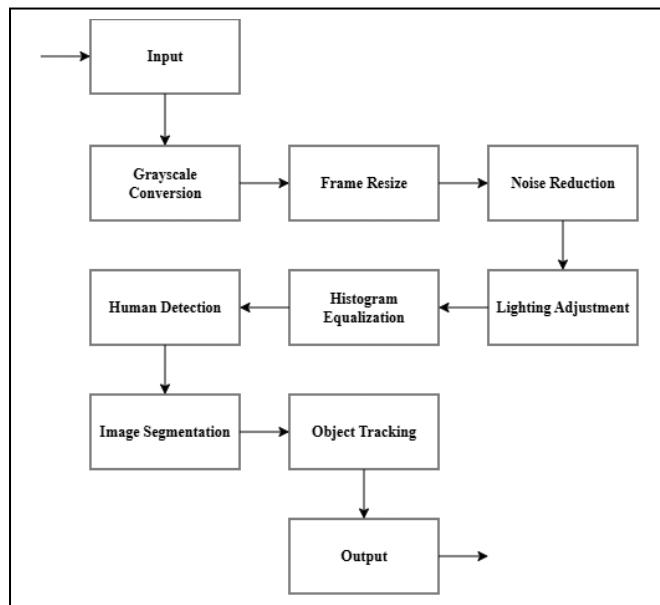
Lapisan ini mencakup perangkat fisik yang berinteraksi langsung dengan lingkungan, yaitu:

- a. Lengan kamera 4-DOF yang digerakkan oleh tiga servo RDS3225MG dan satu servo MG995,
- b. Kamera sebagai sensor visual utama,
- c. Lampu LED sebagai sumber cahaya tambahan,
- d. Subjek manusia yang bergerak di dalam area photobooth indoor.

Aliran data secara keseluruhan dimulai dari kamera ke laptop (pengolahan citra), dilanjutkan ke Arduino (kendali gerak), dan akhirnya diwujudkan sebagai pergerakan mekanis lengan kamera dan pengaturan pencahayaan.

### C. Metode Pengolahan Citra

Metode pengolahan citra digunakan untuk mendekripsi dan melacak posisi subjek manusia dalam frame. Tahapan utama yang diterapkan adalah sebagai berikut. Secara ringkas, alur pengolahan citra pada modul vision SNAFH-R1 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alur pengolahan citra pada modul vision prototipe glambot SNAFH-R1.

#### 1) *Akuisisi dan praproses citra*

Kamera USB menangkap aliran video pada resolusi kerja  $640 \times 480$  piksel. Setiap frame dibaca oleh OpenCV sebagai array citra. Untuk meningkatkan efisiensi komputasi dan kestabilan deteksi, dilakukan beberapa langkah praproses:

- a. Konversi dari ruang warna BGR ke grayscale,
- b. Resizing ke resolusi kerja yang lebih rendah bila diperlukan agar laju pemrosesan tetap real-time,
- c. Penyesuaian pencahayaan dan kontras melalui normalisasi intensitas dan/atau histogram equalization, terutama pada kondisi pencahayaan rendah,
- d. Reduksi derau (noise reduction) dengan filter perata atau Gaussian blur ringan untuk mengurangi derau acak yang dapat mengganggu proses deteksi [9].

#### 2) *Deteksi subjek*

Deteksi wajah atau tubuh dilakukan menggunakan pendekatan deteksi objek klasik berbasis boosted cascade seperti yang diperkenalkan oleh Viola dan Jones [11] dan diimplementasikan dalam pustaka OpenCV. Model cascade yang digunakan dilatih sebelumnya untuk mendekripsi pola wajah atau tubuh manusia. Keluaran tahap ini berupa satu atau lebih kotak pembatas (bounding box) yang menunjukkan lokasi kandidat subjek pada citra.

#### 3) *Segmentasi dan pelacakan target*

Apabila lebih dari satu kandidat terdeteksi, sistem memilih kotak pembatas yang paling relevan berdasarkan kombinasi luas kotak dan kedekatannya terhadap pusat frame. Di sekitar kotak pembatas terpilih dibentuk region of interest (ROI) yang merepresentasikan area subjek. Pada ROI ini dapat diterapkan segmentasi sederhana berbasis intensitas untuk mempertegas pemisahan subjek dan latar belakang.

