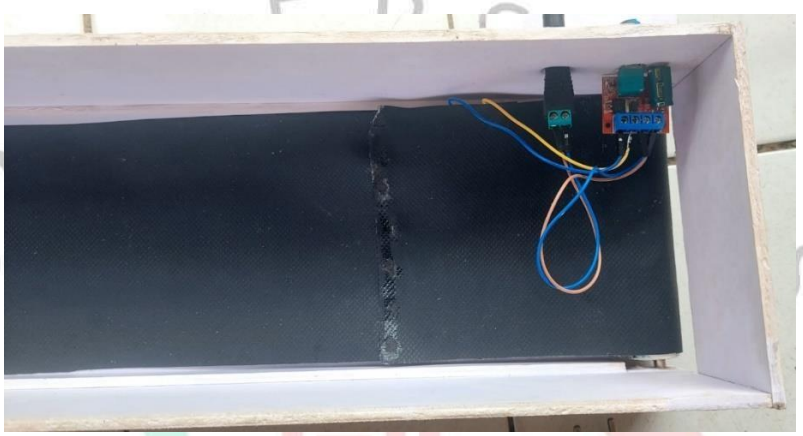
BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil

Rancangan yang telah dibuat sebelumnya akan direalisasikan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Hasil dari rancangan tersebut akan dijelaskan secara detail pada bagian berikut.

5.1.1 Hasil Perakitan

Pada bagian ini merupakan hasil dari perakitan sistem yang dibuat berdasarkan kebutuhan komponen pada spesifikasi perangkat keras sebelumnya. Berikut merupakan hasil akhir dari prototipe sistem yang telah dibuat.

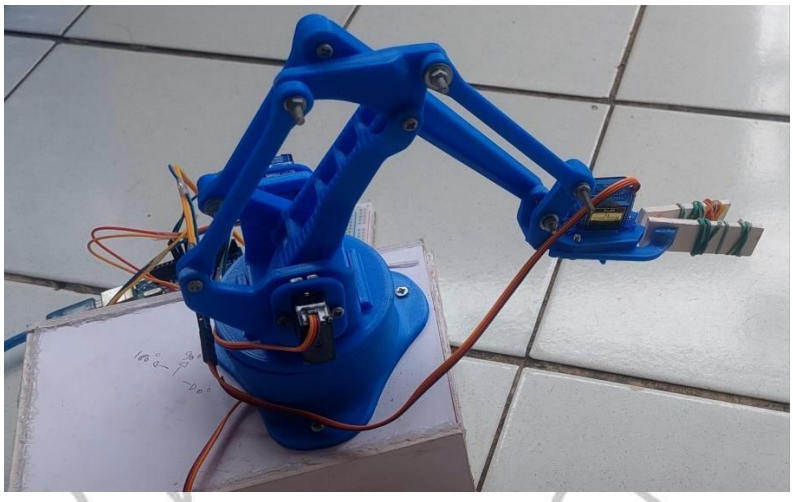


Gambar 5. 1 Perancangan Modul L298N

Gambar 5.1 di atas merupakan sebuah rangkaian Module L298N yang terhubung dengan Motor DC dan Addaptor 15V.

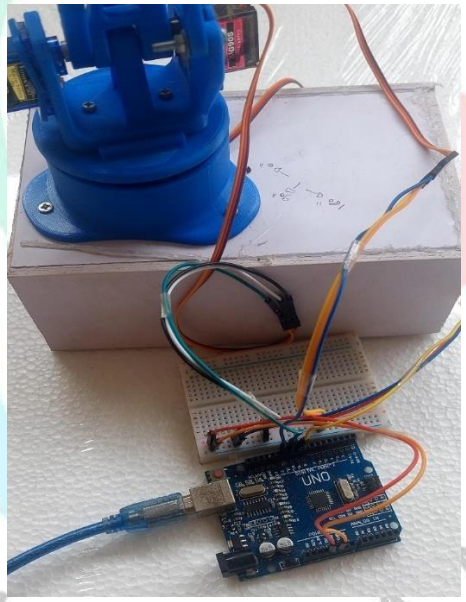
Gambar 5. 2 Rangkaian Motor DC

Gambar 5.2 di atas merupakan rangkaian dari Motor DC yang terhubung dengan Addaptor 15V dan Module L298N yang dikontrol oleh Potensiometer untuk mengatur kecepatan Motor DC.



