

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Pengujian Antar Modul

Dalam sub-bab ini, akan membahas mengenai pengujian yang dilakukan pada masing-masing modul utama dalam sistem *Polearm* yang telah dirancang, dengan mencakupi beberapa aspek utama yaitu aspek sistem mekanik, elektrik, dan informatik. Setiap pengujian dilakukan secara terpisah sehingga dapat memastikan setiap komponen dalam sistem mampu berfungsi dengan baik dan optimal.

IV.1.1 Pengujian sistem Mekanik

a) Pengujian Efektivitas Kalibrasi Awal Kecepatan Motor Stepper

Dalam proses pengujian untuk proses sistem kalibrasi awal untuk kecepatan, dengan menggunakan motor stepper NEMA 23 yang dikendalikan menggunakan driver TB6600. Proses kalibrasi ini bertujuan untuk menentukan berapa jumlah langkah (step) yang dibutuhkan motor untuk dapat memberikan gerakan secara presisi sejauh 1 cm. Proses pengujian terdiri atas beberapa parameter penting yang dibutuhkan sebagai bahan dalam perhitungan. Berikut merupakan uraian detail dari proses perhitungan step motor:

A. Total Step/Putaran (step/rev):

Jumlah langkah yang dimiliki oleh motor setiap satu putaran, yang dihitung berdasarkan dari spesifikasi motor dan konfigurasi dari *microstepping* yang digunakan. Sehingga dalam hal ini didapat:

$$\text{Step/rev} = \text{Motor steps/rev} \times \text{Microstep} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\text{Step/rev} = 200 \times 16 = 3200 \text{ steps} \dots\dots\dots(4.2)$$

B. Jarak Per putaran (mm/rev):

Diketahui pitch *leadscrew* yang digunakan sebesar **1,5 mm**, yang menandakan bahwa dalam sebanyak satu putaran penuh *leadscrew* akan memberikan hasil gerakan linear sebesar **1,5 mm**.

C. Step Per mm (step/mm):

Sehingga berdasarkan hasil perhitungan bagian A dan B, didapatkan bahwa jumlah langkah yang dibutuhkan untuk setiap milimeter pergerakan linear dapat ditentukan dengan:

$$\text{Step/mm} = \frac{200 \times 16}{1.5} = 2133.33 \text{ steps/mm} \dots\dots\dots(4.3)$$

D. Step per cm (step/cm):

Untuk mendapatkan jumlah langkah yang dibutuhkan oleh sistem agar mampu bergerak sejauh 1 cm atau 10 mm, dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Step per cm: } 2133.33 \times 10 = 21333 \text{ steps/cm} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dapat disimpulkan, berdasarkan hasil perhitungan tersebut bahwa ketika setiap sistem akan melakukan pergerakan linear sejauh 1 cm, maka membutuhkan pergerakan motor sebanyak pergerakan sebanyak 21333 steps/cm. Sehingga nilai step tersebut, menjadi acuan dalam pengujian kecepatan motor pada tahap selanjutnya.

b) Pengujian Kalibrasi Kecepatan Stepper

Setelah mendapatkan hasil perhitungan karakteristik motor stepper NEMA 23 yang digunakan, maka tahap selanjutnya adalah menentukan kecepatan yang ideal dengan tujuan robot *Polearm* dapat berjalan dengan stabil dan sesuai dengan kebutuhan yang ditentukan. Proses pengujian dilakukan sebanyak sembilan kali dengan kombinasi tiga parameter berbeda, yaitu *move speed*, *set speed*, dan *set acceleration*. Berikut ini merupakan hasil pengujian kalibrasi kecepatan dari motor stepper NEMA 23:

Tabel IV. 1 Kalibrasi Stepper

Kalibrasi Kecepatan Stepper				
Move Speed	Set Speed	Set Acceleration	Hasil	Keterangan
3000	8000	3000	cukup stabil	motor bergerak lambat dengan gerakan yang cukup stabil
4000	8000	3000	cukup stabil	motor bergerak cukup stabil ketika naik dan turun, hanya sedikit tidak stabil pada titik atas menuju limit switch atas
5000	8000	3000	sedikit bergetar	motor bergerak cukup cepat, dengan kondisi sedikit getaran di titik akhir menuju limit switch atas

Pada Tabel IV.1 dilakukan kalibrasi kecepatan dengan menetapkan nilai *Set speed* sebesar 8000 dan nilai *set acceleration* sebesar 3000. Hasil yang didapat menunjukkan sistem memiliki performa yang cukup baik terutama pada nilai *move speed* 3000-4000. Sedangkan pada nilai *move speed* 5000, hasil yang didapat menunjukkan geteran saat mendekati batas atas, sehingga menandakan sistem mulai mencapai batas stabilitas.