Posisi subjek antarframe dilacak dengan menggabungkan hasil deteksi dan informasi ROI pada frame sebelumnya. Koordinat pusat ROI disaring secara temporal dengan menerapkan rata-rata bergerak (moving average) pada beberapa frame berturut-turut guna mereduksi fluktuasi mendadak akibat derau deteksi. Tahap ini berperan sebagai modul pelacakan (object tracking) yang menghasilkan posisi subjek yang lebih stabil [9], [11].

#### 4) *Ekstraksi fitur posisi*

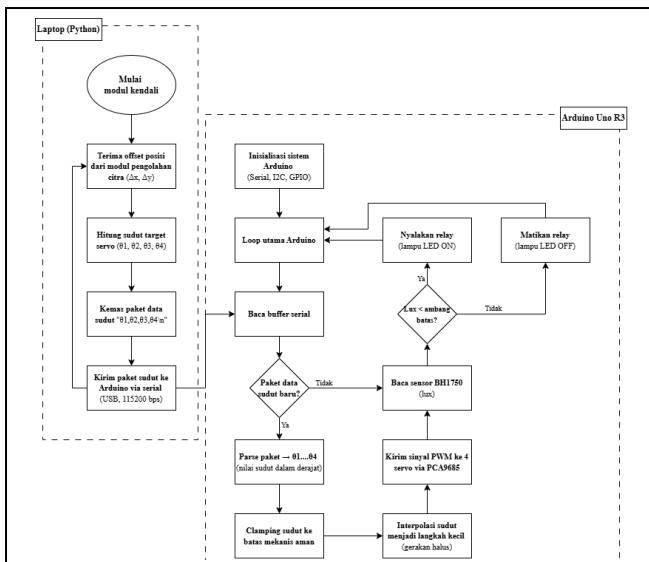
Titik tengah (centroid) ROI atau kotak pembatas digunakan sebagai representasi posisi subjek. Koordinat titik tengah tersebut kemudian dikonversi menjadi offset relatif terhadap pusat pandang

kamera. Offset inilah yang digunakan sebagai galat (error) pada sistem kendali, yang selanjutnya dipetakan ke perubahan sudut target pada servo lengan kamera [9], [11]. Keluaran tahap ini adalah pasangan offset atau sudut target yang dikirim ke modul kendali lengan robot pada subbab berikutnya.

#### D. Metode Kendali Lengan Robot

Metode kendali lengan robot bertujuan menerjemahkan informasi posisi subjek menjadi gerakan kamera yang halus dan stabil. Alur kendali secara garis besar ditunjukkan pada Gambar 3 dan dapat diringkas sebagai berikut:

- Laptop menghitung offset horizontal dan vertikal antara posisi centroid subjek dan pusat frame.
- Offset tersebut diubah menjadi sudut target untuk servo yang mengatur gerakan pan, tilt, dan derajat kebebasan lainnya.
- Sudut target dikemas dalam paket data dan dikirim ke Arduino Uno R3 melalui komunikasi serial.
- Arduino melakukan pembatasan sudut (clamping) untuk memastikan gerakan tetap berada dalam batas mekanis aman lengan.
- Perubahan sudut tidak diterapkan secara instan, tetapi diinterpolasi menjadi beberapa langkah kecil dengan kecepatan terbatas, sehingga gerakan kamera tampak halus dan tidak menimbulkan hentakan tajam pada servo.
- Arduino mengirimkan sinyal PWM ke masing-masing servo melalui driver PCA9685.
- Data dari IMU dapat dimanfaatkan untuk memantau orientasi lengan sehingga pada pengembangan selanjutnya dimungkinkan penerapan skema kompensasi getaran atau umpan balik berbasis sudut nyata [10], [12], [13].



Gambar 3. Diagram alir proses kendali lengan kamera dan pengaturan lampu bantu pada prototipe glambot SNAFH-R1.

Lampu LED dikendalikan secara on-off melalui modul relay. Ketika nilai lux yang dibaca BH1750 lebih rendah dari ambang batas yang ditentukan, Arduino mengaktifkan relay sehingga lampu menyala dan membantu menstabilkan kondisi pencahayaan di area pengambilan gambar.

