

# Pengaruh Tingkat Cahaya Pendeteksian Hand Gesture Pada Robot Troli Berbasis Image Processing

Yudi Arrasyid<sup>1</sup>, Arif Sumardiono<sup>2\*</sup>, Erna Alimudin<sup>3\*</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap

<sup>1, 2, 3</sup>Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail: yudiarrasyid12@gmail.com<sup>1</sup>, arifsumardiono@pnc.ac.id<sup>2</sup>, ernaalimudin@gmail.com<sup>3</sup>

---

## Abstrak

---

### Info Naskah:

Naskah masuk:

Direvisi:

Diterima:

Pengaruh tingkat cahaya pada pendeteksian hand gesture memiliki dampak signifikan pada beberapa aspek kritis. Pertama, tingkat cahaya yang rendah menyulitkan pendeteksian kontur atau bentuk tangan secara jelas, mengakibatkan kesalahan identifikasi gerakan tangan, dan mengganggu interaksi antara manusia dan robot. Di sisi lain, tingkat cahaya yang terlalu terang juga menjadi tantangan serius. Cahaya berlebihan dapat menghasilkan pantulan dan bayangan yang mengaburkan gambar tangan, sehingga deteksi gerakan tangan menjadi sulit. Oleh karena itu, diperlukan penyelidikan lebih lanjut mengenai pengaruh tingkat cahaya terhadap pendeteksian objek, khususnya pada hand gesture pada robot troli, guna meningkatkan efisiensi pendeteksian. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jarak ideal pendeteksian objek hand gesture menggunakan kamera adalah antara 50 hingga 150 cm, dengan intensitas cahaya minimal yang ideal sebesar 10 lux. Untuk masing-masing gerakan tangan, intensitas cahaya yang disarankan adalah 4 lux untuk mundur, 7 lux untuk maju, 14 lux untuk kanan, 14 lux untuk kiri, dan 13 lux untuk berhenti. Untuk mencapai akurasi pendeteksian yang optimal tanpa hambatan, diperlukan intensitas cahaya sebesar 60 lux. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem pendeteksian hand gesture yang efisien pada robot troli, dengan memahami pengaruh tingkat cahaya yang kritis. Hasilnya dapat digunakan untuk meningkatkan interaksi manusia-robot dan memastikan deteksi gerakan tangan yang akurat dan lancar dalam berbagai situasi.

---

## Abstract

---

### Keywords:

Robot Troli;

Lux;

Intensitas Cahaya;

Pendeteksian Hand Gesture;

The effect of light level on hand gesture detection has a significant impact on several critical aspects. First, low light levels make it difficult to clearly detect contours or the shape of a hand, resulting in incorrect identification of hand movements, and disrupting the interaction between humans and robots. On the other hand, the level of light that is too bright is also a serious challenge. Excessive light can produce reflections and shadows that obscure the hand image, making hand motion detection difficult. Therefore, further investigation is needed regarding the effect of light level on object detection, especially in hand gestures on trolley robots, in order to improve detection efficiency. The results of this study indicate that the ideal distance for detecting hand gesture objects using a camera is between 50 and 150 cm, with an ideal minimum light intensity of 10 lux. For each hand movement, the recommended light intensity is 4 lux for backwards, 7 lux for forward, 14 lux for right, 14 lux for left, and 13 lux for stop. To achieve optimal detection accuracy without obstacles, a light intensity of 60 lux is required. This research makes an important contribution to the development of an efficient hand gesture detection system for trolley robots, by understanding the effect of critical light levels. The results can be used to enhance human-robot interaction and ensure accurate and smooth detection of hand movements in a variety of situations.

---

\*Penulis korespondensi:

Nama Penulis

E-mail: email\_korespondensi@email.com

---

## 1. Pendahuluan

Interaksi antara manusia dan robot semakin menjadi perhatian utama dalam bidang robotika[1][2]. Salah satu bentuk interaksi yang penting adalah kemampuan robot untuk mendeteksi dan memahami gerakan tangan manusia, yang dikenal sebagai hand gesture recognition[3][4]. Hand gesture recognition menjadi elemen kunci dalam pengembangan robot yang dapat berinteraksi secara alami dengan manusia, karena gerakan tangan merupakan salah satu cara komunikasi yang paling alami dan intuitif bagi manusia[5]. Salah satu faktor penting yang memengaruhi keberhasilan pendeteksian hand gesture pada robot adalah tingkat cahaya di sekitar lingkungan deteksi[6].