Tabel IV. 2 Kalibrasi Stepper

Kalibrasi Kecepatan Stepper				
Move Speed	Set Speed	Set Acceleration	Hasil	Keterangan
3000	10000	5000	Stabil	Motor cukup bergerak stabil, dengan pergerakan yang halus untuk leadscrew namun sedikit ada noise
4000	10000	5000	sedikit bergetar	Motor bergerak lebih cepat, namun mengalami banyak noise getaran yang mengakibatkan bracket camera tidak stabil
5000	10000	5000	bergetar	Motor dapat bergerak sangat cepat menuju set point selanjutnya, namun pergerakan disertai getaran yang menjadikannya tidak berjalan dengan baik.

Percobaan kedua yang dilakukan pada Tabel IV.2 menunjukkan hasil motor mulai mengalami ketidakstabilan dalam sistem gerak. Dengan penggunaan nilai *set speed* 10000, *set acceleration* 5000 dan nilai *move speed* 3000, menyebabkan hasil gerak mengalami geteran dan *noise*. Sehingga hal ini dapat mempengaruhi akurasi deteksi kamera, karena geteran tersebut dapat mempengaruhi bracket kamera. Dari hasil keseluruhan pengujian kalibrasi kecepatan yang sudah dilakukan, dengan konfigurasi nilai *move speed* yang tetap yaitu sebesar 3000, 4000, dan 5000. Menunjukkan sistem gerak mampu bekerja dengan stabil dengan menggunakan nilai *set speed* 8000 dan nilai *set acceleration* 3000, nilai tersebut merupakan yang paling optimal. Sehingga sistem dapat bergerak dengan halus dan minim *noise*, hal ini dianggap cocok untuk digunakan oleh sistem gerak *Polearm* yang tentunya membutuhkan pergerakan vertikal yang presisi untuk proses pemindaian barcode pada buku di perpustakaan.

IV.1.2 Pengujian Sistem Elektrik

A. Pengujian Sensor Limit Switch

Untuk memastikan sistem gerak *Polearm* yang sudah terintegrasi dengan sensor *limit switch*, dapat berhenti secara otomatis ketika sudah mencapai batas gerak. Maka dilakukan pengujian terhadap dua *limit switch* yang terpasang pada *Polearm* di bagian atas dan bawah, dengan tujuan untuk memverifikasi bahwa *Polearm* akan berhenti total ketika *limit switch* aktif. Hasil pengujian ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel IV. 3 Pengujian *Limit Switch*

No	Jenis Pengujian	Langkah Uji	Kondisi Normal	Hasil yang diharapkan	Status
1	<i>Limit Switch Atas</i>	Jalankan <i>Polearm</i> hingga menyentuh <i>limit switch</i> atas	Motor akan menggerakkan <i>Polearm</i> ke atas, kemudian <i>limit switch</i> akan tertutup	<i>Polearm</i> akan berhenti total di batas atas	Berhasil (✓)
2	<i>Limit Switch Bawah</i>	Jalan <i>Polearm</i> hingga menyentuh <i>limit switch</i> bawah	Motor akan menggerakkan <i>Polearm</i> ke bawah, kemudian <i>limit switch</i> akan tertutup	<i>Polearm</i> akan berhenti total di batas bawah	Berhasil (✓)

Dari hasil pengujian sensor *limit switch* pada Tabel IV.3 menunjukkan bahwa, sistem berhasil berhenti tepat ketika *Polearm* menyentuh *limit switch* batas atas dan batas bawah, sehingga dapat disimpulkan bahwa fungsi pembatas gerak menggunakan sensor *limit switch* dapat bekerja dengan baik dan akurat, sehingga mampu mencegah tabrakan mekanis.

