

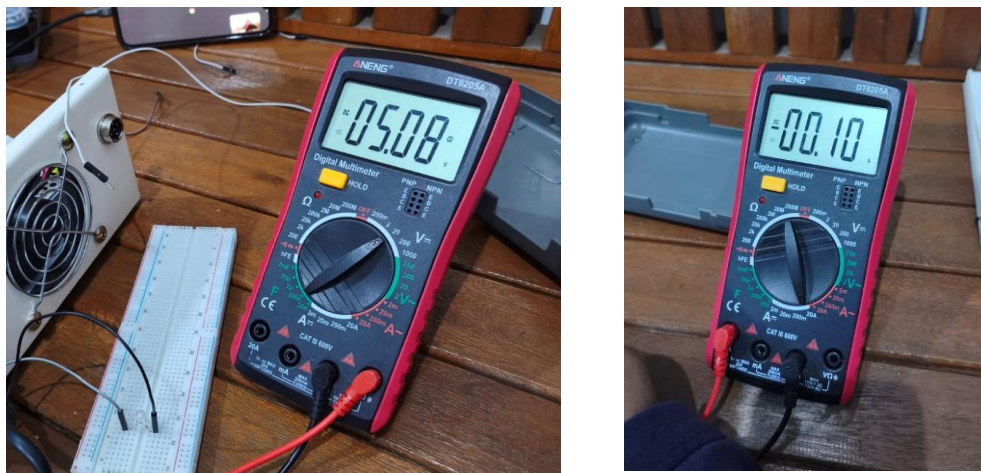
## BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

### 4.1 Pengujian Komponen

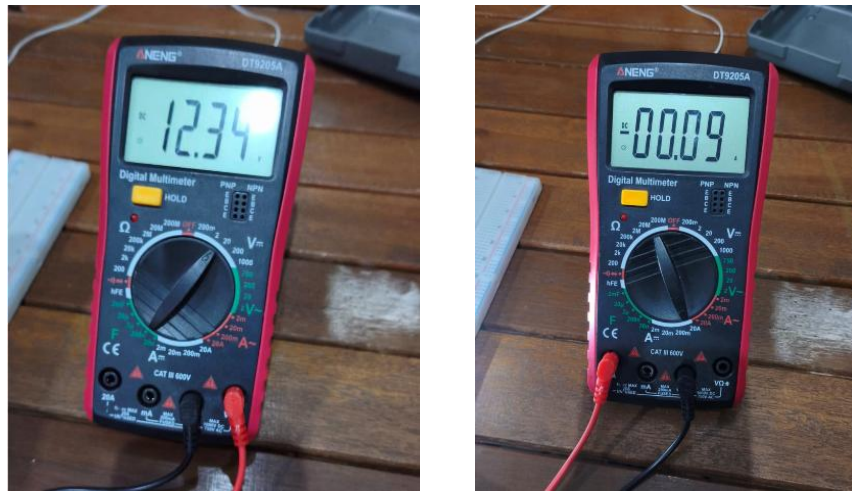
Pengujian komponen dilakukan untuk memastikan bahwa komponen yang digunakan dapat beroperasi secara baik dan akurat, sehingga dapat menghindari kesalahan komponen dalam sistem.

#### 4.1.1 Pengujian Catu Daya

Pengujian catu daya dilakukan, seperti pada Gambar 4.1 dan 4.2 untuk mengetahui kesesuaian tegangan keluaran dan arus yang digunakan oleh rangkaian. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital pada dua catu daya, yaitu catu daya 12 V dan 5 V. Berdasarkan hasil pengukuran, catu daya 12 V menghasilkan tegangan sebesar 12,34 V dengan arus yang terukur sebesar 0,09 A, sedangkan catu daya 5 V menghasilkan tegangan sebesar 5,08 V dengan arus sebesar 0,10 A.