Gambar 5. 3 Rancangan Lengan Robot

Gambar 5.3 di atas merupakan rancangan atau desain dari lengan robot yang dilengkapi dengan 3 Servo Motor, fungsi servo tersebut digunakan untuk menggerakan lengan robot.



Gambar 5. 4 pengendali lengan robot dengan Arduino Uno R3

Gambar 5.4 merupakan rangkaian elektronik dari lengan robot atau 3 buah servo motor, dengan pin 9 servo pada bagian *Base*, pin 10 pada bagian *Elbow* dan pin 11 pada bagian *Gripper*.

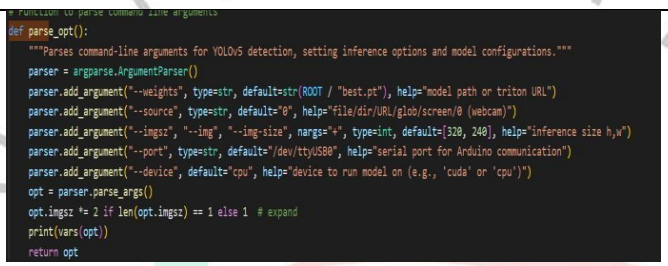
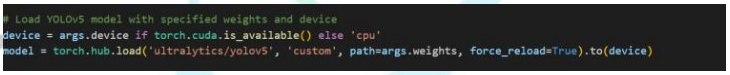
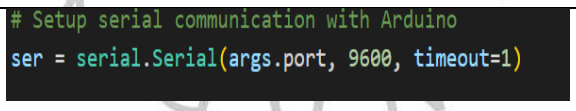
5.1.2 Program

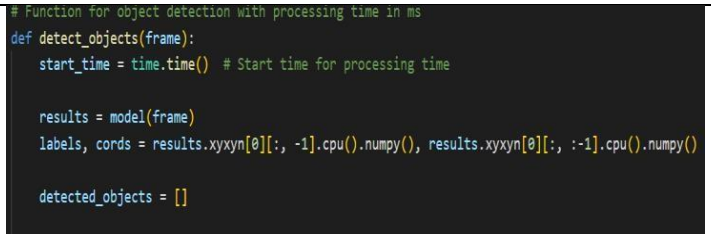
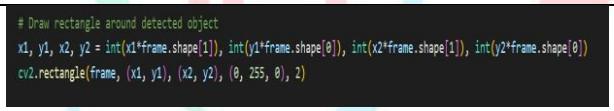
Pada pembahasan kali ini menjelaskan proses terkait pemrograman pada sistem yang telah dibuat.

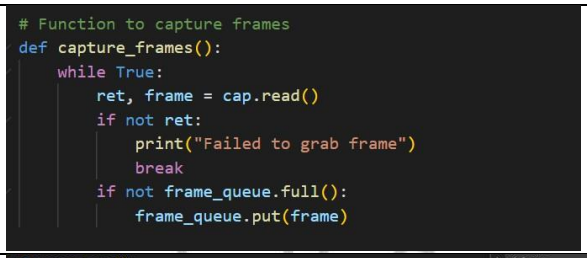
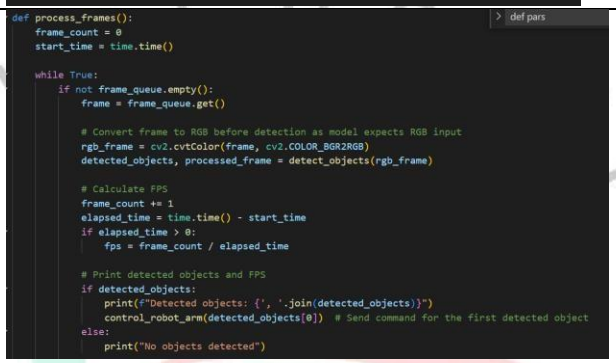
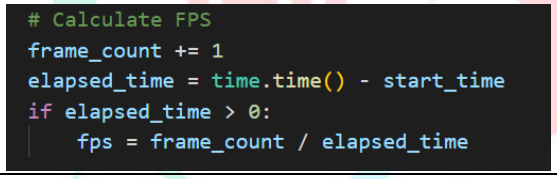
5.1.2.1 Visi Komputer Untuk Klasifikasi

Berikut di bawah ini merupakan hasil dari pemrograman Visi Komputer untuk klasifikasi objek .