B. Pengujian Emergency Button

Pengujian tombol *emergency stop* dilakukan dengan tujuan untuk, memastikan bahwa sistem *Polearm* dapat segera berhenti dalam kondisi darurat, serta sistem *Polearm* dapat kembali diaktifkan setelah tombol *emergency* di *release* atau dilepas. Berikut merupakan hasil pengujian dari *emergency stop*:

Tabel IV. 4 Pengujian EMG Button

No	Jenis Pengujian	Langkah Uji	Kondisi Normal	Hasil yang diharapkan	Status
1	<i>Emergency stop</i> ditekan ketika <i>Polearm</i> bergerak	Menjalankan <i>Polearm</i> , lalu menekan <i>emergency stop</i>	<i>Polearm</i> sedang bergerak	<i>Polearm</i> akan berhenti total	Berhasil (✓)
2	<i>Emergency stop</i> , di <i>release</i>	Setelah <i>emergency</i> ditekan, <i>button emergency</i> Kembali di <i>release</i>	<i>Emergency</i> sudah tidak ditekan	<i>Polearm</i> akan bergerak menuju titik nol dan akan Kembali aktif jika sistem dinyalakan kembali	Berhasil (✓)

Hasil yang didapat dari pengujian *emergency stop* pada Tabel IV.4 menunjukkan, sistem gerak *Polearm* dapat berhenti secara langsung ketika tombol *emergency stop* ditekan. Kemudian setelah tombol dilepas, sistem gerak dapat kembali ke titik nol *Polearm* dan akan mulai bergerak ketika sistem dinyalakan kembali. Sehingga hal ini, menunjukkan bahwa fungsi darurat dapat bekerja secara responsif dan dapat memastikan keselamatan dalam sistem operasi.

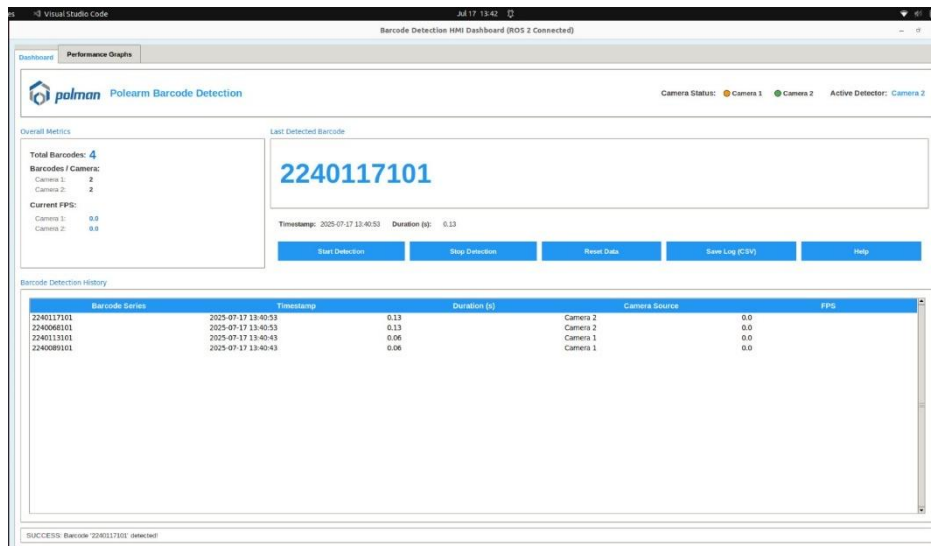
Maka dari hasil pengujian sistem elektrik yang terdiri atas sensor *limit switch* dan *button emergency* dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem elektrik untuk keduanya dapat berfungsi dengan baik dan dapat digunakan dalam sistem gerak *Polearm*. Penggunaan sensor *limit switch* dan *emergency button* merupakan bagian yang penting dalam sistem gerak dan kontrol pada *Polearm*.

IV.1.3 Pengujian Sistem Informatik (Perangkat Lunak)

Pengujian modul informatik dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi, memproses, dan menampilkan hasil pembacaan barcode menggunakan *PoleArm* secara *real-time*. Hasil pembacaan barcode tersebut akan tampil melalui tampilan grafis yang dapat mempermudah *user* dalam proses penggunaannya. Tujuan dari pengujian ini untuk memastikan bahwa data hasil pembacaan barcode dari kamera dapat terlihat dengan jelas, ditampilkan secara cepat, serta memperlihatkan respons sistem yang sesuai, baik dalam keadaan barcode terdeteksi tunggal ataupun dalam kondisi multi barcode.