#### E. Prosedur Pengujian

Untuk mengevaluasi kinerja prototipe SNAFH-R1, dilakukan serangkaian pengujian pada lingkungan indoor yang merepresentasikan skenario photobooth. Prosedur pengujian dirancang sebagai berikut:

##### 1) Pengujian jangkauan dan sudut pandang

Subjek di tempatkan pada tiga jarak berbeda dari kamera, yaitu 0,6 m, 1,8 m, dan 3 m, dan diminta bergerak terbatas di area pengujian. Pada setiap skenario diamati:

- a. Keberhasilan sistem dalam mendeteksi subjek,
- b. Kemampuan glambot menjaga subjek tetap berada di dalam frame,
- c. Kelancaran gerakan lengan (tidak terjadi hentakan atau tumbukan mekanis).

##### 2) Pengujian pada variasi pencahayaan

Ruangan diuji pada beberapa kondisi pencahayaan (lampu utama menyala, lampu diredupkan, dan kondisi mendekati gelap). Sistem diamati apakah:

- a. Sensor BH1750 mampu memicu lampu bantu secara otomatis ketika intensitas cahaya turun di bawah ambang batas,
- b. Modul pengolahan citra tetap mampu mendeteksi subjek dengan baik setelah penyesuaian pencahayaan.

##### 3) Pengujian operasi jangka pendek

Sistem dijalankan secara kontinu dalam interval waktu tertentu untuk menilai stabilitas perangkat lunak, keandalan komunikasi serial, serta memantau suhu kerja servo dan catu daya. Pengamatan ini digunakan untuk mengidentifikasi potensi masalah termal atau keandalan yang perlu diperbaiki pada iterasi desain berikutnya.

Hasil dari seluruh pengujian tersebut menjadi dasar untuk menilai sejauh mana spesifikasi yang ditetapkan pada analisis kebutuhan telah tercapai dan bagaimana kelayakan prototipe SNAFH-R1 sebagai solusi glambot low-cost untuk skenario photobooth indoor.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem glambot SNAFH-R1 dilakukan untuk menilai kinerja pergerakan kamera, akurasi deteksi serta pelacakan subjek manusia, kemampuan penyesuaian pencahayaan otomatis, dan kestabilan operasi sistem secara keseluruhan. Bagian ini menyajikan hasil implementasi

prototipe, diikuti dengan hasil pengujian terstruktur dan diskusi terhadap kelebihan serta keterbatasan sistem.

#### A. Hasil Implementasi Prototipe

Prototipe glambot SNAFH-R1 berhasil direalisasikan sesuai rancangan arsitektur pada Bab II. Lengan kamera memiliki empat derajat kebebasan yang digerakkan oleh tiga buah servo torsi tinggi RDS3225MG ( $\pm 25$  kg·cm, sudut kerja hingga  $270^\circ$ ) dan satu buah servo MG995 sebagai aktuator tilt kamera. Struktur mekanik dipasang pada sebuah dudukan kayu yang berfungsi sebagai dasar sistem sekaligus memberikan kestabilan mekanis saat lengan bergerak.

Pada ujung lengan dipasang dudukan kamera yang menempatkan kamera USB Logitech C270, serta holder untuk smartphone sebagai perangkat perekam utama. Konfigurasi ini memungkinkan kamera berada pada ketinggian dan sudut yang sesuai untuk menghasilkan sudut pandang gaya glambot pada skenario photobooth indoor. Representasi fisik prototipe glambot SNAFH-R1 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prototipe glambot SNAFH-R1: lengan kamera 4-DOF dengan tiga servo RDS3225MG dan satu servo MG995 yang dipasang pada dudukan kayu, dilengkapi dudukan kamera Logitech C270 dan holder smartphone.

Integrasi antara modul pengolahan citra berbasis Python pada laptop dan modul kendali lengan berbasis Arduino berjalan dengan baik. Data offset posisi subjek yang dihasilkan modul vision dapat dikirimkan secara kontinu melalui antarmuka serial dan dikonversi menjadi sudut target pada keempat servo. Secara kualitatif, gerakan lengan kamera tampak halus tanpa hentakan tajam yang mencolok, sehingga mendukung pengambilan gambar dengan pergerakan kamera yang stabil.