Tabel 5. 1 Program Klasifikasi Objek

Tahap ke	Kode	Penjelasan
1		Digunakan untuk membaca argument dari baris perintah untuk deteksi YoloV5, pengaturan opsi inferensi, dan konfigurasi model
2		Memuat model Yolov5 dengan bobo dan perangkat yang ditentukan
3		Mengatur komunikasi serial dengan Arduino
4		Untuk mengirimkan perintah ke lengan robot melalui serial Arduino

5		Untuk deteksi objek dengan waktu pemrosesan dalam ms
6		Digunakan untuk menghitung ambang batas kepercayaan pada jenis objek yang sudah dilatih, misalnya 0.5 merupakan ambang batas minimum Tingkat kepercayaan pada objek yang sudah dilatih.
7		Digunakan untuk menggambar box atau kotak persegi pada objek yang terdeteksi.
8		Digunakan untuk menambahkan nama pada objek yang terdeteksi dan nilai kepercayaan objek.
9		Menghitung waktu pemrosesan program dalam milidetik.

10		Menginisialisasi webcam atau sumber video. Yang digunakan untuk mengatur tinggi atau lebar pada frame.
11		Digunakan untuk menangkap frame.
12		Digunakan untuk memproses frame dan konversi frame ke RGB sebelum deteksi.
13		Untuk menghitung FPS.
14		Untuk menampilkan objek yang terdeteksi, kecepatan FPS, dan mengirim perintah objek yang terdeteksi ke lengan robot melalui serial Arduino.

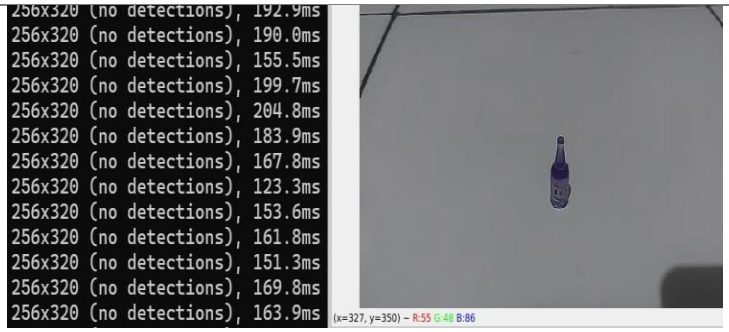
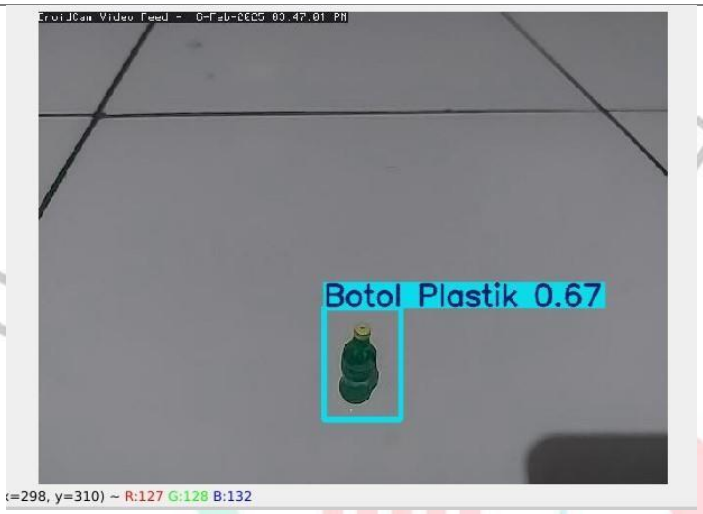
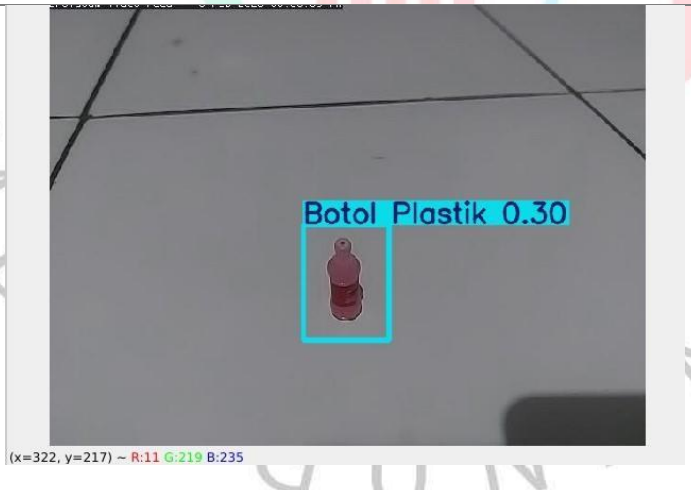
15		Untuk menampilkan FPS pada frame hasil pemrosesan dan menampilkan frame hasil pemrosesan.