A. Sistem Monitoring Deteksi Barcode

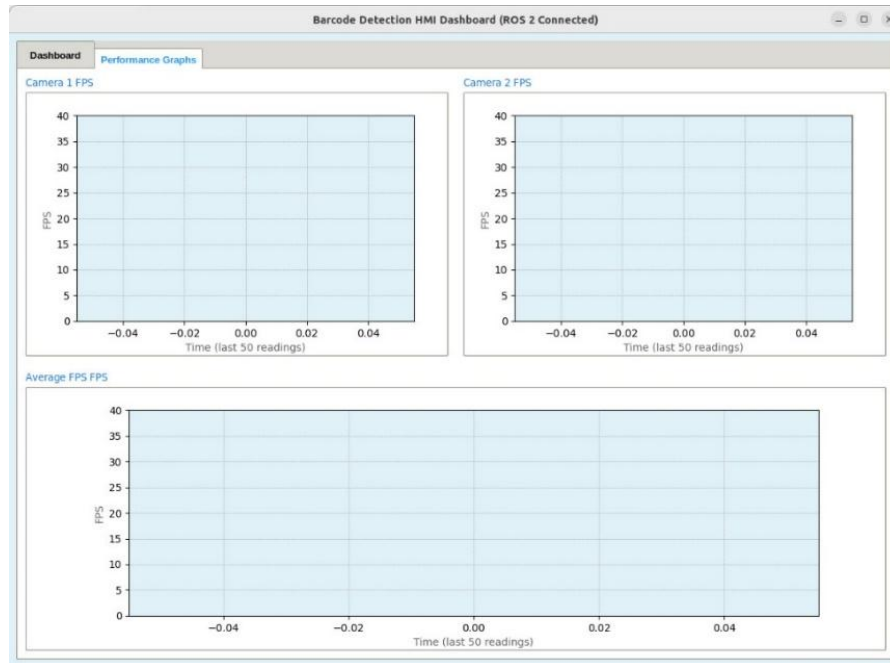
Sistem monitoring deteksi barcode merupakan salah satu hal yang sangat penting, dimana sistem ini berfungsi untuk memungkinkan pengguna dapat mengoperasikan sistem secara efisien. Dalam Tugas Akhir ini telah dikembangkan tampilan *interface* berbasis python yang dapat diakses dalam PC.



Gambar IV. 1 Pengujian *Dashboard Polearm*

Pada Gambar IV.1 ditunjukkan proses pengambilan data menggunakan dua jenis kamera webcam yang berbeda. Hasil deteksi barcode secara otomatis ditampilkan pada tabel di *interface*, yang memuat informasi seperti nomor seri barcode yang terbaca, durasi pembacaan, perangkat kamera yang digunakan, serta nilai FPS saat proses deteksi berlangsung.

Selain data pada tabel, *interface* juga menampilkan informasi tambahan seperti FPS terkini dari masing-masing kamera yang digunakan dalam sistem deteksi *Polearm*, jumlah barcode yang berhasil dibaca oleh setiap kamera, total barcode yang telah terdeteksi oleh seluruh kamera, serta barcode terakhir yang terbaca oleh sistem. Secara khusus, informasi FPS yang dihasilkan setiap kamera setelah proses pembacaan selesai juga divisualisasikan dalam bentuk grafik pada *interface*. Grafik ini berfungsi untuk memberikan gambaran secara *real-time* mengenai kamera mana yang memiliki performa terbaik dalam membaca barcode buku di perpustakaan.



Gambar IV. 2 Output Grafik FPS pada tampilan *dashboard Polearm*

Keseluruhan hasil deteksi dapat disimpan dalam bentuk csv, sehingga pengguna dapat menekan tombol “*save log csv*” dan menjadikan hasil akhir akan langsung muncul pada *folder* yang dituju untuk disimpan.

Berikut tabel pengujian *dashboard Polearm* terdapat pada Tabel IV.5:

Tabel IV. 5 Pengujian Dashboard Polearm

Fitur	Input/Output	Informasi	Hasil Pengujian			
			1	2	3	4
<i>Overall Metrics</i>	Output	Jumlah barcode yang terbaca oleh sistem, Output FPS setiap Kamera	√	√	√	√
<i>Start Button</i>	Input	Memulai proses deteksi dan logging	√	√	√	√
<i>Stop button</i>	Input	Memberhentikan proses dan sistem	√	√	√	√

Fitur	Input/Output	Informasi	Hasil Pengujian			
			1	2	3	4
<i>Reset Button</i>	Input	Menghapus hasil deteksi yang sudah ada sebelumnya	√	√	√	√
<i>Tabel History</i>	Output	Menampilkan nomor seri, FPS, dan durasi pembacaan deteksi setiap kamera	√	√	√	√
<i>Save Log CSV Button</i>	Input	Menyimpan hasil deteksi dalam bentuk CSV, kemudian hasil akan tersimpan langsung didalam folder yang sudah ditentukan sebelumnya	√	√	√	√
<i>Display Output Last Detection</i>	Output	Menampilkan barcode yang terakhir terbaca oleh sistem deteksi <i>Polearm</i>	√	√	√	√
<i>Help Button</i>	Input	Memberikan Informasi kepada pengguna / user baru untuk mengetahui fungsi dari UI	√	√	√	√
Grafik Button	Input	Menampilkan grafik FPS dari setiap kamera yang digunakan oleh <i>Polearm</i>	√	√	√	√