**Gambar 4.1** Output PSU 5 Volt



Gambar 4.2 Output PSU 12 Volt

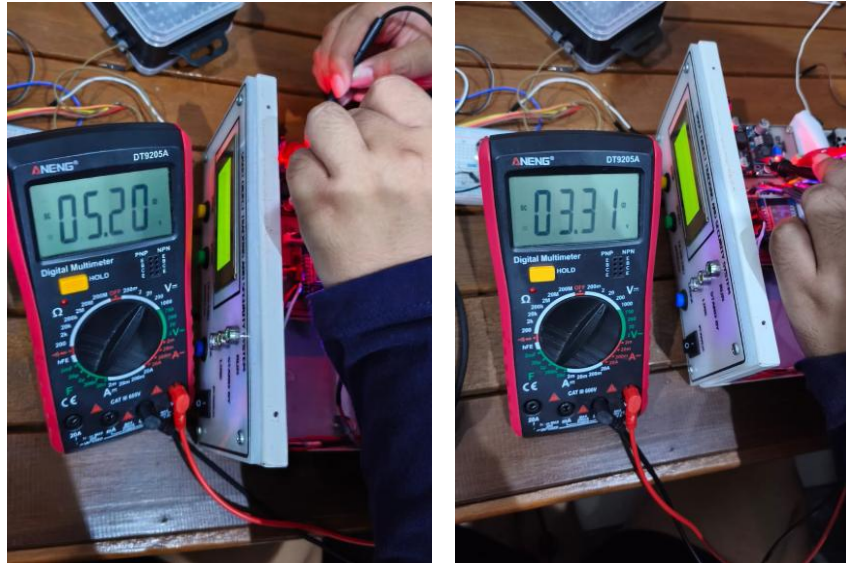
Hasil tersebut menunjukkan bahwa tegangan keluaran kedua catu daya mendekati nilai tegangan nominalnya. Selisih tegangan yang diperoleh masih relatif kecil, sehingga catu daya 12 V dan 5 V dapat digunakan untuk menyuplai kebutuhan daya pada rangkaian sistem.

Tabel 4.1 Pengujian Catu Daya

No.	Pengukuran	Tegangan Multimeter	Arus Multimeter
1	Output catu daya 12 V	12,34 V	0,09 A
2	Output catu daya 5 V	5,08 V	0,10 A

Berdasarkan Tabel 4.1, catu daya 12 V memiliki selisih tegangan sebesar 0,34 V dari nilai nominal, sedangkan catu daya 5 V memiliki selisih sebesar 0,08 V. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua catu daya dapat menghasilkan tegangan yang sesuai untuk mendukung pengoperasian komponen pada sistem.

#### 4.1.2 Pengujian Buck Converter LM2596



**Gambar 4.3** Pengujian Buck Converter LM2596

Pengujian modul *buck converter* LM2596 dilakukan seperti pada Gambar 4.3 untuk mengetahui kesesuaian tegangan keluaran setelah tegangan dari catu daya diturunkan. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital pada terminal keluaran masing-masing modul. Pada sistem ini, LM2596 diatur untuk menghasilkan dua tingkat tegangan, yaitu 5 V dan 3,3 V, sesuai dengan kebutuhan tegangan komponen elektronik.

Berdasarkan hasil pengukuran, keluaran *buck converter* yang diatur pada tegangan 5 V terbaca sebesar 5,20 V, sedangkan keluaran yang diatur pada tegangan 3,3 V terbaca sebesar 3,31 V. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa kedua modul mampu menurunkan tegangan dan menghasilkan keluaran yang mendekati nilai tegangan yang direncanakan.

**Tabel 4.2** Pengujian Buck Converter LM2596

No.	Pengukuran	Tegangan Diharapkan	yang Tegangan Multimeter
1	Output LM2596 5 V	5,00 V	5,20 V
2	Output LM2596 3,3 V	3,30 V	3,31 V

Berdasarkan Tabel 4.2, keluaran 5 V memiliki selisih sebesar 0,20 V, sedangkan keluaran 3,3 V memiliki selisih sebesar 0,01 V dari nilai yang

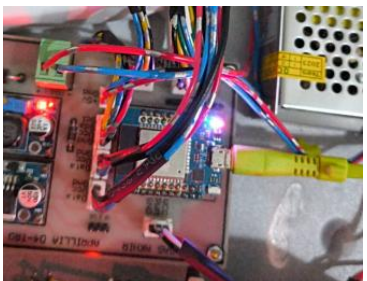
diharapkan. Selisih tersebut relatif kecil sehingga kedua modul LM2596 dapat digunakan untuk menyuplai komponen dengan kebutuhan tegangan 5 V dan 3,3 V pada sistem.