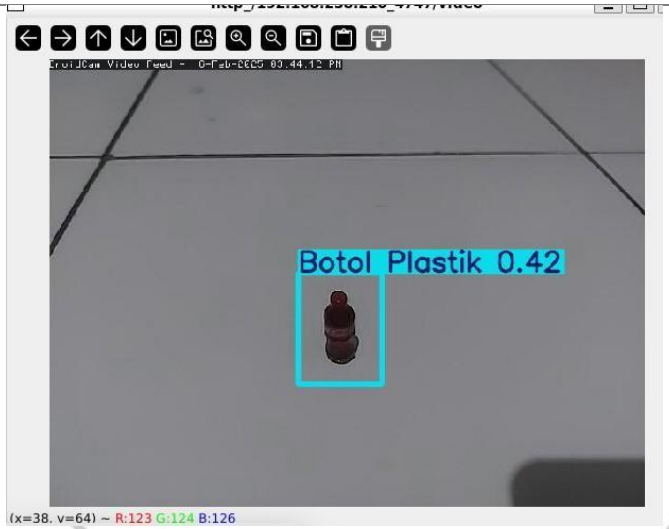
5.1.2.2 Hasil Pelatihan Model Yolov5

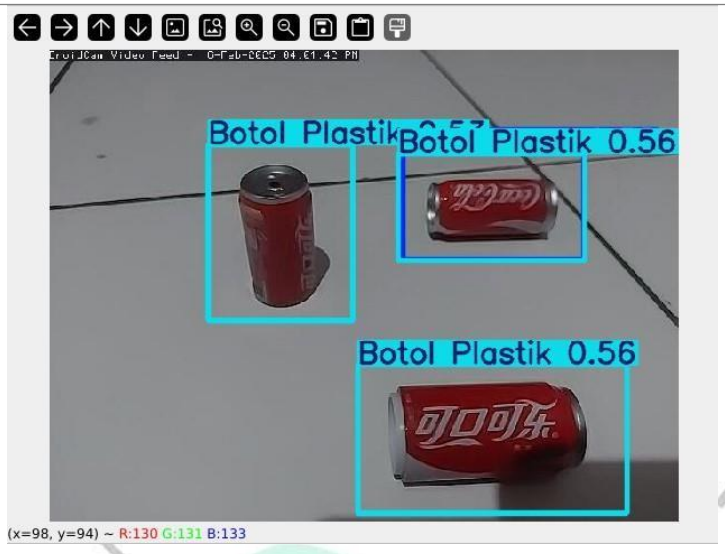
Hasil dari pelatihan model dataset sistem cerdas pemilah sampah daur ulang berbasis klasifikasi objek dan menggunakan lengan robot telah diklasifikasikan sesuai dengan tahapan yang telah dijelaskan pada bab 4 yaitu,

tabel 5. 2 Hasil Pelatihan Yolov5

NO.	Hasil	Keterangan
1.		Dari hasil program yang telah dijalankan sebanyak sepuluh kali, Botol Kaca terdeteksi dengan tingkat akurasi tertinggi mencapai 0.82 dari 1.00 atau setara dengan 82% dari 100%.
2.		Dari hasil program yang telah dijalankan sebanyak sepuluh kali, Botol Kaca terdeteksi dengan tingkat akurasi terendah mencapai 0.26 dari 1.00 atau setara dengan 26% dari 100%.