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan sebanyak empat kali pada fitur yang ditampilkan pada Tabel IV.5, seluruh button yang ditampilkan pada *dashboad Polearm* dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang telah ditentukan. *Button* input yang terdiri dari *start*, *stop*, *reset* dan *save* dapat berfungsi dengan stabil dan memberikan respons yang tepat terhadap perintah dari *user*. Sehingga ketika proses mulai deteksi, proses memberhentikan sistem, serta proses menghapus atau menyimpan data dari hasil pembacaan barcode dapat berfungsi

dengan tepat dan cepat. Selain itu, pada fitur *Display Output Last Detection* dan *Tabel History* mampu menampilkan hasil pembacaan barcode secara *real-time*, termasuk informasi nomor seri, FPS, dan durasi pembacaan dari masing-masing kamera. Fitur Grafik juga berhasil menampilkan grafik perbandingan FPS antar kamera, membantu visualisasi performa sistem secara langsung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar fitur dapat dijalankan secara konsisten, terutama pada fungsi-fungsi utama yang mendukung proses deteksi barcode.

IV.2 Hasil Pengujian Alat

Berikut ini merupakan beberapa parameter yang telah di uji untuk mengetahui performa dan kemampuan dari sensor serta sistem vision yang telah diintegrasikan.

IV.2.1 Hasil Perbandingan Deteksi dengan Polearm dan Manual

Pada bagian pengujian ini, dilakukan proses pengujian dengan menggunakan dua alat deteksi yang berbeda yaitu, menggunakan sistem deteksi *Polearm* yang berbasis camera dengan integrasi sistem *Open CV* dan menggunakan sistem deteksi manual menggunakan *gun laser detection*. Dalam pengujian ini bertujuan untuk membandingkan kecepatan dan efisiensi deteksi barcode antara sistem *PoleArm* berbasis kamera terintegrasi *OpenCV* yang mampu membaca multi-target barcode dalam satu *frame* dengan metode manual menggunakan *gun laser* yang hanya mampu membaca *single-target* barcode. Selain itu pengujian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa penggunaan *Polearm* mampu mempercepat proses deteksi buku di perpustakaan, khususnya dalam kondisi seluruh buku dalam perpustakaan diharuskan terdeteksi dalam jumlah yang banyak.

Tabel IV. 6 Hasil Percobaan Deteksi Manual dan Otomatis

Sistem	Waktu Percobaan (s)	Rata-Rata Waktu Percobaan (s)	Banyak Buku dalam Satu Frame	Catatan
Robot <i>Polearm</i> Pendeteksi Barcode	0.03	0.036	6 buku	Deteksi otomatis multi-target
	0.04			
	0.04			
<i>Gun Laser</i>	0.1	0.1	1 buku	Deteksi manual single-target
	0.09			
	0.11			

Pada proses pengujian yang tertera pada Tabel IV.6 menjelaskan bahwa proses pengujian *Polearm* dilakukan dengan dua metode deteksi yang berbeda. Dimana dalam prosesnya deteksi menggunakan sistem otomatis dapat langsung memuat buku sebanyak enam buku dalam satu frame deteksi, sedangkan dalam proses deteksi manual menggunakan *gun laser* hanya dapat memuat satu buku dalam satu kali proses deteksi. Percobaan ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing metode baik sistem deteksi otomatis ataupun manual, parameter yang diukur dalam proses percobaan ini adalah waktu pembacaan yang dinyatakan pada Tabel IV.6 dalam satuan deteksi, kemudian hasilnya dicatat dalam tabel dengan memberikan nilai hasil rata-rata dari tiga kali percobaan.