#### 4.1.3 Mikrokontroler ESP32 MINI – D1

Pengujian mikrokontroler ESP32 Mini D1 dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat dapat terhubung dengan komputer dan menerima program dari Arduino IDE. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan ESP32 Mini D1 melalui kabel USB, kemudian memilih jenis board dan port komunikasi yang sesuai pada Arduino IDE. Program selanjutnya dikompilasi dan diunggah ke mikrokontroler.

Berdasarkan hasil pengujian, proses kompilasi dan pengunggahan program dapat diselesaikan tanpa muncul pesan kesalahan. Keberhasilan tersebut menunjukkan bahwa komunikasi antara komputer dan ESP32 Mini D1 berjalan dengan baik serta mikrokontroler dapat menerima dan menyimpan program pada memori internalnya.

**Tabel 4.3** Pengujian Mikrokontroler ESP32 MINI – D1

No.	Gambar	Pengujian	Indikator Pengujian	Hasil
1		Koneksi ESP32 Mini D1 dengan Arduino IDE	Port mikrokontroler terdeteksi	Berhasil
2		Proses kompilasi program	Tidak terdapat pesan kesalahan	Berhasil
3		Proses pengunggahan program	Program berhasil diunggah ke mikrokontroler	Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.3, seluruh tahapan pengujian dapat dilakukan dengan baik. ESP32 Mini D1 berhasil terdeteksi pada Arduino IDE, program dapat dikompilasi, dan proses pengunggahan dapat diselesaikan. Hasil ini menunjukkan

bahwa mikrokontroler dapat digunakan sebagai pusat pengendali pada sistem yang dirancang.

#### 4.1.4 Pengujian Motor Servo TD8120MG

Pengujian motor servo dilakukan untuk menentukan nilai PWM yang sesuai dengan kebutuhan sudut gerak pada sumbu X dan sumbu Y. Pengujian dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan nilai PWM secara bertahap, kemudian mengamati perubahan sudut motor servo dari posisi tengah atau posisi netral. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan nilai PWM memengaruhi arah dan besar sudut pergerakan motor servo.

Pada motor servo sumbu Y, rentang PWM yang digunakan pada sistem adalah 4001–5700. Rentang tersebut menghasilkan pergerakan sebesar 20° pada masing-masing arah dari posisi tengah, sehingga total jangkauan gerakannya adalah 40°. Hasil pengujian motor servo sumbu Y ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Pengujian Motor Servo TD8120MG Sumbu Y

No.	PWM Arah Positif	Sudut Arah Positif	PWM Arah Negatif	Sudut Arah Negatif	Total Sudut Gerak
1	3801	+30°	5900	-30°	60°
2	3901	+25°	5800	-25°	50°
3	<b>4001</b>	<b>+20°</b>	<b>5700</b>	<b>-20°</b>	<b>40°</b>
4	4101	+15°	5600	-15°	30°
5	4201	+10°	5500	-10°	20°

Pada motor servo sumbu X, rentang PWM yang digunakan adalah 3001–6500. Nilai tersebut menghasilkan gerakan sebesar 50° pada masing-masing arah dari posisi tengah, sehingga total jangkauan pergerakan motor servo sumbu X adalah 100°. Hasil pengujian motor servo sumbu X ditunjukkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Pengujian Motor Servo TD8120MG Sumbu X

No.	PWM Arah Positif	Sudut Arah Positif	PWM Arah Negatif	Sudut Arah Negatif	Total Sudut Gerak
1	2801	+40°	6700	-40°	80°
2	2901	+45°	6600	-45°	90°
3	<b>3001</b>	<b>+50°</b>	<b>6500</b>	<b>-50°</b>	<b>100°</b>