3.		Dari hasil program yang telah dijalankan sebanyak satu botol kaca dari sembilan tidak dapat terdeteksi atau gagal dalam mendeteksi objek tersebut.
4.		Dari hasil program yang telah dijalankan sebanyak 10 kali, 1 botol plastik terdeteksi dengan tingkat akurasi tertinggi mencapai 0.67 dari 1.00 atau setara dengan 67% dari 100% dari 9 botol plastik.
5.		Dari hasil program yang telah dijalankan 1 botol plastik dari 10 botol terdeteksi dengan tingkat akurasi terendah mencapai 0.30 dari 1.00 atau setara dengan 30% dari 100%.

6.		Dari hasil program yang telah dijalankan 4 botol plastik dari 10 botol plastik terdeteksi dengan tingkat akurasi rata-rata mencapai 0.42 dari 1.00 atau setara dengan 42% dari 100%.
7.		Dari hasil program yang telah dijalankan sebanyak 10 kali, 2 kaleng dari 10 kaleng dapat terdeteksi dengan tingkat akurasi tertinggi mencapai 0.70 dari 1.00 atau setara dengan 70% dari 100%.
8.		Dari hasil program yang telah dijalankan sebanyak 10 kali, 5 kaleng dari 10 terdeteksi dengan tingkat akurasi rata-rata mencapai 0.60 dari 1.00 atau setara dengan 60% dari 100%.

9.		Dari hasil program yang telah dijalankan sebanyak 10 kali, 3 kaleng jenis coca cola dari 10 tidak dapat terdeteksi atau salah dalam mengklasifikasikan objek tersebut.

Tabel di atas merupakan hasil deteksi sistem cerdas pemilah sampah daur ulang berbasis klasifikasi objek denga menggunakan algoritma Yolov5 dan dengan tingkat akurasi atau *confidence* yang tertera pada hasil tersebut.

5.1.2.3 Pengendali Lengan Robot

Berikut di bawah ini merupakan hasil dari pemrograman pengendali lengan robot.

tabel 5. 3 Program Lengan Robot

Tahap ke	Kode	Penjelasan

1	Servo servoBase; // Servo untuk base rotation
	Servo servoElbow; // Servo untuk elbow
	Servo gripper; // Servo untuk gripper
		Inisialisasi servo untuk setiap DOF yang digunakan.

2	void setup() {
	Serial.begin(9600); // Mulai komunikasi serial
	servoBase.attach(9); // Hubungkan servo base ke pin 9
	servoElbow.attach(10); // Hubungkan servo elbow ke pin 10
	gripper.attach(11); // Hubungkan gripper ke pin 11
	
	// Set posisi awal
	moveToPosition(0, 45); // Base di 0° dan elbow di 45°
	closeGripper(); // Gripper di posisi tertutup (0°)
	Serial.println("Robot arm is ready.");
	}
		Digunakan untuk mengatur pin pada servo yang akan digunakan dan menyetel posisi awal pada servo.

	void loop() {	

3	if (Serial.available()) {
	String command = Serial.readStringUntil('\n'); // Baca perintah dari serial
	Serial.println("Command received: " + command);
		Digunakan untuk membaca perintah dari serial yang diterima melalui program klasifikasi.

4	if (command == "plastic") {
	executePickAndPlace(0, 90, 70); // Ambil plastik dan pindahkan ke tempat plastik
	}
	else if (command == "glass") {
	executePickAndPlace(0, 90, 90); // Ambil kaca dan pindahkan ke tempat kaca
	}
	else if (command == "can") {
	executePickAndPlace(0, 90, 110); // Ambil kaleng dan pindahkan ke tempat kaleng
	}
	else if (command == "no_object") {
	Serial.println("No object detected. Robot arm will not move.");
	}
	}
	}
		Digunakan untuk mengeksekusi berdasarkan jenis objek yang diterima melalui serial dari program klasifikasi.