Hasil analisa yang didapat dari tabel IV.6 menyatakan bahwa sistem deteksi menggunakan *Polearm* memiliki waktu pembacaan 0,036 detik untuk satu kali proses deteksi yang terdiri atas enam buku, dengan selisih antar percobaan sebesar 0,03 sampai dengan 0,04 detik, dengan perbedaan waktu hanya sebesar 0,01 detik, hal ini menunjukkan nilai *error rate* yang kecil dan memiliki konsistensi yang tinggi. Sedangkan pada percobaan menggunakan *gun laser* sebagai media deteksi yang digunakan dalam penelitian deteksi barcode ini, memiliki hasil analisa seperti deteksi buku hanya dapat digunakan pada buku dengan jumlah yang terbatas, karena pengguna hanya dapat mendeteksi barcode pada buku di perpustakaan satu-satu, maka yang perbedaan waktu pembacaan deteksi barcode didapat dalam proses deteksi sebesar 0,01 detik, dengan waktu pembacaan yang akan terus meningkat setiap melakukan percobaan, hal ini menunjukkan sistem lebih lambat dan membutuhkan proses deteksi buku secara satu-satu untuk seluruh perpustakaan.

Sehingga hasil kesimpulan yang di dapatkan dari pengujian ini membuktikan bahwa *Polearm* memiliki keunggulan lebih efisien dalam sistem deteksi dibandingkan manual menggunakan sistem *gun laser*. Selain itu *Polearm* memiliki kecepatan dan stabilitas yang tinggi dalam memproses multi-target deteksi.

IV.2.2 Hasil Deteksi Barcode Berdasarkan jarak yang berbeda

Dalam proses pengujian akurasi deteksi barcode berdasarkan variasi jarak yang berbeda antara kamera dan barcode merupakan langkah krusial dalam proses kinerja sistem deteksi. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jarak

pembacaan kamera yang optimal dalam mendeteksi barcode yang terletak pada bagian punggung buku di rak perpustakaan. Pada proses pengujian ini, kamera akan diuji melalui empat variabel jarak berbeda yaitu jarak 15 cm, jarak 20 cm, jarak 25 cm, dan jarak 30 cm. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan tujuan untuk memastikan konsistensi dan ketepatan pembacaan barcode. Setelah didapatkan data hasil pengujian, selanjutnya akan dilakukan perhitungan nilai presentasi akurasi pendeteksian. Tujuannya agar mengetahui pada jarak berapa kamera dapat membaca barcode dengan optimal. Hasilnya dapat dihitung menggunakan perhitungan dibawah ini:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah Barcode Terbaca}}{\text{Total Barcode diuji}} \times 100 \dots\dots\dots(4.5)$$

Berikut adalah hasil pengujian deteksi barcode dengan menggunakan jarak yang bervariasi:

Tabel IV. 7 Pengujian Deteksi Barcode Webcam Logitech C270

Camera 1 (Webcam Logitech C270)													
No	Nomor Seri	Jarak Pendeteksian Kamera Terhadap Barcode											
		Percoba 1				Percoba 2				Percoba 3			
		15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
1	2240089101	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓
	2240111101	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
	2240108101	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
2	2240113101	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
	2240141101	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗
	2240068101	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
3	224010010	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓
	2240117101	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2240110101	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗

Berikut didapatkan nilai rata-rata jarak optimal serta akurasi dari hasil pembacaan barcode menggunakan kamera Webcam Logitech C270:

Camera 2 (Webcam Logitech BRIO 4K)													
No	Nomor Seri	Jarak Pendeteksian Kamera Terhadap Barcode											
		Percoba 1				Percoba 2				Percoba 3			
		15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
	2240117101	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
	2240110101	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓

Berikut didapatkan nilai rata-rata jarak optimal serta akurasi dari hasil pembacaan barcode menggunakan kamera Webcam Logitech BRIO 4K:

Tabel IV. 10 Rata-rata Jarak Optimal dan Akurasi Webcam BRIO 4K

NO	Jarak (cm)	Jumlah Barcode Terbaca	Jumlah Buku yang Tidak Terbaca	Presentasi Akurasi (%)
1	15 cm	12	15	44.4%
2	20 cm	25	2	92.6%
3	25 cm	26	1	96.3%
4	30 cm	25	1	92.6%
Total		88	2	81.5%

Dari hasil pengujian pada Tabel IV.10 menunjukkan bahwa kamera Logitech BRIO 4K memiliki performa deteksi barcode paling optimal pada jarak 20–30 cm, dengan akurasi di atas 90%. Jarak terbaik terdeteksi pada 25 cm dengan akurasi tertinggi 96.3%. Sebaliknya, jarak 15 cm memiliki akurasi terendah yaitu 44.4%, kemungkinan disebabkan oleh fokus kamera yang tidak optimal akibat posisi terlalu dekat, sehingga barcode tampak *blur* atau terpotong. Secara keseluruhan, sistem bekerja paling efektif pada jarak menengah yaitu jarak 20 cm – 30 cm dengan hasil deteksi yang stabil dan akurat.