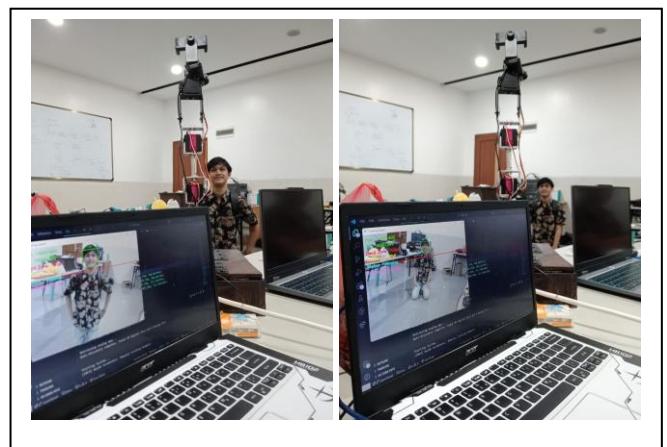
#### B. Pengujian Jangkauan Deteksi dan Framing

Pengujian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendekripsi dan menjaga subjek tetap berada di dalam bidang pandang kamera pada beberapa jarak kerja. Kamera yang digunakan adalah Logitech C270 dengan resolusi kerja  $640 \times 480$  piksel yang terhubung ke laptop dan diproses menggunakan OpenCV.

Pengujian dilakukan pada tiga jarak yang merepresentasikan skenario photobooth indoor, yaitu sekitar 0,6 m (jarak dekat), 1,8 m (jarak menengah), dan 3 m (jarak relatif jauh). Pada setiap jarak, subjek diminta untuk bergeser ke kiri dan kanan, sedikit maju–mundur, serta melakukan perubahan pose ringan (misalnya berdiri tegak dan berlutut) sehingga sistem perlu menyesuaikan sudut pandang kamera secara dinamis.

Selama pengujian, modul pengolahan citra melakukan konversi citra ke grayscale, peningkatan pencahayaan, reduksi derau, deteksi manusia menggunakan cascade classifier, segmentasi sederhana di sekitar bounding box, serta pelacakan posisi centroid ROI sebagaimana dijelaskan pada bagian II. Data offset posisi subjek kemudian diterjemahkan menjadi perubahan sudut target servo sehingga kamera bergerak mengikuti pergeseran subjek.

Secara kualitatif, hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada jarak dekat dan menengah sistem mampu mempertahankan kepala dan bagian atas tubuh subjek tetap berada di dalam frame dengan gerakan kamera yang relatif halus. Ketika subjek mengubah posisi dari berdiri menjadi berlutut, bounding box deteksi dan garis indikator posisi pada tampilan aplikasi tetap mengikuti posisi wajah sehingga kamera menyesuaikan sudut pandang tanpa kehilangan subjek. Contoh hasil visual pengujian pelacakan subjek ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Contoh hasil pengujian pelacakan subjek pada prototipe glambot SNAFH-R1: (a) subjek berdiri pada jarak menengah, (b) subjek berlutut pada jarak berbeda. Tampak bounding box deteksi wajah dan informasi status pelacakan pada tampilan aplikasi.

Pada jarak yang lebih jauh, ukuran proyeksi subjek di citra menjadi lebih kecil sehingga frekuensi kegagalan deteksi mulai meningkat dan kamera sesekali terlambat melakukan

koreksi. Hal ini sejalan dengan karakteristik metode deteksi klasik berbasis cascade classifier yang sensitif terhadap ukuran objek dan kualitas kontras citra [9], [11].

### C. Pengujian Respons terhadap Variasi Pencahayaan

Pengujian ini dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam menyesuaikan pencahayaan melalui pengendalian lampu LED berdasarkan pembacaan sensor BH1750. Pengujian dilakukan pada dua kondisi utama yang merepresentasikan skenario pemotretan indoor:

- Pencahayaan cukup – lampu ruangan utama menyala, tanpa pengurangan intensitas secara sengaja.
- Pencahayaan redup – lampu ruangan diredupkan atau sebagian dimatikan sehingga intensitas cahaya di sekitar subjek turun secara signifikan.