4	3101	+55°	6400	-55°	110°
5	3201	+60°	6300	-60°	120°

Berdasarkan hasil pengujian, perubahan sekitar 100 satuan PWM pada rentang yang diuji menghasilkan perubahan sudut kurang lebih 5°. Nilai PWM 3001–6500 dipilih untuk motor servo sumbu X karena menghasilkan jangkauan gerak 100°, sedangkan nilai PWM 4001–5700 dipilih untuk motor servo sumbu Y karena menghasilkan jangkauan gerak 40°. Nilai tersebut telah sesuai dengan kebutuhan pergerakan sistem dan digunakan sebagai batas pengendalian motor servo pada program ESP32.

#### 4.1.5 Pengujian Kamera Logitech C270

Pengujian kamera Logitech dilakukan seperti pada Gambar 4.4. untuk memastikan kamera dapat menangkap citra dan mengirimkannya ke aplikasi Delphi secara *real-time*. Kamera dihubungkan ke komputer melalui koneksi USB, kemudian aplikasi deteksi dijalankan untuk menampilkan citra pada antarmuka. Objek berwarna biru ditempatkan di depan kamera sebagai target pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian, citra dari kamera dapat ditampilkan dengan baik dan objek berwarna biru berhasil terdeteksi oleh sistem. Objek yang terdeteksi ditandai dengan tanda bidik berwarna hijau, sedangkan koordinat posisi objek pada sumbu X dan Y ditampilkan pada antarmuka aplikasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kamera Logitech dapat digunakan sebagai perangkat masukan citra pada sistem deteksi dan pelacakan objek.



**Gambar 4.4** Pengujian Kamera Logitech C270

**Tabel 4.6** Hasil Pengujian Kamera Logitech C270

No.	Pengujian	Indikator Pengujian	Hasil
1	Koneksi kamera dengan komputer	Kamera terdeteksi melalui USB	Berhasil
2	Penampilan citra kamera	Citra tampil pada aplikasi Delphi	Berhasil
3	Deteksi objek berwarna biru	Objek ditandai dengan tanda bidik	Berhasil
4	Pembacaan koordinat objek	Nilai koordinat X dan Y ditampilkan	Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.6, seluruh tahapan pengujian kamera dapat berjalan dengan baik. Kamera berhasil menampilkan citra secara langsung, mendukung proses deteksi warna biru, dan menghasilkan informasi posisi objek yang selanjutnya digunakan dalam proses pengendalian motor servo.


#### 4.1.6 Pengujian Laser Module

Pengujian modul laser dilakukan untuk mengetahui jangkauan pancaran laser dalam mengenai target serta pengaruh nilai PWM terhadap tingkat keluaran laser.

Pengujian jarak dilakukan menggunakan dua jenis target, yaitu kertas dan balon berwarna biru tua. Laser diarahkan secara langsung pada target dengan beberapa variasi jarak, kemudian diamati apakah pancaran laser masih dapat mengenai target dengan jelas.


Berdasarkan hasil pengujian, laser dapat mengenai target kertas hingga jarak 90 cm, sedangkan pada jarak 105 cm pancaran laser tidak dapat mengenai target dengan baik. Pancaran laser juga mulai melebar pada jarak sekitar 75 cm. Pada pengujian menggunakan balon biru tua, laser dapat mengenai target hingga jarak 115 cm, sedangkan pada jarak 120 cm laser tidak dapat mengenai target dengan baik.

**Tabel 4.7** Pengujian Jarak dengan Target Kertas

No.	Gambar	Jarak Target	Hasil
1		10 cm	Mengenai target
2		15 cm	Mengenai target
3		20 cm	Mengenai target
4		30 cm	Mengenai target
5		60 cm	Mengenai target
6		90 cm	Mengenai target
7		105 cm	Tidak mengenai target

Berdasarkan Tabel 4.7, pancaran laser dapat mengenai target kertas hingga jarak 90 cm. Pada jarak 105 cm, laser sudah tidak dapat mengenai target dengan baik. Pancaran laser juga mulai melebar ketika jarak pengujian mencapai sekitar 75 cm.