Tingkat cahaya yang optimal akan berkontribusi pada kualitas dan akurasi deteksi hand gesture oleh robot[7]. Cahaya yang terlalu terang atau terlalu redup dapat mempengaruhi kinerja sistem deteksi dan mengurangi akurasi pengenalan gerakan tangan, pengaruh tingkat cahaya pada pendeteksian hand gesture dapat berdampak pada beberapa aspek kritis[8]. Pertama, tingkat cahaya yang rendah dapat menyebabkan kesulitan dalam mendeteksi kontur atau bentuk tangan dengan jelas.

Cahaya yang berlebihan dapat memicu pantulan dan bayangan yang mengaburkan gambar tangan, sehingga membuat deteksi gerakan tangan menjadi sulit[9]. Selain itu, intensitas cahaya yang berlebihan juga dapat mengganggu sensor atau kamera yang digunakan untuk pendeteksian, mengurangi kualitas citra yang diterima oleh robot, dan mengurangi kemampuan robot untuk membedakan gerakan tangan dengan baik[10].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Handi Rahmannuri berjudul “Pengaruh Perbedaan Intensitas Pencahayaan Terhadap Identifikasi Objek Gerak” penulis melakukan penelitian terkait pengaruh cahaya terhadap pendeteksian, Objek gerak diidentifikasi dengan jarak  $\pm 100$  cm dari kamera. Kemampuan identifikasi objek mengalami perubahan ketika intensitas cahaya sekitar berubah. Pada intensitas cahaya 41 lux kemampuan identifikasi objek lingkaran menunjukkan proses identifikasi sebanyak 31 kali selama 15 detik, pada intensitas cahaya 121 lux kemampuan identifikasi objek lingkaran menunjukkan proses identifikasi sebanyak 8 kali selama 15 detik, dan pada intensitas cahaya 222 lux kemampuan identifikasi objek lingkaran dapat mengunci target secara sempurna selama 15 detik. Kelemahan dari penelitian ini yakni objek penelitian misalnya objek yang diidentifikasi dan klasifikasi intensitas pencahayaan masih belum ada[11].

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Merdan Ozkahrman berjudul “Design and Validation of a Camera-Based Safety System for Fenceless Robotic Work Cell” Sistem ini dibuat dengan menggunakan kamera 2-D untuk sistem robotik tanpa pagar. Sudut lensa kamera, sudut orientasi kamera, dan tinggi kamera dianggap sebagai variabel dalam permasalahan optimisasi. Eksperimen validasi dilakukan dengan menggunakan dua resolusi kamera serta dua pemroses grafis. Ketika kamera ditempatkan secara optimal, sistem terbukti bekerja secara efektif dengan kecerahan minimal sebesar 120 lux, sedangkan sistem keseluruhan tidak dapat beroperasi di bawah 400 lux. Kelemahan pada penelitian ini adalah

kurangnya pengujian klasifikasi pencahayaan yang akurat sehingga keamanan pada sistem ini masih sangat berbahaya ketika malam hari dengan kurangnya cahaya[12].

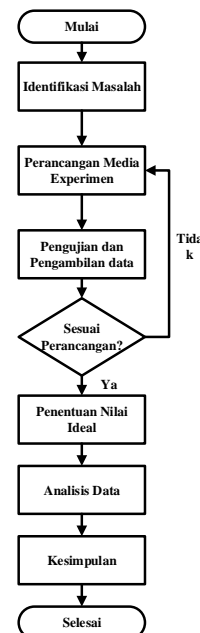
Penelitian ini merupakan penelitian lanjut yang bertujuan untuk menyelidiki pengaruh tingkat cahaya terhadap pendeteksian objek khususnya pada hand gesture pada robot Troli. Penelitian ini juga mencakup penerapan teknik pengolahan citra dan solusi yang diusulkan guna mengatasi tantangan yang terkait dengan tingkat cahaya dalam konteks pengenalan gerakan tangan oleh robot. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga dalam pengembangan sistem pendeteksian hand gesture yang andal dan efisien pada robot Troli, serta berperan dalam mendorong kemajuan di bidang interaksi manusia-robot secara keseluruhan.

## 2. Metode

Dalam penelitian ini digunakan desain kuantitatif karena data-datanya bersifat numerik. Penelitian kuantitatif memanfaatkan data-data berupa angka sebagai alat untuk menganalisis dan mengkaji. Metode eksperimen faktorial digunakan untuk menyelidiki pengaruh tingkat cahaya terhadap pendeteksian hand gesture pada robot troli. Pada eksperimen ini, faktor yang akan divariasikan adalah tingkat cahaya, sedangkan variabel respons yang diamati adalah keberhasilan pendeteksian hand gesture oleh robot troli.