5	void executePickAndPlace(int baseAngle, int elbowPickAngle, int basePlaceAngle) {
	// Posisi pengambilan barang
	moveToPosition(baseAngle, elbowPickAngle); // Gerak ke posisi pengambilan
	delay(1000); // Stabilisasi
	openGripper(); // Buka gripper
	delay(500);
	
	closeGripper(); // Tutup gripper untuk mengambil barang
	delay(1000); // Stabilisasi
	moveToPosition(baseAngle, 45); // Kembali ke posisi angkat
	delay(1000); // Stabilisasi
	
	// Posisi penempatan barang
	
	moveToPosition(basePlaceAngle, 45); // Rotasi base ke tempat penempatan
	delay(1000);
	openGripper(); // Lepaskan barang
	delay(1000); // Stabilisasi
		Program tersebut berfungsi untuk Gerakan *pick - and -place.* Yang Dimana ketiga servo tersebut bergerak sesuai dengan perintah atau pada posisi yang sudah ditentukan.

	// Kembali ke posisi awal
	moveToPosition(0, 45);
	closeGripper(); // Pastikan gripper tertutup di posisi aw	

6	void moveToPosition(int basePos, int elbowPos) {
	gradualMove(servoBase, servoBase.read(), basePos, 5); // Gerakkan base secara bertahap
	gradualMove(servoElbow, servoElbow.read(), elbowPos, 5); // Gerakkan elbow secara bertahap
	}
		Digunakan untuk menggerakan lengan robot ke arah tertentu dan secara bertahap.

7	#Fungsi untuk membuka gripper
	
	void openGripper() {
	gradualMove(gripper, gripper.read(), 90, 5); // Posisi 90° untuk membuka gripper
	}
	
	// Fungsi untuk menutup gripper
	void closeGripper() {
	gradualMove(gripper, gripper.read(), 0, 5); // Posisi 0° untuk menutup gripper
	}
		Program tersebut berfungsi untuk membuka dan menutup *gripper* atau penjepit. Dengan posisi 90 derajat untuk membuka dan 0 derajat untuk menutup.

8	void gradualMove(Servo &servo, int startPos, int endPos, int stepDelay) {
	if (startPos < endPos) {
	for (int pos = startPos; pos <= endPos; pos++) {
	servo.write(pos);
	delay(stepDelay); // Mengatur kecepatan gerakan dengan delay
	}
	} else {
	for (int pos = startPos; pos >= endPos; pos--) {
	servo.write(pos);
	delay(stepDelay); // Mengatur kecepatan gerakan dengan delay
	}
	}
	}
		Digunakan untuk mengatur kecepatan Gerakan dengan delay yang sudah ditentukan.

5.1.3 Hasil Pengujian Kotak Hitam

Berikut merupakan hasil dari pengujian kotak hitam sistem cerdas pemilah sampah daur ulang berbasis klasifikasi objek dan lengan robot.

tabel 5. 4 Hasil Pengujian Kotak Hitam

Tahap ke	Aktivitas	Hasil Pengujian

1	Addaptor disambungkan pada colokan	Berjalan dengan baik
2	Potensiometer digunakan untuk menggerakan atau mengatur kecepatan motor dc.	Berjalan dengan baik
3	Motor dc bergerak dengan lancar.	Berjalan dengan baik
4	Motor Servo (Base) bergerak dengan lancar.	Berjalan dengan baik
5	Motor Servo (Elbow) bergerak dengan lancar.	Berjalan dengan baik
6	Motor Servo (Gripper) bergerak dengan lancar.	Berjalan dengan baik
7	Lengan robot dapat bergerak lancar.	Berjalan dengan baik
8	Konveyor dapat berjalan dengan lancar.	Berjalan dengan baik
9	Program mengklasifikasikan botol plastik sebanyak 10.	Berjalan dengan baik
10	Program mengklasifikasikan botol kaca sebanyak 10.	Berjalan dengan baik
11	Program mengklasifikasikan kaleng sebanyak 10.	Berjalan dengan baik
12	Lengan robot mengambil botol plastik	Berjalan dengan baik
13	Lengan robot mengambil botol kaca	Berjalan dengan baik
14	Lengan robot mengambil kaleng	Berjalan dengan baik
15	Lengan robot menempatkan 3 botol plastik ke kontainer 1 dengan konveyor	Berjalan dengan baik
16	Lengan robot menempatkan 3 botol kaca ke kontainer 2 dengan konveyor	Gagal
17	Lengan robot menempatkan 3 kaleng ke kontainer 3 dengan konveyor	Gagal
18	Lengan robot menempatkan 10 botol plastik ke kontainer 1 tanpa menggunakan konveyor	Berjalan dengan baik
19	Lengan robot menempatkan 10 botol kaca ke kontainer 2 tanpa menggunakan konveyor	Berjalan dengan baik
20	Lengan robot menempatkan 10 kaleng ke kontainer 3 tanpa menggunakan konveyor	Berjalan dengan baik

Pada tabel 5.4 di atas merupakan hasil dari pengujian kotak hitam yang dilakukan oleh peneliti. Berikut di bawah ini merupakan pembahasan dari hasil tabel di atas.