**Tabel 4.8** Pengujian Jarak dengan Target Balon

No.	Gambar	Jarak Target	Hasil
1		10 cm	Mengenai target
2		30 cm	Mengenai target
3		60 cm	Mengenai target
4		90 cm	Mengenai target
5		105 cm	Mengenai target
6		115 cm	Mengenai target
7		120 cm	Tidak mengenai target

Berdasarkan Tabel 4.8, laser dapat mengenai target balon biru tua hingga jarak 115 cm. Pada jarak 120 cm, laser tidak lagi dapat mengenai target dengan baik. Dengan demikian, jarak maksimum pengujian pada target balon lebih besar dibandingkan target kertas.

Pengujian PWM dilakukan menggunakan rentang nilai 0–255. Nilai tersebut dikonversi menjadi persentase *duty cycle* untuk menunjukkan tingkat pengaturan keluaran laser. Persentase PWM dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Duty Cycle} = \frac{\text{Nilai PWM}}{255} \times 100\% \quad (4.1)$$

**Tabel 4.9** Pengujian PWM Mosul Laser

No.	Nilai PWM	Persentase <i>Duty Cycle</i>	Kondisi Laser
1	0	0%	Tidak aktif
2	51	20%	Keluaran sangat rendah
3	102	40%	Keluaran rendah
4	153	60%	Keluaran sedang
5	204	80%	Keluaran tinggi
6	255	100%	Keluaran maksimum

Berdasarkan pengujian tersebut, semakin besar nilai PWM yang diberikan, semakin besar persentase *duty cycle* dan keluaran laser yang dihasilkan, seperti pada Tabel 4.9. Nilai persentase pada tabel merupakan persentase sinyal PWM, bukan hasil pengukuran langsung terhadap daya optik laser.

## 4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem

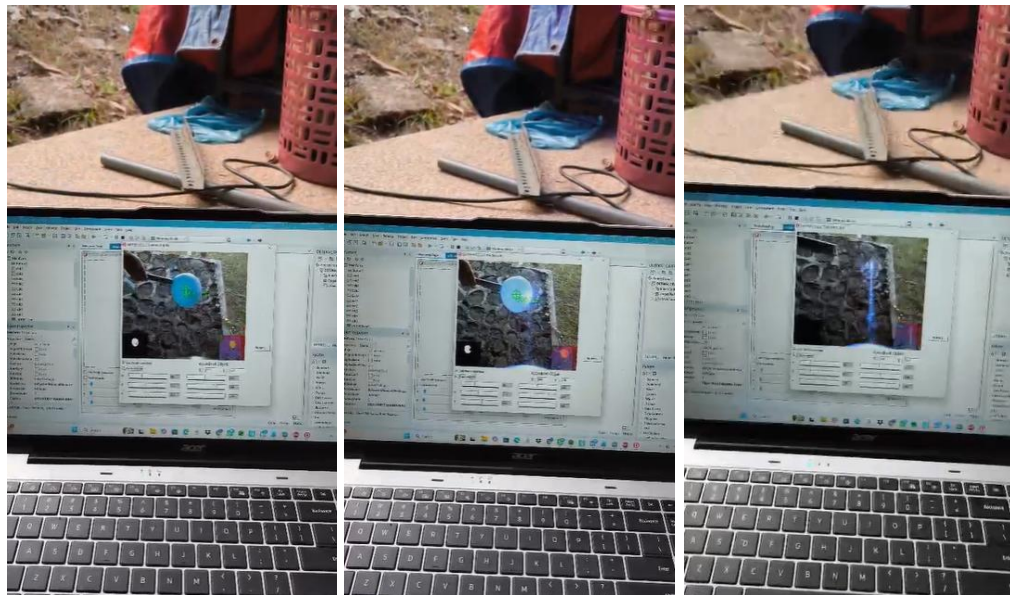
Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk memastikan seluruh bagian alat dapat bekerja secara terintegrasi, mulai dari proses pengambilan citra, deteksi objek, pengiriman data koordinat, pengendalian motor servo, hingga aktivasi modul laser. Pengujian menggunakan balon berwarna biru sebagai objek target. Balon digerakkan pada area pengamatan kamera untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi dan mengikuti perubahan posisi objek.