Eksperimen ini melibatkan dua atau lebih tingkat cahaya yang berbeda, seperti tingkat cahaya rendah, sedang, dan tinggi. Setiap tingkat cahaya akan diuji secara terpisah dengan menggunakan kondisi pengujian yang serupa. Pada setiap tingkat cahaya, robot troli akan melakukan pendeteksian hand gesture dan hasilnya akan dicatat.

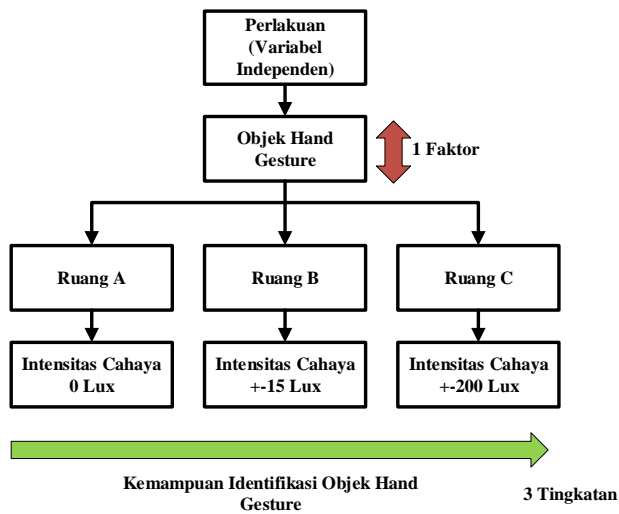
Gambar 1 menunjukkan diagram blok penelitian secara umum. Gambar 2 mendeskripsikan metode eksperimen faktorial yang diimplementasikan



Gambar 1. Tahap Penelitian

Eksperimen ini melibatkan dua atau lebih tingkat cahaya yang berbeda, seperti tingkat cahaya rendah, sedang, dan tinggi. Setiap tingkat cahaya akan diuji secara terpisah dengan menggunakan kondisi pengujian yang serupa. Pada

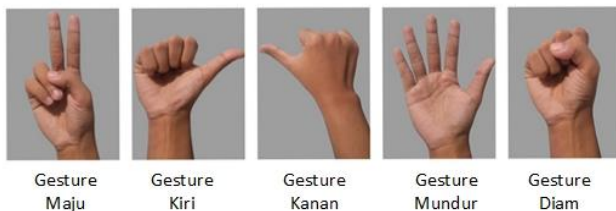
setiap tingkat cahaya, robot troli akan melakukan pendeteksian hand gesture dan hasilnya akan dicatat.



Gambar 2. Kemampuan Pendeteksian Objek Metode Faktorial

## 2.1 Objek Penelitian

Perintah untuk pergerakan troli telah diatur pada pemrograman python untuk mendeteksi pola tertentu pada gerak tangan, beberapa diantaranya menggunakan titik region of interest pada sendi hand landmark. Objek hand gesture berperan sebagai objek yang dideteksi dan intensitas pencahayaan berperan sebagai pemberi perlakuan terhadap objek. Beberapa pola yang telah diatur ditampilkan pada gambar 3.



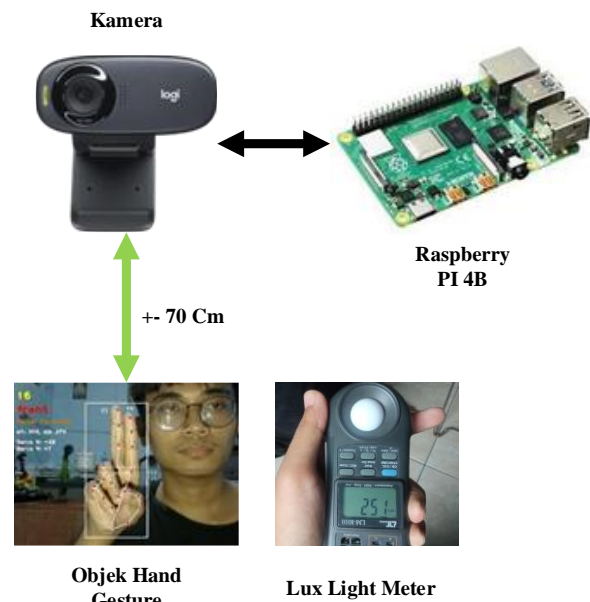
Gambar 3. Perancangan Gesture Tangan

Gesture tangan tersebut telah diprogram pada pemrograman python di raspberry pi, pengenalan tersebut berdasarkan titik sendi hand landmark. Menggunakan program if else didapatkan keakuratan pengenalan pola.