(1). Dari 20 tahapan di atas pada tahap ke 9, hasil dari klasifikasi objek jenis botol plastik sebanyak 10 dari 10 objek adalah 100% dapat terdeteksi tanpa kendala dengan tingkat akurasi yaitu, satu botol plastik berhasil mencapai tingkat akurasi tertinggi yaitu 0.67 dari 1.00 atau setara dengan 67% dari 100%, tiga botol plastik mencapai 50% - 60%, empat botol plastik atau rata – rata mencapai 35% - 40% sedangkan dua botol yang terendah mencapai 30%.

(2). Pada tahap ke 10, botol kaca yang dapat terdeteksi adalah 90% atau 9 dari 10 objek yang terdeteksi dengan tingkat akurasi yaitu, satu botol kaca berhasil mencapai tingkat akurasi tertinggi sebanyak 82% dari 100%, dengan rata-rata 60%-70% dan akurasi terendah mencapai 26%.

(3). Pada tahap ke 11, kaleng yang dapat terdeteksi adalah 70% dengan tingkat 30% kesalahan dalam klasifikasi atau gagal. Berikut merupakan tingkat akurasi keberhasilan dalam klasifikasi objek kaleng, dua kaleng mendapat tingkat akurasi tertinggi yaitu 70%, rata-rata 40% - 60% dan terendah salah dalam mengklasifikasikan objek dengan sesuai.

(4). Pada tahap ke 15, lengan robot hanya bisa meletakan 2 jenis botol plastik kedalam kontainer yang sesuai dari 3 jenis botol plastik.

(5). Pada tahap ke 16, lengan robot gagal dalam mengambil dan meletakan 3 objek jenis botol kaca kedalam kontainer yang sudah ditentukan.

(6). Pada tahap ke 17, lengan robot gagal dalam mengambil dan meletakan 3 objek jenis kaleng kedalam kontainer yang sudah ditentukan.

(7). Pada tahap ke 18, lengan robot berhasil dalam mengambil dan meletakan objek jenis sampah botol plastik kedalam kontainer sebanyak 10 dari total 10 sampah botol plastik. Lengan robot berhasil dikarenakan objek sampah tersebut memiliki lebar ukuran 3cm dan berat 3 gram, oleh karena itu lengan robot berhasil dalam mengambil objek tersebut, jika objek memiliki lebar lebih dari 4cm dan berat lebih dari 15 gram maka kemungkinan lengan robot tidak akan berhasil dalam memindahkan objek tersebut.tingkat keberhasilan lengan robot dalam mengambil objek botol plastik adalah 100%.

(8.) Pada tahap ke 18, lengan robot berhasil dalam mengambil dan meletakan objek jenis sampah botol plastik kedalam kontainer sebanyak 8 dari total 10 sampah botol kaca. Lengan robot berhasil memindahkan dikarenakan 8 objek tersebut memenuhi syarat standar dalam batas berat dan ukuran yang dapat diambil oleh lengan robot yaitu, dengan lebar ukuran 3cm dengan berat 8 gram maka lengan robot masih bisa mengambil objek tersebut, dikarenakan batas maksimal lengan robot dapat mengambil objek adalah 4cm dan berat 15 gram. Tingkat keberhasilan lengan robot mengambil objek botol kaca adalah 80%.

(9). Pada tahap ke 18, lengan robot berhasil dalam mengambil dan meletakan objek jenis sampah botol plastik kedalam kontainer sebanyak 5 dari total 10 sampah kaleng. Kaleng tersebut dapat diambil dikarenakan memiliki lebar 3cm dan berat 3 gram adapun kaleng yang gagal dikarenakan memiliki diameter lebar 6cm dan berat 15gram oleh karena itu lengan robot tidak dapat mengambil objek tersebut. Tingkat keberhasilan lengan robot dalam mengambil objek kaleng adalah 50%.