Pada masing-masing kondisi, nilai lux yang dibaca oleh BH1750 diamati dan dibandingkan dengan ambang lux yang digunakan sebagai pemicu penyalakan lampu LED. Selain itu, kualitas citra hasil tangkapan kamera juga diamati secara visual, khususnya kecerahan wajah subjek dan kestabilan proses deteksi.

Secara kualitatif, hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika intensitas cahaya ruangan turun di bawah ambang batas yang ditetapkan, Arduino mengaktifkan relay sehingga lampu LED menyala dan meningkatkan kecerahan area wajah. Deteksi dan pelacakan subjek menjadi lebih stabil karena kontras antara subjek dan latar belakang meningkat. Sebaliknya, ketika intensitas cahaya kembali berada di atas ambang, lampu LED otomatis dimatikan sehingga menghindari risiko overexposure pada wajah subjek.

Meskipun skema pengendalian yang digunakan masih bersifat threshold-based sederhana, hasil ini mengindikasikan bahwa integrasi sensor BH1750 dan modul relay sudah cukup efektif untuk menjaga konsistensi pencahayaan pada skenario photobooth indoor tanpa memerlukan penyesuaian manual berulang dari operator.

### D. Pengujian Stabilitas Operasi dan Karakteristik Servo

Pengujian ini berfokus pada kestabilan gerakan servo dan kemampuan sistem untuk beroperasi dalam rentang waktu tertentu tanpa mengalami gangguan fungsi. Pengujian dilakukan dengan menggerakkan masing-masing sendi lengan kamera berulang kali pada beberapa rentang sudut uji, baik dalam kondisi tanpa beban maupun dengan beban kamera terpasang.

Ringkasan hasil pengamatan karakteristik servo ditunjukkan pada Tabel 2. Rentang sudut yang diuji dipilih berdasarkan batas mekanis aman lengan serta kebutuhan gerakan kamera pada skenario pemotretan.

Tabel 2. Ringkasan hasil pengujian karakteristik servo lengan kamera

Servo	Kondisi	Rentang sudut uji	Hasil pengamatan utama
RDS3225MG (sendi atas)	Tanpa beban	30°–35°	Presisi dan stabil, gerakan halus
RDS3225MG (sendi atas)	Dengan beban	30°–35°	Sedikit tersentak namun tetap dalam batas stabil

Servo	Kondisi	Rentang sudut uji	Hasil pengamatan utama
RDS3225MG (sendi tengah)	Tanpa beban	30°–90°	Gerakan lancar, terdapat goyangan kecil
RDS3225MG (sendi tengah)	Dengan beban	30°–90°	Respons sedikit lebih lambat, tetap terkendali
RDS3225MG (sendi bawah)	Tanpa beban	0°–135°	Gerakan presisi tinggi, tanpa hentakan berarti
RDS3225MG (sendi bawah)	Dengan beban	0°–135°	Stabil, tanpa getaran berlebihan
MG995 (tilt kamera)	Tanpa beban	0°–135°	Presisi cukup, sedikit lebih lambat dari RDS3225MG
MG995 (tilt kamera)	Dengan beban	0°–135°	Gerakan relatif cepat, masih terdapat getaran ringan

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa aktuator yang digunakan mampu menjalankan pergerakan kamera dengan presisi yang memadai, baik pada gerakan horizontal maupun vertikal. Tidak ditemukan gejala panas berlebih atau kehilangan torsi yang signifikan selama siklus pengujian berulang. Hal ini mendukung fungsi SNAFH-R1 sebagai glambot low-cost yang dapat menghasilkan pergerakan kamera stabil pada penggunaan jangka pendek, seperti sesi pemotretan dalam suatu acara.

### E. Diskusi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi antara modul pengolahan citra, kendali lengan robot, dan pengendalian pencahayaan pada prototipe glambot SNAFH-R1 telah berfungsi sesuai rancangan. Sistem mampu:

- Mendekksi dan mengikuti subjek manusia dalam skenario photobooth indoor pada beberapa jarak kerja,
- Menggerakkan kamera dengan lintasan yang relatif halus berkat penerapan clamping dan interpolasi sudut pada modul kendali, serta
- Menyesuaikan pencahayaan lokal melalui lampu LED yang dikendalikan secara otomatis berdasarkan pembacaan BH1750.