Sehingga berdasarkan hasil pengujian kamera Logitech C270 dan Logitech BRIO 4K menunjukkan kemampuan membaca barcode yang baik, meskipun masing-masing memiliki fitur yang berbeda. Karena tidak memiliki fitur *autofocus* dan rentang fokus yang agak pendek, kamera Logitech C270 memiliki beberapa kelemahan. Akurasi pembacaannya hanya 74,1% pada jarak dekat 15 cm, meskipun meningkat hingga 90,7% pada jarak 25 cm, yang menjadi jarak terbaik untuk

kamera tersebut. Selain itu, kamera ini lebih sensitif terhadap pencahayaan dan lebih rentan terhadap gangguan suara, sehingga meningkatkan kualitas pembacaan. Sementara itu, kamera Logitech BRIO 4K menawarkan stabilitas dan kinerja yang lebih baik. Kamera ini memiliki resolusi tinggi dan fitur *autofocus* yang memungkinkan kualitas pembacaan tetap sama meskipun posisi barcode dan kondisi pencahayaan berbeda. Hasil ini menunjukkan bahwa BRIO 4K lebih unggul dalam hal fleksibilitas jarak dan kestabilan pembacaan, dengan akurasi terendah pada jarak 15 cm sebesar 44,8% namun, akurasi meningkat secara signifikan pada jarak 25 cm sebesar 96,3%, dan tetap stabil pada jarak 30 cm sebesar 95,1%. Kedua kamera dapat digunakan untuk sistem pembacaan barcode, tetapi Logitech BRIO 4K terbukti lebih baik untuk pengoperasian di perpustakaan, terutama pada jarak antara 25 dan 30 cm karena mampu memberikan kualitas pembacaan yang konsisten dan akurasi yang tinggi.

IV.2.3 Hasil Integrasi Sistem Pemindaian Multi-Vision

Pengujian integrasi sistem pemindaian multi-vision ini dilakukan dengan tujuan untuk menilai performa deteksi barcode secara menyeluruh menggunakan dua jenis kamera berbeda yaitu, Webcam Logitech C270 dan Webcam Logitech BRIO 4K. Dalam penggunaannya, kedua webcam dapat dioperasikan secara bersamaan ataupun bergantian satu per satu, sesuai dengan kebutuhan inventarisasi perpustakaan. Pengujian ini dirancang untuk memastikan akurasi deteksi barcode dalam berbagai kondisi yang beragam, seperti perbedaan jarak, jumlah barcode yang berhasil terdeteksi dengan akurat, dan variasi ketebalan buku yang beragam. Selain itu, dalam sistem pengujian ini juga memperhatikan mengenai aspek kecepatan pembacaan sistem identifikasi barcode, serta kemampuan sistem untuk mendeteksi dan membedakan lebih dari satu barcode (*multi-barcode recognition*) dalam satu frame.

a) Pengujian Webcam Logitech C270

Berikut adalah hasil dari pengujian deteksi multi-barcode, dengan menggunakan kamera webcam logitech C270:

Tabel IV. 11 Tabel Pengujian Multi Deteksi Barcode Webcam C270

Camera 1 (Webcam Logitech C270)			
Jumlah Buku Dalam Satu Frame	Semua Barcode Terbaca (ya / tidak)	Jumlah Barcode yang tidak terbaca	Waktu kecepatan pembacaan (second)
1	Ya	-	1,45 s
2	Ya	-	1,53 s
3	Ya	-	1,62 s

Dengan menguji barcode pada buku di perpustakaan menggunakan variable jumlah buku yang berbeda dalam satu *frame*, hal ini bertujuan untuk mengevaluasi performa dari kamera webcam Logitech C270 dalam memproses *multi detection* secara simultan dalam satu *frame*. Sehingga berdasarkan Tabel IV.11 didapatkan bahwa hasil pengujian dengan jumlah barcode bervariasi, yaitu dari satu barcode hingga tiga barcode dalam satu frame. Menunjukkan bahwa sistem vision mampu mendeteksi seluruh barcode secara lengkap dalam kondisi yang berbeda.

Hasil yang di dapat dari rata-rata waktu pembacaan yang juga diukur berdasarkan sistem deteksi menggunakan algoritma python. Bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat sistem melakukan deteksi terhadap seluruh barcode dalam satu frame. Hasilnya menunjukkan bahwa waktu pembacaan barcode menggunakan sistem vision cukup stabil meski kondisi jumlah deteksi barcode bertambah dalam satu frame.