## 2.2 Teknik Pengambilan Data

Data diambil dengan teknik pengamatan terhadap visualisasi gerak dengan intensitas pencahayaan yang berbeda. Pengamatan dilakukan dengan menghitung durasi waktu dari sistem computer vision ketika berhasil mengidentifikasi objek gerak. Instrumen pengambilan data berupa Raspberry PI 4B, kamera, pemrograman machine learning python dengan library mediapipe, objek hand gesture, 3 buah ruangan dengan lampu berbeda, dan lux meter. Raspberry yang sudah disertakan pada robot troli yang berisi algoritma identifikasi objek hand gesture dihubungkan dengan kamera untuk dapat mengenali objek. Jarak kamera menuju objek  $\pm 70$  Cm. Light meter diletakkan berdekatan dengan objek hand gesture agar bisa memperoleh

data intensitas cahaya yang mewakili keadaan sekitar objek lingkaran seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Pengambilan Data

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil alat yang akan diuji ditampilkan pada gambar 5 dan gambar 6 dibawah ini.



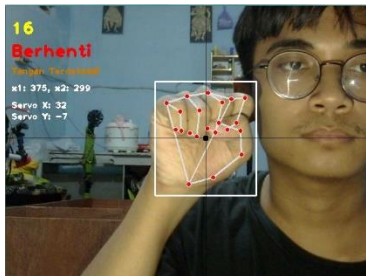
Gambar 5. Alat Yang Dilakukan Pengujian



Gambar 6. Tampilan Kamera Saat Pengujian

### 3.1 Pengujian Pengenalan Gesture Tangan

Pengujian pendeteksian gesture tangan dilakukan dengan mendeteksi telapak tangan menggunakan library mediapipe dengan modul OpenCV. Pengujian dilakukan secara berulang kali untuk mengambil sampel data deteksi dengan pengaruh lux cahaya lampu, apakah pendeteksian dapat dilakukan atau tidak dan berapa minimum cahaya lampu yang diperlukan.



Gambar 7. Pendeteksian Pola Gerak Tangan

Pendeteksian objek ditandai dengan munculnya kotak putih di sekitar tangan yang terdeteksi. Intensitas cahaya dan jarak objek ke webcam sangat mempengaruhi hasil pendeteksian. Untuk menguji deteksi objek, tiga ruangan dengan lampu yang berbeda digunakan dan dicatat nilai rata-rata lux-nya. Pengukuran intensitas cahaya menggunakan Lux Light Meter. Pengujian Hand Gesture Terhadap Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya yang cukup dan jarak objek terhadap webcam yang ideal sangat berpengaruh terhadap hasil pendeteksian objek. Berikut nilai rata-rata lux pada saat dilakukan pengujian pada sebuah ruangan, agar objek dapat terdeteksi digunakan tiga buah ruangan dengan cahaya lampu yang berbeda-beda. Pengukuran intensitas cahaya menggunakan Lux Light Meter.

Tabel 1. Tabel Pengujian Nilai Lux



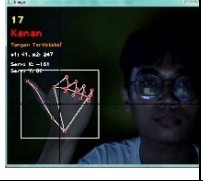







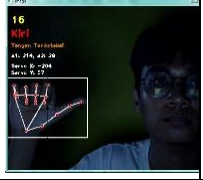



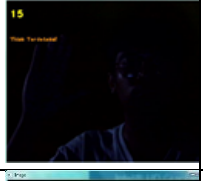



Deteksi	Rata- Rata Nilai Lux		
	Ruang A	Ruang B	Ruang C
Mundur	0	11	244
Maju	0	15	204
Kiri	0	16	227
Kanan	0	14	243
Berhenti	0	12	227