Dibandingkan sistem kamera robotik yang berfokus pada cinematography profesional [6], [7], prototipe ini menawarkan pendekatan yang lebih sederhana dan berbiaya lebih rendah dengan tetap mempertahankan elemen utama berupa pergerakan kamera yang halus dan kemampuan pelacakan subjek otomatis. Keterbatasan utama sistem saat ini antara lain:

- Belum mendukung pelacakan multiobjek; sistem hanya mengikuti satu subjek dominan di dalam frame,
- Kinerja deteksi dan pelacakan masih sensitif terhadap kondisi pencahayaan yang terlalu gelap atau terlalu kontras, sejalan dengan karakteristik metode deteksi klasik berbasis cascade classifier [9], [11],
- Getaran kecil masih dapat muncul pada sendi yang digerakkan servo MG995 ketika beban yang dipasang relatif besar.

Potensi pengembangan yang dapat dilakukan pada tahap berikutnya meliputi integrasi metode deteksi dan pelacakan

berbasis deep learning yang lebih robust terhadap variasi pose dan pencahayaan, peningkatan jumlah derajat kebebasan lengan menjadi lima atau enam DOF untuk menghasilkan gerakan kamera yang lebih ekspresif, serta pemanfaatan data IMU untuk menerapkan skema kendali feedback yang mampu mengompensasi getaran secara aktif. Selain itu, penggunaan aktuator kelas brushless dan kompatibilitas dengan kamera mirrorless atau DSLR dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kualitas visual dan kehalusan gerak pada versi prototipe berikutnya.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah prototipe glambot low-cost SNAFH-R1 yang mengintegrasikan modul pengolahan citra berbasis Python, lengan kamera empat derajat kebebasan berbasis servo RDS3225MG dan MG995, serta sistem pencahayaan otomatis berbasis sensor BH1750. Sistem dirancang untuk mendukung skenario pemotretan bergaya glambot pada lingkungan photobooth indoor dengan memanfaatkan komponen yang relatif mudah diperoleh.

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut.

- Desain dan realisasi prototipe: Arsitektur tiga lapis yang menggabungkan modul vision pada laptop, modul kendali pada Arduino Uno R3, dan lapisan aktuasi berbasis driver PCA9685 berhasil diimplementasikan. Lengan kamera 4-DOF yang dibangun mampu menopang kamera USB Logitech C270 dan holder smartphone dengan stabil pada konfigurasi photobooth.
- Kinerja deteksi dan pelacakan subjek: Modul pengolahan citra berbasis cascade classifier dan pelacakan centroid mampu mendeteksi dan mengikuti subjek manusia pada jarak kerja yang umum digunakan pada photobooth indoor. Pada jarak dekat dan menengah, sistem dapat mempertahankan kepala dan bagian atas tubuh subjek tetap berada di dalam bidang pandang kamera dengan gerakan lengan yang relatif halus.
- Pergerakan kamera dan karakteristik servo: Penerapan clamping dan interpolasi sudut pada modul kendali memungkinkan perpindahan sudut servo berlangsung lebih halus dan mengurangi hentakan tajam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi tiga servo RDS3225MG dan satu servo MG995 mampu menghasilkan gerakan kamera yang stabil, baik pada kondisi tanpa beban maupun dengan beban kamera terpasang, tanpa gejala panas berlebih atau kehilangan torsi yang signifikan pada pengujian jangka pendek.
- Pengendalian pencahayaan otomatis: Integrasi sensor BH1750 dan modul relay satu kanal memungkinkan sistem mengaktifkan dan mematikan lampu LED secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya ruangan. Skema pengendalian sederhana berbasis ambang lux terbukti cukup efektif untuk menjaga

konsistensi pencahayaan wajah subjek pada skenario pemotretan indoor.

Secara keseluruhan, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pendekatan integrasi pengolahan citra dan robotika pada prototipe glambot SNAFH-R1 layak digunakan sebagai solusi glambot berbiaya relatif rendah untuk keperluan dokumentasi acara berskala kecil hingga menengah, sekaligus memiliki potensi sebagai media pembelajaran robotika dan computer vision di lingkungan pendidikan.