Ketika kondisi barcode buku hanya ada satu dalam satu frame, maka waktu deteksi menunjukkan 1,45 detik, kemudian ketika bertambah menjadi dua barcode dalam satu frame waktu deteksi berubah menjadi 1,53 detik, dan yang terakhir dalam kondisi tiga barcode dalam satu frame memiliki hasil deteksi sebesar 1,62 detik. Melihat waktu pendeteksian yang terus bertambah, hal ini menunjukkan bahwa sistem memproses lebih banyak objek, sehingga dalam prosesnya sistem membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama, dengan demikian sistem deteksi dapat dijalankan secara *real-time* dan responsif.

b) Pengujian Webcam Logitech BRIO 4K

Berikut adalah hasil dari pengujian deteksi multi-barcode, dengan menggunakan kamera webcam logitech BRO 4K:

Tabel IV. 12 Pengujian Multi Deteksi Barcode Webcam Logitech BRIO

Camera 1 (Webcam Logitech BRIO 4K)			
Jumlah Buku Dalam Satu Frame	Semua Barcode Terbaca (ya / tidak)	Jumlah Barcode yang tidak terbaca	Waktu kecepatan pembacaan (second)
1	Ya	-	1,31 s
2	Ya	-	1,42 s
3	Ya	-	1,59 s

Berdasarkan Tabel IV.12 yang memuat hasil pengujian deteksi multi-barcode menggunakan webcam Logitech BRIO 4K, dapat diketahui bahwa sistem mampu mendeteksi seluruh barcode dalam kondisi satu frame dengan tingkat keberhasilan yang sangat tinggi. Pada setiap skenario jumlah objek baik satu, dua, maupun tiga barcode, kamera ini dapat membaca kode secara tepat tanpa adanya kegagalan deteksi. Konsistensi hasil ini membuktikan bahwa Logitech BRIO 4K memiliki kemampuan optik dan pemrosesan gambar yang mumpuni, sehingga sangat andal digunakan pada sistem pemindaian otomatis seperti *PoleArm*.

Dari aspek kecepatan, sistem performa yang ditunjukkan juga sangat efisien. Untuk mendeteksi satu barcode, rata-rata waktu yang dibutuhkan adalah sekitar 1,31 detik. Saat jumlah barcode meningkat menjadi dua dalam satu frame, waktu deteksi hanya bertambah sedikit menjadi 1,42 detik, dan ketika jumlah barcode mencapai tiga, waktu yang diperlukan hanya 1,59 detik. Perbedaan waktu deteksi yang sangat kecil di antara berbagai jumlah objek ini menunjukkan bahwa proses pengolahan citra yang dilakukan sistem berjalan stabil tanpa penurunan performa yang signifikan. Hal ini menandakan bahwa algoritma pemrosesan berbasis OpenCV dan Pyzbar yang digunakan mampu menangani input multi-objek dengan baik, serta meminimalkan beban tambahan pada komputasi meskipun jumlah barcode bertambah.

Keunggulan ini memberikan manfaat nyata pada konteks operasional di perpustakaan. Dengan kemampuan membaca beberapa barcode secara bersamaan dalam waktu yang hampir sama dengan deteksi tunggal, proses identifikasi buku dapat berlangsung jauh lebih cepat dibandingkan metode manual yang memerlukan pemindaian satu per satu. Selain itu, stabilitas kinerja pada berbagai skenario menunjukkan bahwa sistem akan tetap andal meskipun dihadapkan pada kondisi kerja yang dinamis, seperti variasi jumlah buku dalam frame atau perubahan posisi barcode.

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa Logitech BRIO 4K tidak hanya unggul dalam kualitas visual, tetapi juga memiliki kecepatan dan konsistensi deteksi yang mendukung kinerja sistem PoleArm dalam mencapai tujuannya memindai barcode buku secara cepat, akurat, dan efektif di lingkungan perpustakaan dengan kebutuhan inventarisasi yang tinggi.

Berdasarkan perbandingan dengan kamera yang digunakan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kedua sistem sama-sama mampu mendeteksi barcode dengan baik dan membaca seluruh kode secara lengkap, meskipun berada pada kondisi yang berbeda. Meskipun, waktu pembacaan sedikit terus bertambah seiring bertambahnya jumlah barcode dalam satu frame. Namun, peningkatan ini tergolong sangat kecil dan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap performa keseluruhan, sehingga proses deteksi tetap stabil, optimal, dan efisien untuk penggunaan di lapangan.