Langkah awal dalam proses pengujian ini adalah melakukan pengukuran nilai rata-rata lux di dalam ruangan dengan tujuan untuk menentukan seberapa kuat intensitas cahaya yang dibutuhkan oleh kamera dalam mendeteksi objek. Dalam konteks ini, nilai lux digunakan sebagai parameter untuk mengukur intensitas cahaya yang ada di dalam ruangan, dan hasil pengukuran ini menjadi referensi penting untuk tahap pengujian berikutnya. Setelah nilai rata-rata lux berhasil diperoleh, dilakukan pengujian terhadap intensitas cahaya yang dibutuhkan dan hasilnya dicatat secara sistematis pada Tabel 1. Hal ini bertujuan untuk memperoleh data yang lebih lengkap dan mendetail terkait intensitas cahaya yang optimal dalam mendeteksi objek. Dan hasil pengujian pada ruangan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pendeteksian Tangan Terhadap Pencahayaan

Pola	Nilai Lux		Hasil Deteksi	
	Lu x	Kondi si		
Mundur	0	Tidak Terdeteksi		
	4	Terdeteksi		
	12	Terdeteksi		
	20	Terdeteksi		
Maju	2	Tidak Terdeteksi		
	7	Terdeteksi		
	12	Terdeteksi		
	22	Terdeteksi		
Kanan	2	Tidak Terdeteksi		



Pola	Nilai Lux		Hasil Deteksi	
	Lu x	Kondi si		
	6	Tidak Terdete ksi		
	14	Terdete ksi		
	23 5	Terdete ksi		
Kiri	1	Tidak Terdete ksi		
	8	Tidak Terdete ksi		
	14	Terdete ksi		
	20 7	Terdete ksi		
Berhe nti	0	Tidak Terdete ksi		
	4	Tidak Terdete ksi		

Pola	Nilai Lux		Hasil Deteksi	
	Lu x	Kondi si		
	13	Terdete ksi		
	24 2	Terdete ksi		

Dari hasil pengujian didapatkan nilai lux rata-rata dibutuhkan oleh kamera dalam mendeteksi setiap objek adalah 10 lux, ruangan teras membutuhkan 60 lux sedangkan ruangan seperti ruang tamu, ruang makan dan kamar tidur membutuhkan setidaknya 120 lux. Kamera sudah dapat mendeteksi objek *hand gesture* dibawah 120 lux yakni sebesar 10 lux adalah ruangan dalam keadaan gelap dengan sedikit intensitas cahaya, semakin besar telapak tangan terbuka makin mudah kamera dalam mendeteksi pola sendi tangan. Pada pola gerak mundur terlihat bahwa dengan menggunakan 4 lux dapat mendeteksi pola gerak tangan, sedangkan pada gerak maju, kanan, kiri, mundur dan diam dibutuhkan setidaknya 10 lux dalam ruangan tersebut.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dalam pendeteksian hand gesture pada kondisi penurunan cahaya. Pola mundur dan diam menghasilkan hasil pengujian terbaik, sedangkan pola maju, kanan, dan kiri memiliki tingkat pendeteksian yang kurang baik ketika terjadi penurunan cahaya. Pada pola maju, terjadi ketidakmampuan dalam mendeteksi pola saat intensitas cahaya menurun, dan pola berubah menjadi pola kanan karena koordinat titik *Thump\_tip* yang lebih besar daripada titik koordinat *Pinky\_tip*. Sedangkan pada pola kanan dan kiri, pola dapat berubah menjadi berhenti ketika terjadi penurunan cahaya.

Selanjutnya untuk mengetahui sejauh mana gestur tangan manusia dapat diidentifikasi dengan rentang waktu 2 detik saat melakukan penangkapan gestur, langkah selanjutnya adalah melihat tingkat akurasi gestur yang berhasil terdeteksi. Dalam Tabel 3, terlihat hasil dari dua puluh percobaan pendeteksian gestur yang dilakukan, berdasarkan gestur instruksi yang tercantum pada Tabel 2 sebelumnya.


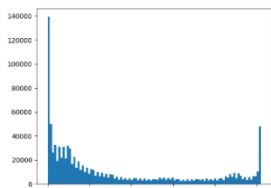

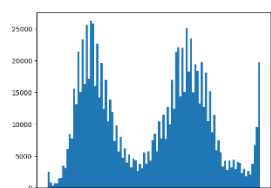
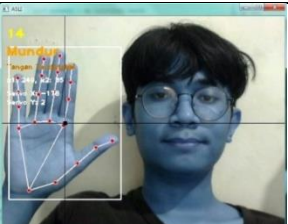
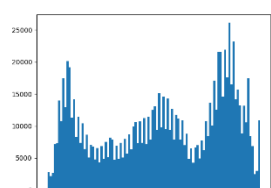
Tabel 3 Identifikasi Gesture Tangan Pencahayaan Ideal