Arah pengembangan selanjutnya yang disarankan adalah integrasi metode deteksi dan pelacakan berbasis deep learning agar lebih robust terhadap variasi pose dan pencahayaan, pemanfaatan data IMU untuk menerapkan skema kendali feedback yang mampu mengompensasi getaran dan gerakan mendadak, peningkatan jumlah derajat kebebasan lengan untuk menghasilkan lintasan kamera yang lebih ekspresif, serta eksplorasi penggunaan aktuator kelas brushless dan kamera mirrorless atau DSLR guna meningkatkan kualitas visual yang dihasilkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Delbracio, D. Kelly, M. S. Brown, and P. Milanfar, “Mobile computational photography: A tour,” *Annual Review of Vision Science*, vol. 7, pp. 571–604, 2021, doi: 10.1146/annurev-vision-093019-115521.
- [2] C. Han and M. Zappavigna, “Multimodal rhythm in TikTok videos: Orchestrating image, sound, and text,” *Multimodality & Society*, vol. 4, no. 1, pp. 58–79, 2024, doi: 10.1177/26349795231207228.
- [3] R. Rio, Michael, R. Charlito, Sudiono, and S. Thang, “Analisis penggunaan Instagram sebagai media pemasaran pada perusahaan DE Plafon,” *Journal of Digital Ecosystem for Natural Sustainability (JoDENs)*, vol. 1, no. 2, pp. 91–94, Jul. 2021, doi: 10.63643/jodens.v1i2.42.
- [4] T. M. Brown, “How a gizmo used to photograph taco ads took over the red carpet,” *The New Yorker*, Mar. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.newyorker.com/magazine/2025/03/10/how-a-gizmo-used-to-photograph-taco-ads-took-over-the-red-carpet> (diakses 2 Des. 2025).
- [5] Mark Roberts Motion Control, “Showbolt – the ultimate content capture experience for live events,” [Online]. Available: <https://www.mrmoco.com/showbolt/> (diakses 2 Des. 2025).
- [6] M. Gschwindt, E. Camci, R. Bonatti, W. Wang, E. Kayacan, and S. Scherer, “Can a robot become a movie director? Learning artistic principles for aerial cinematography,” in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2019, pp. 1107–1114, doi: 10.1109/IROS40897.2019.8967592.
- [7] P. Praveena, B. Cagiltay, M. Gleicher, and B. Mutlu, “Exploring the use of collaborative robots in cinematography,” in *CHI EA '23: Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Hamburg, Germany, Apr. 2023, pp. 127:1–127:6, doi: 10.1145/3544549.3585715.
- [8] P. V. Sarathi, V. Kumar, and R. Kumar, “Artificial intelligence in the future of mocobot camera in film making and camera control by voice command,” in *Proc. 2024 International Conference on Computer and Drone Applications (IConDA)*, 2024, doi: 10.1109/ICCPDA64887.2024.10867329.
- [9] Y. Yu et al., “Techniques and challenges of image segmentation: A review,” *Electronics*, vol. 12, no. 5, p. 1199, Mar. 2023, doi: 10.3390/electronics12051199.
- [10] V. M. N. Passaro, A. Cuccovillo, L. Vaiani, M. De Carlo, and C. E. Campanella, “Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective,” *Sensors*, vol. 17, no. 10, p. 2284, 2017, doi: 10.3390/s17102284.
- [11] P. Viola and M. J. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” in *Proc. IEEE Computer Society Conf. on*

- Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), vol. 1, 2001, pp. I-511–I-518, doi: 10.1109/CVPR.2001.990517.
- [12] T. Chavdarova, N. Srezoski, D. Cvetkovski, and A. Tentov, “A concept and kinematic model design for an intelligent 4-DOF robotic arm,” in Proc. XI ETAI Int. Conf. on Telecommunications, Automation and Informatics, Ohrid, Macedonia, Sep. 2013.
- [13] M. H. Adzman, M. A. S. Abu, M. H. Jopri, and M. H. Jamaluddin, “Kinematic modeling of a low cost 4 DOF robot arm system,” International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, vol. 8, no. 10, pp. 6828–6834, Oct. 2020, doi: 10.30534/ijeter/2020/328102020.