Pengujian dilakukan pada kondisi pencahayaan alami yang relatif stabil. Kamera Logitech C270 menangkap citra objek secara real-time, kemudian aplikasi Delphi melakukan segmentasi warna menggunakan ruang warna HSV. Apabila warna objek sesuai dengan rentang nilai yang telah ditentukan, aplikasi menghitung

koordinat titik tengah objek pada sumbu X dan Y. Data koordinat tersebut selanjutnya dikirimkan kepada ESP32 melalui komunikasi UDP untuk mengendalikan motor servo pada sumbu horizontal dan vertikal.

Pada tahap awal pengujian, balon digerakkan ke beberapa arah di dalam bidang pandang kamera. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi keberadaan balon dan menampilkan tanda bidik pada objek. Perubahan koordinat objek diikuti oleh pergerakan dua motor servo sehingga arah kamera dan modul laser menyesuaikan posisi target. Selama objek masih bergerak, modul laser tetap dalam kondisi tidak aktif.

Setelah objek dihentikan pada satu posisi, sistem mulai menghitung waktu diam objek. Objek dinyatakan diam apabila perubahan koordinatnya tidak melebihi batas toleransi gerakan sebesar 15 piksel. Apabila kondisi tersebut berlangsung selama 3 detik, ESP32 mengaktifkan modul laser dan mengarahkannya pada objek. Laser diatur aktif dengan durasi maksimum 3 detik. Ketika objek kembali digerakkan, perubahan koordinat terdeteksi oleh sistem sehingga perhitungan waktu diam diulang dan laser dinonaktifkan.



**Gambar 4.5** Pengujian Deteksi dan Pelacakan Balon Berwarna Biru



**Gambar 4.6** Aktivasi Laser saat Objek Terdeteksi Diam

**Tabel 4. 10** Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

No.	Kondisi Pengujian	Respons yang Diharapkan	Hasil Pengamatan	Status
1	Objek belum berada pada bidang pandang kamera	Sistem tidak mendeteksi target dan laser tidak aktif	Tanda bidik tidak muncul pada tampilan aplikasi dan laser tetap tidak aktif	Berhasil
2	Balon berwarna biru memasuki bidang pandang kamera	Kamera mendeteksi objek dan menampilkan koordinat target	Objek berhasil terdeteksi, tanda bidik muncul, serta koordinat X dan Y dapat dibaca	Berhasil
3	Balon digerakkan secara horizontal dan vertikal	Motor servo mengikuti perubahan posisi objek	Dudukan kamera dan modul laser bergerak mengikuti arah perpindahan target	Berhasil

4	Balon masih dalam kondisi bergerak	Laser tetap dalam kondisi tidak aktif	Laser tidak menyala selama perubahan posisi objek masih terdeteksi	Berhasil
5	Balon berhenti pada satu posisi selama 3 detik	Sistem mengaktifkan laser dan mengarahkannya menuju objek	Laser aktif setelah objek diam selama 3 detik dan mengenai bagian balon yang terdeteksi	Berhasil
6	Balon kembali digerakkan	Laser dinonaktifkan dan perhitungan waktu diam diulang	Laser berhenti bekerja setelah sistem mendeteksi perubahan posisi objek	Berhasil
7	Balon berada dalam kondisi diam dan terkena laser	Pancaran laser mengenai target sesuai arah hasil pelacakan	Laser mengenai balon dan balon dapat pecah pada pengujian yang dilakukan	Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.10, seluruh tahapan kerja sistem dapat dijalankan sesuai dengan urutan yang dirancang. Sistem mampu membedakan kondisi objek bergerak dan diam, sehingga aktivasi laser tidak hanya bergantung pada keberadaan objek, tetapi juga pada kestabilan posisi objek selama waktu yang telah ditentukan.