No	Gesture	Terdeteksi/Percobaan	Lama gesture terdeteksi (detik)	Kondisi Pencahayaan (Lux)	Error (%)
1	Maju	18/20	3	63	10
2	Mundur	20/20	1	67	0
3	Kanan	19/20	2	67	5
4	Kiri	19/20	1	64	5
5	Berhenti	20/20	1	63	0
Rata-Rata Error (%)					4

Kesalahan rata-rata yang diperoleh sebesar 4% kesalahan terbesar terjadi pada pembacaan *gesture* maju yaitu sebesar 10%. Hal tersebut disebabkan pencahayaan latar belakang dan jarak tangan dengan webcam. Selain itu terdapat perbedaan dalam pendeteksian hand gesture pada kondisi penurunan cahaya. Pola mundur dan diam menghasilkan hasil pengujian terbaik, sedangkan pola maju, kanan, dan kiri memiliki tingkat pendeteksian yang kurang baik ketika terjadi penurunan cahaya. Pada pola maju, terjadi ketidakmampuan dalam mendeteksi pola saat intensitas cahaya menurun, dan pola berubah menjadi pola kanan karena koordinat titik *Thump\_tip* yang lebih besar daripada titik koordinat *Pinky\_tip*. Sedangkan pada pola kanan dan kiri, pola dapat berubah menjadi berhenti ketika terjadi penurunan cahaya.

Setelah melakukan pengujian intensitas cahaya di ruangan, dilakukan analisis lebih lanjut terkait kondisi backlight atau cahaya latar belakang. Dalam analisis ini, tangkapan pendeteksian gesture pada mode pendeteksian "imageRGB" dievaluasi dengan mempertimbangkan intensitas cahaya yang masuk ke kamera. Analisis intensitas cahaya ini menggunakan histogram kontras intensitas citra. Hasil analisis histogram tersebut kemudian ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4 Histogram Low Contrast Pencahayaan Pada Metode RGB

Kondisi	Histogram
 <p>Backlight Cahaya Matahari</p>	 <p>Low Contrast – Low Intensity</p>
 <p>Backlight Cahaya Lampu</p>	 <p>High Intensity - Low Contrast</p>
 <p>Kondisi Ideal</p>	 <p>High Intensity – High Contrast</p>

Histogram digunakan dalam analisis citra untuk menampilkan distribusi intensitas piksel di dalam gambar.


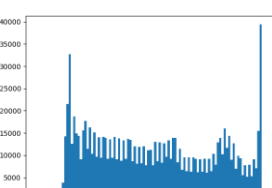
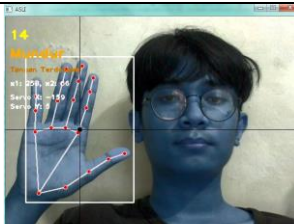
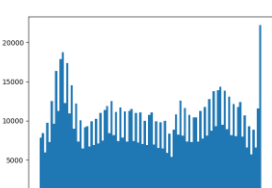
Dalam konteks pendeteksian sistem hand gesture saat terjadi backlight cahaya matahari, backlight cahaya lampu, dan kondisi ideal, histogram dapat memberikan wawasan tentang bagaimana tingkat cahaya yang berbeda mempengaruhi pendeteksian gesture tangan. Pada saat terjadi backlight cahaya matahari, histogram menunjukkan adanya puncak yang lebih rendah pada intensitas piksel di area tangan yang terkena siluet cahaya matahari. Hal ini disebabkan oleh kontras yang rendah antara tangan dan latar belakang yang terang, sehingga objek tangan tidak dapat terdeteksi oleh kamera.

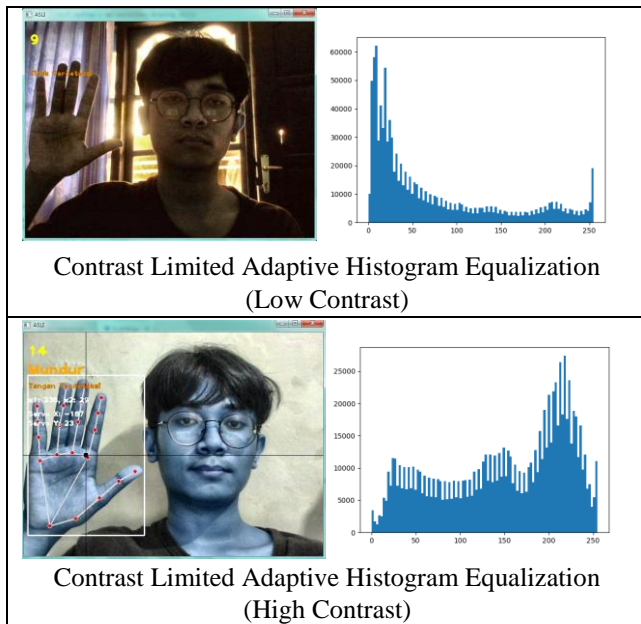
Saat terjadi backlight cahaya lampu, histogram juga menggambarkan peningkatan intensitas pada area sekitar tangan akibat siluet yang terbentuk oleh cahaya yang dipancarkan dari belakang. Histogram menunjukkan puncak yang lebih tinggi pada intensitas piksel di daerah tersebut. Namun beberapa objek yang tidak terkena cahaya akan terlihat gelap yang menunjukkan puncak yang lebih rendah dari pada intensitas piksel yang lain. Sehingga apabila semua cahaya menutupi semua objek, pendeteksian akan menghilang karena tidak adanya intensitas cahaya yang dapat ditangkap oleh kamera.

Dalam kondisi ideal, histogram citra tangan akan menunjukkan distribusi intensitas yang lebih merata dan konsisten di seluruh piksel tangan. Ini akan memudahkan pendeteksian dan pengenalan gesture tangan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Histogram dengan distribusi yang lebih merata dan simetris dapat memberikan informasi tentang kualitas citra yang baik, serta memberikan landasan yang solid bagi sistem pendeteksian hand gesture.

Informasi ini dapat membantu dalam mengidentifikasi tantangan yang terkait dengan backlighting dan memungkinkan pengembangan solusi teknis yang sesuai untuk meningkatkan pendeteksian gesture tangan pada kondisi cahaya yang bervariasi. Beberapa Langkah yang dapat dilakukan untuk melakukan perbaikan kualitas pada citra, diantaranya sudah dicantumkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Metode Perbaikan Citra

Jenis Metode Perbaikan Citra
  <p>Histogram Equalization (Low Contrast – High Intensity)</p>
  <p>Histogram Equalization (High Contrast – High Intensity)</p>



Dalam analisis histogram terkait pendeteksian sistem hand gesture, metode equalization histogram dapat digunakan untuk memperbaiki citra dengan low contrast dan high contrast. Pada kondisi low contrast, histogram citra akan menunjukkan distribusi intensitas piksel yang terkompresi, dengan banyak piksel berkumpul di rentang intensitas yang sempit. Dalam hal ini, metode equalization histogram dapat digunakan untuk meningkatkan kontras citra dengan meratakan distribusi intensitas piksel.

Metode equalization histogram, histogram citra yang awalnya tersebar akan diperatakan, menghasilkan distribusi intensitas yang lebih merata dan kontras yang lebih seimbang. Namun kekurangan pada metode equalization histogram untuk hand gesture adalah banyaknya noise atau gambar yang buram akibat keterpaksaan piksel mempertinggi intensitas, sehingga seakan pendeteksian lebih cerah sedangkan pada pendeteksian gesture tangan dibutuhkan tingkat kedalaman objek yang akan dideteksi.

Metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) juga dapat digunakan untuk mengatasi tantangan low contrast dan high contrast. Pada kondisi high contrast, metode CLAHE dapat mempertahankan detail gambar tanpa menyebabkan kelebihan kontras yang berlebihan. Sedangkan pada kondisi low contrast, metode CLAHE dapat meningkatkan kontras secara adaptif tanpa mengorbankan detail yang penting. Dengan mempertimbangkan kondisi kontras yang spesifik, metode CLAHE dapat memberikan solusi yang lebih optimal dalam meningkatkan visualisasi gesture tangan pada citra dan mendukung pendeteksian hand gesture dengan lebih baik dibandingkan metode equalization histogram.

Analisis histogram dan penggunaan metode equalization histogram, termasuk metode CLAHE, dapat memberikan perbaikan citra yang efektif untuk meningkatkan pendeteksian sistem hand gesture dalam situasi low contrast dan high contrast.

#### 4. Kesimpulan

Sistem robot troli yang menggunakan pengenalan gerakan tangan melalui kamera dan raspberry pi telah berhasil berfungsi sesuai rencana awal dalam penelitian yang dilakukan. Pada saat pengujian, terdapat 5 gerakan hand gesture yang dapat dikenali, yaitu maju, mundur, kanan, kiri, dan berhenti. Objek hand gesture dapat terdeteksi dengan baik oleh kamera, ditandai dengan adanya kotak persegi putih (tracking bbox) di sekitar tangan yang terdeteksi. Intensitas cahaya yang cukup, dengan nilai minimal 10 lux.