### 4.3 Analisis Data Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan, proses deteksi objek dapat berjalan ketika balon berwarna biru berada dalam rentang warna HSV yang telah ditentukan. Tanda bidik yang muncul pada tampilan aplikasi menunjukkan bahwa sistem berhasil memperoleh titik tengah objek. Nilai koordinat tersebut berubah mengikuti perpindahan balon dan digunakan sebagai data masukan untuk mengatur posisi motor servo.

Pergerakan motor servo pada sumbu X dan Y menunjukkan bahwa komunikasi antara aplikasi Delphi dan ESP32 dapat berlangsung dengan baik. Servo sumbu X digunakan untuk mengikuti perpindahan objek secara horizontal, sedangkan servo sumbu Y mengikuti perpindahan secara vertikal. Meskipun terdapat perubahan posisi target, modul laser tetap tidak aktif selama selisih koordinat objek masih melebihi batas toleransi gerakan. Kondisi ini menunjukkan bahwa perintah pelacakan dan perintah aktivasi laser telah dipisahkan dalam logika pengendalian sistem.

Batas gerakan sebesar 15 piksel digunakan untuk mengurangi pengaruh perubahan kecil pada hasil pembacaan citra. Perubahan koordinat dalam jumlah kecil dapat terjadi akibat getaran objek, perubahan pencahayaan, atau ketidakstabilan hasil segmentasi warna. Dengan adanya batas toleransi tersebut, sistem tidak langsung menganggap setiap perubahan kecil sebagai pergerakan target yang sebenarnya.

Waktu tunggu selama 3 detik berfungsi sebagai tahap verifikasi bahwa objek benar-benar berada dalam kondisi diam. Selama periode tersebut, laser tetap tidak aktif. Apabila objek bergerak sebelum waktu tunggu selesai, nilai koordinat berubah dan perhitungan waktu diam dimulai kembali. Mekanisme ini dapat mengurangi kemungkinan laser aktif ketika sistem masih melakukan proses pelacakan terhadap target yang bergerak.

Aktivasi laser setelah objek diam menunjukkan bahwa data hasil pengolahan citra telah diteruskan sampai pada bagian keluaran sistem. Pada pengujian menggunakan target balon, pancaran laser dapat diarahkan pada bagian objek yang terdeteksi. Balon yang pecah setelah terkena laser menunjukkan bahwa modul laser tidak hanya aktif secara elektrik, tetapi juga dapat mengenai target sesuai arah yang dihasilkan oleh pergerakan motor servo.

Ketika objek kembali bergerak, sistem mendeteksi perubahan koordinat dan menonaktifkan laser. Respons tersebut menunjukkan bahwa kondisi laser selalu diperbarui berdasarkan keadaan objek. Dengan demikian, laser tidak terus menyala ketika target sudah berpindah dari posisi sebelumnya. Pembatasan durasi laser

selama maksimum 3 detik juga digunakan untuk mencegah modul laser bekerja secara terus-menerus dalam satu siklus penembakan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa kamera, aplikasi pengolahan citra, komunikasi UDP, ESP32, motor servo, dan modul laser dapat bekerja sebagai satu kesatuan sistem. Sistem telah memenuhi fungsi utama, yaitu mendeteksi objek berwarna biru, mengikuti pergerakan objek, mempertahankan laser dalam kondisi tidak aktif ketika objek bergerak, serta mengaktifkan laser setelah objek berada dalam kondisi diam.

Pengujian ini masih bersifat pengujian fungsional berdasarkan rangkaian kerja sistem. Oleh karena itu, hasilnya belum digunakan untuk menyatakan tingkat akurasi atau keberhasilan secara statistik. Pengujian lanjutan dengan jumlah percobaan yang lebih banyak, variasi jarak, kecepatan objek, dan kondisi pencahayaan diperlukan untuk memperoleh data mengenai tingkat keberhasilan deteksi, waktu respons, dan ketepatan titik laser secara kuantitatif.