Jarak objek dan pencahayaan hand gesture yang ideal terhadap kamera sangat mempengaruhi hasil pendeteksian objek hand gesture apabila tidak memenuhi troli akan bergerak namun tersendat. Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi pendeteksian objek, seperti intensitas cahaya dan jarak dari objek ke webcam. Jarak ideal pendeteksian objek hand gesture dengan kamera adalah antara 50 hingga 150 cm, dan minimal intensitas cahaya ideal adalah 10 lux. Sedangkan untuk keakuratan pendeteksian dibutuhkan 60 lux agar bekerja dengan sempurna.

#### Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada dosen pembimbing I dan II yang telah meluangkan waktu untuk pengujian alat, serta kepada kedua orangtua yang mendukung pembuatan alat dan seseorang yang selalu mendoakan saya. Saya mengucapkan banyak terima kasih sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

#### Daftar Pustaka :

- [1] M. I. Maulana, M. Yusuf, And P. Rosyani, "Robotika Dalam Manufaktur: Kecerdasan Buatan Mengantarkan Otomatisasi Dan Kolaborasi Manusia-Robot Ke Tingkat Yang Nyata," *Biikma Bul. Ilm. Ilmu Komput. Dan Multimed.*, Vol. 1, No. 1, Pp. 29–32, 2023.
- [2] V. Ponzi, E. Iacobelli, C. Napoli, and J. Starczewski, "A Real-time Hand Gesture Recognition System for Human-Computer and Human-Robot Interaction," *CEUR Workshop Proc.*, vol. 3398, pp. 52–58, 2022.
- [3] V. Moysiadis *et al.*, "An Integrated Real-Time Hand Gesture Recognition Framework for Human-Robot Interaction in Agriculture," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 16, 2022, doi: 10.3390/app12168160.
- [4] S. L. Chen and L. W. Huang, "Using Deep Learning Technology to Realize the Automatic Control Program of Robot Arm Based on Hand Gesture Recognition," *Int. J. Eng. Technol. Innov.*, vol. 11, no. 4, pp. 241–250, 2021, doi: 10.46604/IJETI.2021.7342.
- [5] S. L. Aarthy, V. Malathi, M. Hamdi, I. Hilali-Jaghdam, S. Abdel-Khalek, and R. F. Mansour, "Recognition of Hand Gesture Using Electromyography Signal: Human-Robot Interaction," *J. Sensors*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/4718684.
- [6] S. Singh, R. Verma, and A. Kumar Singh, "Image filtration in Python using openCV," *Turkish J. Comput. Math. Educ.*, vol. 12, no. 6, pp. 5136–5143, 2021.
- [7] A. Boonsongsrikul and J. Eamsaard, "Real-Time Human Motion Tracking by Tello EDU Drone", vol. 23, no. 2. 2023. doi: 10.3390/s23020897.
- [8] C. Y. Yang *et al.*, "Smart Control of Home Appliances Using Hand Gesture Recognition in an IoT-Enabled System," *Appl. Artif. Intell.*, vol. 37, no. 1, 2023, doi: 10.1080/08839514.2023.2176607.
- [9] J. P. Sahoo, Allam Jaya Prakash, P. Pławiak, and S. Samantray, "Real-Time Hand Gesture Recognition Using," *Sensors - MDPI*, vol. 22, no. 706, pp. 820–824,

- 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22030706>.
- [10] B. C. Wibowo, F. Nugraha, and A. P. Utomo, "Uji Deteksi Objek Bentuk Bola Dengan Menerapkan Metode Circular Hough Transform," *J. Inform. Upgris*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.26877/jiu.v7i1.8309.
- [11] H. Rahmannuri, "Pengaruh Perbedaan Intensitas Pencahayaan Terhadap Identifikasi Objek Gerak," *J. Sist. Inf. dan Bisnis Cerdas*, vol. 12, no. 2, pp. 109–116, 2019, doi: 10.33005/sibc.v12i2.1569.
- [12] M. Ozkahraman, C. Yilmaz, and H. Livatyali, "Design and validation of a camera-based safety system for fenceless robotic work cells," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 24, 2021, doi: 10.3390/app112411679.